

**MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE PLANIFICACIÓN DE OBRAS A
PARTIR DE LA INTRODUCCIÓN DE CONCEPTOS DE GESTIÓN LOGÍSTICA
SOPORTADOS EN TIC, PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN
COLOMBIA**

CRISTIAN GUILLERMO FONSECA ARIAS

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
MEDELLÍN
2011**

**MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE PLANIFICACIÓN DE OBRAS A
PARTIR DE LA INTRODUCCIÓN DE CONCEPTOS DE GESTIÓN LOGÍSTICA
SOPORTADOS EN TIC, PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN
COLOMBIA**

CRISTIAN GUILLERMO FONSECA ARIAS

**Trabajo de grado como requisito parcial para optar por el título de Magister
en Ingeniería en el área de Gestión de la Construcción**

**Director
LUIS FERNANDO BOTERO BOTERO
Magister en Ciencias de la Administración**

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
MEDELLÍN
2011**

Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín, ___ de _____ de _____

Los hombres construimos demasiados muros y no suficientes puentes

Isaac Newton

Agradecimiento especial al programa de Especialización en Gestión de la Construcción dirigido por el profesor Luis Fernando Botero, docente investigador de la UNIVERSIDAD EAFIT, quien con su conocimiento y experiencia profesional en el tema, direccionó el presente trabajo de investigación.

Agradecimiento especial al Centro de Investigación y Desarrollo para la Industria de la Construcción, CIDICO, y a su director ejecutivo, ingeniero Andrés Villegas Hortal, quienes pusieron a disposición su experiencia profesional y los recursos necesarios para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Agradecimiento especial a COLCIENCIAS, entidad encargada de la cofinanciación del presente trabajo de investigación.

Agradecimiento especial a la constructora CONCRETO S.A. por el acompañamiento en la fase de implementación de la herramienta TIC, así como también por los conceptos técnicos enfocados a mejorar la herramienta.

Agradecimiento especial a todas y cada una de las personas y empresas que estuvieron involucradas directa o indirectamente en el desarrollo de la investigación.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	19
RESUMEN	21
1. OBJETIVOS.....	22
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
1.3 OBJETIVOS METODOLÓGICOS.....	24
2. JUSTIFICACIÓN	25
3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	26
4. MARCO DE REFERENCIA.....	28
4.1 FUNDAMENTOS DE GESTIÓN LOGÍSTICA	28
4.1.1 Definición de logística.	28
4.1.2 Estados de aprovisionamiento, almacenamiento, producción y distribución....	29
4.1.2.1 Aprovisionamiento.	29
4.1.2.2 Almacenamiento	30
4.1.2.3 Producción y distribución.	31
Filosofía de los sistemas de producción FORD Y TOYOTA.....	31
Sistemas Pull / Push	34
4.1.3 Cadena de suministro (Supply Chain) y la gestión logística en empresas... 38	
Diseño de la Cadena de Suministro.	39
4.1.4 “Just in time” y la gestión logística en empresas.	42
4.1.5 “Layout Planning” y la gestión logística en empresas.	44
4.1.5.1 El problema del Transporte.....	46
Formulación general del problema del transporte.	47
Planteamiento Ejemplo	49
4.1.5.2 Método del Centro de Masa.....	54
4.1.5.3 Distribución en planta por el método convencional.	55
4.2 GESTIÓN LOGÍSTICA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.....	61
4.2.1 Planificación del sitio de construcción.	61
4.2.1.1 Tipología de Obras.	62

4.2.1.2	Flujos Logísticos en construcción.	65
	Algoritmo para la planificación logística.	66
4.2.1.3	Distribución en planta y criterios de planificación logística.	67
4.2.1.4	Análisis y seguimiento del layout de obra y de la planificación logística....	69
4.2.2	Caracterización y modelos actuales de la logística en proyectos de construcción.....	76
4.2.2.1	El Ciclo de planificación logística en Construcción.....	78
4.2.2.2	Herramientas de Gestión Logística en Construcción.	83
	Modelo de formatos para la estructuración del MLP.	86
4.2.3	Planificación de la cadena de suministro de materiales en construcción.	89
4.2.3.1	Objetivos de la cadena de suministros en construcción.	92
4.2.3.2	Gestión de Materiales para la optimización del tiempo logístico.	94
	El modelo ABC.	94
	Modelo de rotaciones.....	98
	Modelo de lote óptimo.....	101
4.2.4	Los indicadores en la gestión logística de la construcción.....	106
4.2.4.1	Indicadores de desempeño en el sector de la construcción.	106
4.2.4.2.	Indicadores Logísticos en Construcción.....	109
4.3	IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS TIC Y SOFTWARE DE GESTIÓN EN LA LOGÍSTICA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.	116
4.3.1	Tecnologías TIC para el procesamiento de la información y manejo de datos.	116
4.3.2	Implementación de las TIC en los proyectos de construcción.	117
4.3.2.1	TIC para el mejoramiento de procesos en la obra.....	118
4.3.3.	Procesos logísticos y TIC en construcción.....	120
4.3.3.1	El proceso de compras y abastecimiento.....	121
	Proceso logístico para la actividad de mampostería de un muro divisorio.....	121
4.3.3.2	Interacción constructor - proveedor en actividad de vaciado de hormigón premezclado.....	131
4.3.3.3	Proceso de gestión del acero de refuerzo figurado.	136
4.3.4	Valoración y acople de software de logística interna y de software ERP (Planificadores de recursos empresariales) para el manejo de los flujos logísticos en obra.	139

4.3.4.1	Software de logística interna “Logística wi-fi”	139
	Indicadores Logística wi-fi. (CDT,2010)	140
4.3.4.2	Software ERP como complemento de la gestión logística en la obra.....	141
4.4	REFERENCIA INTERNACIONAL DE GESTIÓN LOGÍSTICA EN CONSTRUCCIÓN	144
4.4.1	Casos de aplicación en el Reino Unido.	144
4.4.1.1	Estudio del caso “BAA Heathrow Terminal 5”.	148
	Descripción de la infraestructura a desarrollar.	148
	Centro de abastecimiento de Londres (London Construction Consolidation Center, LCCC)	149
	Gestión logística para la construcción de Heathrow Terminal 5.	150
4.4.2	Caso de aplicación en Brasil.	154
4.5	REFERENCIA LOCAL (COLOMBIA) DE GESTIÓN LOGÍSTICA EN CONSTRUCCIÓN	159
4.5.1	Caso de estudio de implementación de conceptos de gestión logística en una constructora colombiana.	161
5.	MARCO PRÁCTICO	169
5.1	PERTINENCIA DE LA INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO DE GESTIÓN LOGÍSTICA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.	169
5.2	MEMORIA METODOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	171
5.2.1	El proyecto de investigación desde un punto de vista descriptivo y con posibilidades de proyección y simulación de escenarios probables.	171
5.2.2	Momentos del proceso de investigación.....	172
5.3	ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DE LA LOGÍSTICA EN CONSTRUCTORAS COLOMBIANAS (MEDELLÍN, BOGOTÁ Y MANIZALES).....	175
5.3.1	Encuesta General GESLOG 2010.....	175
5.3.1.1	Estructura de la encuesta.	175
5.3.1.2.	Análisis de resultados de la encuesta.	176
	Logística de materiales.	176
	Logística de personal.	182
	Logística de información.	189
	Logística de equipos.	192
5.3.2	LEVANTAMIENTO DE PROCESOS EN EL SITIO DE OBRA.	196

5.3.2.1	197
5.3.2.2 Empresa constructora B.	202
5.3.2.3 Empresa constructora C.	205
5.4 MODELO DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA TIC PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA LOGÍSTICA EN EL SITIO DE CONSTRUCCIÓN.	209
5.4.1 Funcionamiento de logística wi-fi.	209
5.4.1.1 Datos de entrada para el software logística wi-fi.	211
5.4.1.2 Usuarios del software logística wi-fi.	212
5.4.1.3. Manejo del software logística wi-fi desde el almacén de la obra.	213
Actualización del kardex y el inventario.	213
Asignación de kits de materiales a diferentes destinos	215
Aprobación o rechazo de vales (o kits) de consumo	216
5.4.1.4 Manejo del software logística wi-fi desde los frentes de obra.	218
Elaboración de vales de pedido (consumo).	218
5.4.2 Optimización del modelo de operación de logística wi-fi en obra.	219
5.4.3 Implementación de la herramienta TIC en la obra B.	221
5.4.3.1 Datos de entrada para el software logística wi-fi, en la obra B.	223
5.4.3.2 Operaciones logísticas y de producción en el ejercicio de estudio de la prueba piloto en la obra B.	225
Actividades del enchape de piso que conforman el tiempo logístico.	228
5.4.3.3 Indicadores logísticos obtenidos con logística wi-fi en la obra B.	232
Consumos por recurso.	232
Tiempos de entrega	234
Productividad de entrega o distribución	235
Fluidez del inventario	237
5.4.3.4. Inconvenientes e imprevistos ocurridos en la implementación de logística wi-fi en la obra piloto de la constructora B.	245
5.4.4 Planteamiento de propuesta para la creación del software GESLOG.	246
5.4.4.1 Descripción general de la funcionalidad y pertinencia de la creación de un nuevo software para gestionar la logística interna y externa de las obras de construcción.	246
5.4.4.2 Módulos propuestos en el menú GESLOG.	247
5.4.4.3 Archivo GESLOG.	248

Datos de entrada	248
Recursos	250
5.4.4.4 Almacén GESLOG.....	251
Salidas de almacén.....	251
5.4.4.5 Patio GESLOG	251
5.4.4.6 Portería GESLOG.....	252
5.4.4.7 Equipos GESLOG.....	253
5.4.4.8 Control GESLOG.....	253
5.4.4.9 Planificación táctica.....	255
5.5.4.10 Indicadores Logísticos.....	256
6. CONCLUSIONES, ANÁLISIS DEL DIAGNÓSTICO Y PROYECCIÓN DE LA GESTIÓN LOGÍSTICA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN ENCOLOMBIA	257
6.1 LA LOGÍSTICA INTEGRAL DE LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA.....	259
6.1.1 Logística externa.....	259
6.1.2 Logística interna.....	260
6.2 FUNCIONALIDAD DEL ALMACÉN EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA.....	262
6.3 LAS HERRAMIENTAS TIC PARA EL MANEJO LOGÍSTICO EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA.....	264
6.4 INDICADORES Y GESTIÓN LOGÍSTICA.....	267
7. BIBLIOGRAFÍA	270
8. ANEXOS.....	275
8.1 ANEXO A	275
8.2 ANEXO B	283
8.3 ANEXO C	284

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparativo de inconvenientes sistemas Pull / Push.....	35
Tabla 2. Fases de la cadena de suministro	38
Tabla 3. Cuadro comparativo entre los tipos de demanda y los tipos de suministros	40
Tabla 4. Matriz de incertidumbre de suministros, de HAU LEE	41
Tabla 5. Matriz de costos en la estructura del problema de transportes	48
Tabla 6. Matriz de flujos en la estructura del problema del transporte	49
Tabla 7. Síntesis del planteamiento del problema del transporte.....	51
Tabla 8. Planteamiento del problema en Hoja de Cálculo de Excel®	52
Tabla 9. Requerimientos de Espacio.....	56
Tabla 10. Valores de prioridad entre zonas	57
Tabla 11. Matriz de relación entre zonas de trabajo	57
Tabla 12. Asignación de bloques por área	59
Tabla 13. Lista de chequeo base para el desarrollo de la logística.....	64
Tabla 14. Control de los siete flujos fundamentales para el éxito en construcción	65
Tabla 15. Matriz unitaria de costo para transporte de triturado Acopio-Mezcladora	68
Tabla 16. Matriz unitaria de costo para agregados pétreos componentes de la mezcla ..	68
Tabla 17. Formato de seguimiento a inventario de provisionales	71
Tabla 18. Formato de seguimiento a inventario de equipo	72
Tabla 19. Formato de seguimiento a inventario.....	72
Tabla 20. Análisis de ciclo para una actividad productiva.....	77
Tabla 21. MLP 0. Nombre del proyecto y constructor	86
Tabla 22. MLP 1.1 Definición de roles del grupo primario que conforme el constructor o contratista principal	86
Tabla 23. MLP 2.1 Estructura de un requerimiento formal dentro de la obra.....	87
Tabla 24. MLP3.1. Formato para la Planificación de Materiales a partir de los Requerimientos de la Obra	87
Tabla 25. MLP4.1. Formato para la Planificación Logística de la Recepción, Almacenamiento y Distribución de Materiales	88
Tabla 26. MLP4.2. Lista de chequeo de restricciones que resultan por actividad.....	88
Tabla 27. MLP 6.1 Administración y reprogramación logística de recursos.....	89
Tabla 28. Costos representativos de la cadena de suministro en construcción	93
Tabla 29. Escala de clasificación modelo ABC.....	96
Tabla 30. Materiales típicos en obra de edificación	97
Tabla 31. Matriz de asignación de Puntajes, de acuerdo al criterio técnico de la dirección de la Obra	98
Tabla 32. Condiciones iniciales para el requerimiento de stock programado	99
Tabla 33. Modelo de rotación FIFO (primero en entrar, primero en salir)	99
Tabla 34. Modelo de rotación LIFO (último en entrar, primero en salir).....	100
Tabla 35. Modelo de rotaciones por promedio ponderado.....	100

Tabla 36. Definición de variables iniciales Para el modelo de lote óptimo en material tipo A	102
Tabla 37. Comparación Cuantitativa de los Modelos de Rotación.....	105
Tabla 38. Comparación cualitativa de los modelos de rotación	105
Tabla 39. Indicadores KPI de tiempo para la industria de la construcción	107
Tabla 40. Indicadores KPI de costos para la industria de la construcción	108
Tabla 41. Indicadores KPI de resultados para la industria de la construcción	108
Tabla 42. Indicadores KPI de seguridad industrial y salud ocupacional para la industria de la construcción	109
Tabla 43. Ejemplo de definición de indicadores KPI logísticos, previo a la ejecución del MLP	110
Tabla 44. Puntaje de indicador logístico de compromisos cumplidos por el CCC (ej. 1)	114
Tabla 45. Puntaje de indicador logístico de compromisos cumplidos por el CCC (ej. 2)	114
Tabla 46. Sitios convenientes en obra de edificación para la implementación de TIC ...	118
Tabla 47. Actividades soportadas por herramientas Tecnologías de información	119
Tabla 48. Comparación descriptiva entre modelo tradicional y CCC	130
Tabla 49. Estructura general de despiece	137
Tabla 50. Consolidación del pedido por peso y registro correspondiente	137
Tabla 51. Ubicación de elementos por zonas.....	137
Tabla 52. Aspectos analizados en los casos de estudio.....	155
Tabla 53. Cronograma de actividades del proceso de investigación	172
Tabla 54. Empresas constructoras encuestadas.....	176
Tabla 55. Descripción general de la logística en la obra de la empresa constructora A .	198
Tabla 56. Inventario de equipos de transporte vertical y horizontal en la obra A	202
Tabla 57. Descripción general de la logística en la obra de la empresa constructora B .	204
Tabla 58. Descripción general de la logística en la obra de la empresa constructora C .	207
Tabla 59. Inventario actualizado exportado a tabla de Excel®	214
Tabla 60. Informe de consumo por recurso exportado a Excel®.....	215
Tabla 61. Control de consumo de kit por destino	216
Tabla 62. Vales exportados a formato Excel®	218
Tabla 63. Conformación del grupo logístico en prueba piloto para la obra B.....	221
Tabla 64. Comparación descriptiva entre el modelo de operación sin y con logística wi-fi en la obra B	222
Tabla 65. Capítulos y actividades trabajadas en la obra B	224
Tabla 66. Listado de trabajadores en la obra B	225
Tabla 67. Análisis de ciclo para la actividad de enchape de piso en la obra B	227
Tabla 68. Informe de consumo de recurso de enchape de piso de la obra B, arrojado por el registro de “logística wi-fi”	231
Tabla 69. Inventario actualizado de los materiales controlados con logística wi-fi para la obra B	234
Tabla 70. Informe de tiempos de entrega de materiales en la obra B.....	235

Tabla 71. Informe de índice de productividad de entrega o distribución para el enchape de piso Fresalia en la obra B.....	236
Tabla 72. Información preliminar para planificación semanal de recursos.....	237
Tabla 73. Registro de consumos por recurso y obtención de tiempos de espera entre pedidos con frecuencia semanal.....	238
Tabla74. Avance de consumo de recursos para el material Adriana Beige30x30 en la obra B.....	239
Tabla 75. Avance de consumo de recursos para el material Fresalia 45x45 en la obra B.....	240
Tabla 76. Avance de consumo de recursos para el material Valencia 20x30 en la obra B.....	240
Tabla 77. Avance de consumo de recursos para el material Revoestucor en la obra B.....	243
Tabla 78. Resumen de módulos propuestos en el menú GESLOG.....	247
Tabla 79. Asignación de usuarios GESLOG para el modo de control.....	249
Tabla 80. Asignación de usuarios GESLOG para el modo de planificación.....	250
Tabla 81. Funciones aprobadas para los usuarios del módulo de almacén en GESLOG.....	251
Tabla 82. Funciones aprobadas para usuarios del módulo de patio en GESLOG.....	252
Tabla 83. Funciones aprobadas para usuarios del módulo de portería GESLOG.....	252
Tabla 84. Funciones aprobadas para usuarios del módulo equipos GESLOG.....	253
Tabla 85. Listado de informes para el control logístico con GESLOG.....	253
Tabla 86. Diferencias en el manejo de inventarios en el almacén entre empresas usuarias de un ERP y empresas no usuarias de un ERP.....	262
Tabla 87. Cuantificación de la fluidez del inventario como indicador logístico propuesto para referenciación.....	268

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de gestión de aprovisionamiento	29
Figura 2. Esquema del Lead Time Gap en una escala de tiempo definida	34
Figura 3. Modelo de producción masivo por sistema Pull.....	35
Figura 4. Procedimiento KANBAN.....	36
Figura 5. Método SMED.....	37
Figura 6. Ubicación del centroide de un sistema de almacenes	55
Figura 7. Red Nodal de Instalaciones, a partir de matrices de relación	58
Figura 8. Distribución preliminar de layout de instalaciones	59
Figura 9. Planificación logística de proyectos de construcción	66
Figura 9a. Lean Project Delivery System	75
Figura 10. Tiempos obtenidos a partir de las mediciones en obra.....	77
Figura 11. Modelo de aprovisionamiento mediante centro de abastecimiento (CCC).....	84
Figura 12. Modelo de la cadena de suministros en construcción.....	90
Figura 12 a. Dirección de la cadena de suministros típica para el flujo de información y materiales	91
Figura 13. Curva \$ vs. Kg para el material tipo A analizado	103
Figura 14. Fases de la información.	116
Figura 15. Flujograma general para el proceso de compras.....	121
Figura 16. Flujograma de despiece para obtención de precios unitarios y programación teórica de materiales para un muro divisorio en mampostería.	122
Figura 17. Flujograma para la obtención de cantidades reales de obra.....	123
Figura 18. Flujograma para la generación de un pedido desde el frente de obra	124
Figura 19. Flujograma para la recepción del vale de pedido	125
Figura 20. Flujograma para la entrega de materiales existentes en el almacén	126
Figura 21. Flujograma para definir el estado de la compra.....	127
Figura 22. Flujograma para el aprovisionamiento de almacén y la distribución de material	128
Figura 23. Flujograma de aprovisionamiento de material mediante modelo de CCC.....	129
Figura 24. Diagrama de flujo de red para la simulación de actividad de vaciado de hormigón.....	132
Figura 25. Convención de nudos para simulación en cyclone	133
Figura 26. Representación gráfica del ciclo de vaciado.....	135
Figura 26a. Proceso de pedido del concreto	136
Figura 27. Flujograma para la generación de un pedido de acero de refuerzo figurado	136
Figura 28. Control de inventario por código de barras.....	138
Figura 29. Estructura de acople logística wi-fi – ERP en la cadena de suministros	142
Figura 30. Proceso logístico para el envío de materiales desde el LCCC	153
Figura 31. Layout de la obra (logistics traffics and material handling project plan)	154
Figura 32. Esquema tradicional de la gestión de materiales en construcción	159
Figura 33. Evolución del PAC semanal	161

Figura 34. Utilización del tiempo por parte del personal	162
Figura 35. Control de costos por capítulos etapa 1	162
Figura 36. Control de costos por capítulos etapa 2	163
Figura 37. Comparativo de tiempos de ciclo en actividad de mampostería	164
Figura 38. Estrategias de control para entradas y salidas	178
Figura 39. Frecuencia de ensayos	179
Figura 40. Tipos de ensayos de calidad realizados en obra	180
Figura 41. Frecuencia en control de inventarios	180
Figura 42. Metodología empleada para el control de inventario de recursos	181
Figura 43. Calificación de proveedores en obras de edificación	182
Figura 44. Destino de ocupación de personal profesional para las distintas actividades en las obras de construcción de edificación	183
Figura 45. Áreas de capacitación del personal de la construcción	184
Figura 46. Porcentaje de implementación de capacitaciones temáticas para el personal de la construcción	184
Figura 47. Utilización de los canales de comunicación	185
Figura 48. Métodos de control de acceso de personal en portería	186
Figura 49. Distribución de las herramientas utilizadas para la evaluación de contratistas	186
Figura 50. Porcentaje de utilización por tipo de herramienta de evaluación para subcontratistas del sector de la construcción	187
Figura 51. Metodología de acceso a materiales para abastecimiento del frente de obra	188
Figura 52. Porcentaje de utilización de cuadrilla logística para actividades de soporte ..	188
Figura 53. Estrategia empleada para la limpieza en la obra	189
Figura 54. Temas abordados con subcontratistas en reuniones de planificación	190
Figura 55. Frecuencia de mediciones de desempeño en obra	191
Figura 56. Utilización de herramientas de soporte para la comunicación	192
Figura 57. Protocolo de compra de material en la obra	192
Figura 58. Criterios empleados para la escogencia de equipo pesado en la obra	193
Figura 59. Calificación de variables de decisión para la escogencia del equipo	194
Figura 60. Nivel de responsabilidad en la planificación de maquinaria pesada en la obra	195
Figura 61. Criterio para planificación de mantenimiento preventivo	195
Figura 62. Diagrama de flujo para la gestión de pedidos en almacén de materiales tipo B y C. En la obra A	200
Figura 63. Diagrama de flujo para la gestión en patios de materiales tipo A. En la obra A	201
Figura 64. Diagrama de flujo para la gestión de pedidos en almacén de materiales tipo B y C. En la obra B	205
Figura 65. Diagrama de flujo para la gestión de pedidos en almacén de materiales tipo B y C. En la obra C	208
Figura 66. Esquema de funcionamiento del software logística wi-fi	210

Figura 67. Visualización del kardex de la obra y actualización de existencias.....	213
Figura 68. Visualización y aprobación de vales de consumo.....	217
Figura 69. Estructura del vale de consumo	219
Figura70. Proceso de entrega y distribución optimizado a partir de pruebas piloto efectuadas por la CDT	220
Figura 71. Diagrama de flujo para la gestión de pedidos en almacén de materiales tipo B y C. En la obra B, bajo la operación de “logística wi-fi”	222
Figura 72. Asignación de destinos de material en la obra B.....	223
Figura 73. Lista de recursos utilizados para la prueba piloto en la obra B.....	224
Figura 74. Asignación de cantidad real de recursos a diferentes destinos en obra B	229
Figura 75. Solicitud de pedido de compra desde el frente de obra.....	230
Figura 76. Historial de consumo por recurso del material de enchape de piso Fresalia.	232
Cantidad de cajas retiradas del almacén vs. Tiempo	232
Figura 77. Historial de consumo por recurso del material Revoestucor.	233
Cantidad de bultos retirados del almacén vs. Tiempo	233
Figura 78. Historial de consumo por recurso del material de enchape de pared Valencia	233
Cantidad de bultos retirados del almacén vs. Tiempo	233
Figura 79. Curva de fluidez del inventario	238
Tiempo de espera entre pedidos vs. Consecutivo del pedido.....	238
Figura 80. Tiempo de espera en días entre pedidos consecutivos vs. Número de pedidos.	241
Materiales de enchape.....	241
Figura 81. Curva de fluidez del inventario de material de enchape en la obra B	242
Tiempo de espera acumulado entre pedidos consecutivos vs. Número de pedidos.....	242
Figura 82. Tiempo de espera en días entre pedidos consecutivos vs. Número de pedidos.	244
Materiales de estuco.....	244
Figura 83. Curva de fluidez del inventario de material de enchape en la obra B	244
Tiempo de espera acumulado entre pedidos consecutivos vs. Número de pedidos.....	244
Figura 84. Esquema de funcionamiento GESLOG	256
Figura 85. Propuesta de modelo estratégico a implementar en el sector de la construcción en Colombia.....	259

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Obra “Heathrow Terminal 5”	149
Imagen 2. Dispositivo para código de barras utilizado en Heathrow Consolidation Centre	152
Imagen 3. Plantillas de ventanería	164
Imagen 4. Antes y después en vaciado de dovelas.....	165
Imagen 5. Organización de mampostería por kits de pedido.....	165
Imagen 6. Ubicación en el sitio de los kits de mampostería	166
Imagen 7. Definición de zonas específicas de descargue por torre.....	166
Imagen 8. Definición de rutas seguras de movilidad de personal.....	167
Imagen 9. Plataforma de descargue para material transportado con torre-grúa	167
Imagen 10. Patio de clasificación de equipo de encofrado	168
Imagen 11. Obra A.....	197
Imagen 12. Oficinas obra A.....	199
Imagen 13. Obra B.....	202
Imagen 14. Oficina del almacén en obra B.....	204
Imagen 15. Obra C	206
Imagen 16. Planificación en obra C.....	207
Imagen 17. Formato de salida de almacén o vale de consumo tradicional vs. Presentación en PDA	230

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación busca introducir los conceptos de gestión logística en el sector de la construcción en Colombia, partiendo de la definición de aspectos teóricos relacionados con la cadena de suministros y las operaciones logísticas en el sector de la manufactura. La gestión logística es un área de vital importancia para el mejoramiento continuo de procesos de abastecimiento, producción y distribución de recursos; por lo tanto, en construcción es necesario apropiarse del contenido de esta área del conocimiento con el ánimo de, no solo estandarizar los procedimientos, sino, optimizar los tiempos de soporte¹ de las obras y todo lo relacionado con la asignación de roles y funciones específicas para llevar a cabo los planteamientos que se postulan en los planes logísticos para la administración y el control de los recursos.

La estructura general del presente informe consta de una primera parte teórica que comienza por definir los fundamentos de la gestión logística; abordando los estados de la logística y definiendo los modelos de producción que mejor se ajustan a los propósitos de la investigación. Lo anterior se complementa con la filosofía justo a tiempo y con los criterios para la óptima planificación en planta o "*layout planning*", garantizando que los modelos de producción estén respaldados por metodologías que le impriman certidumbre a la toma de decisiones respecto a las transformaciones y el flujo de recursos. Una vez fijados los fundamentos de la gestión logística, estos se hacen extensivos al sector de la construcción, identificando las condiciones iniciales que son necesarias para la gestión y la organización física de los recursos y el sitio de obra, esto, desarrollándose antes de comenzar a diseñar el plan logístico, y siendo necesario el reconocimiento previo de los flujos logísticos asociados a la construcción. Seguidamente, el desarrollo del trabajo aborda modelos de planificación logística y herramientas para su materialización en el sector de la construcción; detectando la necesidad de acudir a la utilización de herramientas TIC como un medio para diseñar una cadena de suministros mediante algoritmos de procedimientos lógicos en la construcción, lo que conlleva necesariamente a optimizar recursos y a disminuir el tiempo logístico de los proyectos. Toda esta metodología para la gestión logística de obras se ilustra posteriormente con casos de estudio de proyectos concluidos con éxito, en donde se exponen las bondades de la implementación del plan logístico y se referencian los resultados con los respectivos indicadores logísticos y de desempeño; dicha referenciación también se hace a nivel local tomando como referencia una constructora colombiana que mediante el mejoramiento de herramientas de soporte y bajo principios *Lean Construction* logra reducir el tiempo logístico en una actividad repetitiva.

¹ El tiempo de soporte, o tiempo contributivo, es el tiempo requerido para ejecutar todas las actividades logísticas y complementarias. Estas actividades no agregan valor directamente, pero su correcto desarrollo implica un aumento de la productividad, al influir positivamente en las actividades que agregan valor.

Teniendo claro el escenario de los proyectos concebidos bajo criterios de planificación logística, se prosigue con la segunda fase del informe pensada para hacer una inspección diagnóstica sobre el estado real de la gestión logística de las obras en Colombia, tomando como referencia una población significativa² de empresas constructoras de diferentes tamaños y con amplio recorrido y experiencia en diferentes sectores, como vivienda, infraestructura, sector público, comercial, institucional, energético, etc. A partir del análisis por encuestas y de la visita a varias obras de edificación, se logra establecer las fortalezas y debilidades del gremio respecto a la organización tanto de la logística interna como la logística externa, desde donde se plantean soluciones de mejora mediante la selección de una herramienta TIC específica que será implementada en las empresas que mejor se adapten a los requerimientos del modelo inicial.

Tanto la parte teórica como la parte práctica de la investigación está respaldada por la Universidad EAFIT y la corporación CIDICO, centro de investigación y desarrollo para la industria de la construcción, quienes además definieron la herramienta TIC para el fortalecimiento de la logística interna en los proyectos después de un proceso de selección y búsqueda en misiones tecnológicas adelantadas en Europa y Chile. De manera que la prueba piloto que justifica el marco práctico, es el enfoque directo respecto al flujo de materiales a nivel interno, sin embargo, el presente trabajo deja abierta las puertas a partir de planteamientos específicos en la teoría, para que se continúe con la profundización en el tema y de paso continuar también con la implementación y/o el desarrollo de nuevas tecnologías de soporte y planificación en gestión logística.

² El reporte de las 200 constructoras del sector en Colombia sirve de referencia para percibir el orden de magnitud de los recursos manejados por las empresas que hacen parte de la presente investigación, además de su posicionamiento a nivel nacional. El ranking está basado en los ingresos operacionales y en la utilidad operacional. Ver: AXIOMA COMUNICACIONES. Las 200 constructoras del sector. En: Revista en Obra. Julio, 2010. Ed. 5 no.1. p 18 y p 28.

RESUMEN

Algunos de los conceptos de gestión logística es necesario introducirlos en el sector de la construcción en Colombia con la clara intención de fortalecer los procesos inherentes a la producción y disminuir las pérdidas³, producto de la falta de planificación logística, las cuales se evidencian en tiempos excesivos de espera para el aprovisionamiento de materiales en la obra, la deficiente programación de materiales, poca o nula trazabilidad de materiales, la acumulación inoficiosa de inventario y el desperdicio general de recursos por un control ineficiente de los flujos logísticos. El presente trabajo planteará las herramientas y conceptos de gestión logística necesarias para abordar el sector de la construcción bajo criterios que son compatibles con modelos de producción que ya están probados y validados en otros sectores productivos; adicionalmente, dicha información se complementará con la adaptación de una herramienta TIC al contexto local, que servirá de soporte a los cambios que se introduzcan con los nuevos criterios de planificación logística de las obras.

ABSTRACT

Some of the concepts of logistics management is needed in the construction industry in Colombia with the intention to strengthen the processes involved in production and reduce waste due to lack of logistical planning, which are evident in excessive waiting times for provisioning materials on site, poor scheduling of materials, little or no tracking materials, inofficious stock accumulation and general waste of resources by inefficient control of logistics flows. The present study will address the tools and concepts of logistics management needed to deal the construction industry under criteria that are compatible with existing production models are tested and validated in other production sectors, Additionally, that information will be supplemented by adaptation TIC a tool to the local context, which will support the changes introduced with the new criteria for logistics planning of the works.

³ Todo aquello que no agregue valor, se considera como una pérdida.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL.

Introducir conceptos de gestión logística al sector de la construcción en Colombia; apuntando al mejoramiento continuo de los procedimientos de programación, adquisición, recepción, distribución y control de los recursos en las obras de construcción, bajo los parámetros de la planificación logística y con el soporte de un sistema de gestión interno basado una herramienta TIC; esto, como una primera instancia que conforma la fase exploratoria de los métodos de gestión logística aplicados en el contexto nacional.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Los objetivos específicos de la investigación en el área de gestión logística para el sector de la construcción, se definen a partir de la estructura desarrollada para el presente informe, así:

- Definición teórica de los conceptos y métodos empleados en gestión logística desde el punto de vista del sector de la manufactura.
- Estructuración del estado del arte de la gestión logística en el sector de la construcción a nivel internacional, partiendo de los conceptos teóricos básicos que sustentan el tema.
- Identificación de las necesidades de comunicación y gestión de la información en los aspectos logísticos de las obras de construcción y valoración de diferentes herramientas para el soporte logístico mediante TIC.
- Identificación de la herramienta TIC a utilizar, por parte de la alianza estratégica Universidad EAFIT-CIDICO, de acuerdo con las solicitudes expuestas por el sector de la construcción.
- Obtención del estado real del manejo de la logística interna y externa de las obras en Colombia, mediante una encuesta efectuada por funcionarios de la alianza estratégica Universidad EAFIT-CIDICO, a un grupo significativo de empresas constructoras.
- Evaluación diagnóstica de la logística interna de varias obras de construcción, a partir de visitas de campo efectuadas por funcionarios de la alianza estratégica Universidad EAFIT-CIDICO.
- Implementación de la herramienta TIC en la obra seleccionada, con el objetivo de gestionar eficientemente los almacenes de obra, adaptándose a sus necesidades de tal manera que se genere una información confiable y oportuna, permitiendo tomar decisiones adecuadas que contribuyan a el aumento de eficiencia y de calidad en las obras, sistema que debe ser compatible y complemento de la Plataforma Integrada para la Gestión de la Construcción “Plataforma de Gestión de la Construcción”, que actualmente desarrollan la alianza estratégica Universidad EAFIT-CIDICO.
- Validación y pertinencia de los conceptos de gestión logística en el sector de la construcción y de la herramienta TIC en el contexto local.

1.3 OBJETIVOS METODOLÓGICOS.

- A partir de la bibliografía recolectada a lo largo de la investigación, formular la posibilidad de implementar nuevas metodologías, herramientas y enfoques en gestión logística aplicada a obras de ingeniería civil y construcción en Colombia.
- Obtener resultados de la logística interna de la obra piloto en donde se instale la herramienta TIC por parte de la alianza estratégica Universidad EAFIT-CIDICO.
- Con la experiencia de la prueba piloto para la implementación de la herramienta TIC, aparte del diagnóstico previo de la logística interna que se hizo en varias obras, proponer una serie de soluciones y actividades de mejora y fortalecimiento de los procedimientos que involucran las actividades que requieren de la gestión logística para su eficiente desarrollo.

2. JUSTIFICACIÓN

La industria de la construcción en Colombia se ha caracterizado por presentar retrasos considerables respecto a otras industrias en el área de la planificación, específicamente por la falta de estandarización, medición y control de procesos. Si se tiene en cuenta que las actividades de soporte representan algo más del 20% del tiempo empleado en las actividades de construcción⁴, vale la pena entonces preguntarse sobre el estado actual de la logística de las obras de construcción, considerando los tiempos de soporte como parte del tiempo logístico de la obra. Adicionalmente, si se le suma a esta situación que muchas de las pérdidas en los proyectos se dan por tiempos de espera debido al déficit en el aprovisionamiento, la recepción y el almacenamiento de recursos, es decir, tiempos que no agregan valor y que representan un 11% aproximadamente, se estaría hablando de que un 31% del tiempo empleado en la construcción es susceptible de ser reducido mediante el enfoque de la gestión logística aplicada.

Es por eso que la alianza estratégica Universidad EAFIT y CIDICO encuentran la necesidad de comenzar a comprender el sector desde el punto de vista de la optimización de los flujos logísticos de recursos, obligando esto, a la utilización de nuevas herramientas tecnológicas de información y comunicación que faciliten los procesos de implementación y adaptación de nuevas tecnologías blandas con las que se pretende fortalecer el sector.

⁴ Fuente: base de datos GICO actualizada para Colombia a fecha del 15 de diciembre de 2010.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Como se planteaba anteriormente, una de las mayores causas de pérdidas en el sector de la construcción obedecen a tiempos de espera por falta de aprovisionamiento de recursos y tiempos asociados a desplazamientos y distribución de materiales desde los diferentes puntos de acopio hasta los diferentes frentes de obra. A lo anterior hay que agregarle el déficit en la gestión del almacén con respecto a la programación de recursos y entregas, y la relación con los proveedores, quienes en muchas de las veces, son el agente externo que afecta sensiblemente la programación inicial del proyecto.

También es cierto que el manejo de la información se hace complejo, debido al desgaste administrativo, producto de cadenas de suministro muy dispendiosas en donde dicha información muchas veces se segmenta y pasa por muchos filtros administrativos antes de poderse materializar la adquisición del recurso y el posterior aprovisionamiento del frente de obra; lo anterior es evidencia de la fallas en la gestión del mediano y largo plazo, lo que también altera la programación semanal y diaria de los proyectos de construcción. A continuación se citan los planteamientos hipotéticos del problema logístico en las obras de construcción en Colombia:

- Existe un déficit en la planificación de recursos desde el punto de vista del flujo de materiales. Es común tener en un mismo proyecto dos escenarios, el primero con una sobreasignación de recursos generando acumulación de grandes cantidades de inventario, lo que implica que se van a tener grupos de existencias de material ocioso que consumen espacio y generan un costo de almacenamiento; igualmente se aumentan los niveles de deterioro o desgaste, alterando la calidad de dichos materiales. Un segundo escenario es el de la provisión nula, en donde por falta de planificación o incumplimiento de los proveedores, las actividades programadas sufren detenciones obligatorias, modificando las actividades que van ligadas a estas.
- Es común que el manejo del almacén en las obras de construcción en Colombia, se reduzca al control de entradas y salidas; obviando los siguientes controles de gestión: puntos de reorden y previsión de inventario, asignación específica de cantidades mínimas y máximas de insumos asociados a cada destino físico de la obra, consolidando de esta forma centros de costos que puedan justificar de una manera más transparente la operación del almacén y su disponibilidad presupuestal; identificación del personal responsable del retiro de materiales del inventario y con las cantidades permitidas, así como también un historial de consumos por contratista con fecha, cantidad y responsable del consumo, de tal manera que esta información sirva para validar los cortes de obra y las órdenes de pago a los subcontratistas.

- El sector de la construcción en Colombia está atrasado en la adopción de TIC como apoyo al control de la producción; el manejo de la información es dispendioso e ineficiente, la actualización de inventarios es demorada y la elaboración de un corte de obra para liquidar un contratista es un proceso que a los ingenieros y arquitectos de obra les consume mucho tiempo; sin contar que en muchas de las veces hay discrepancia entre las partes por diferencias en cantidades de mas o de menos, horas extras, cumplimientos, etc. Este tipo de situaciones obedecen simplemente a la ausencia de herramientas tecnológicas que permitan la obtención y actualización de la información en tiempo real y a la automatización en la captura de datos. Evidentemente, las demoras en la generación de informes y reportes en la obra, demoran la toma de decisiones y por consiguiente afecta la gestión misma del proyecto.

Con los planteamientos anteriormente definidos, la gestión logística deberá introducirse de manera tal que se genere una cohesión con las herramientas *Lean Construction* desarrolladas por la alianza estratégica Universidad EAFIT-CIDICO en la última década, tales como: gestión integrada para el sector de la construcción GICO, y el sistema de referenciación para el sector de la construcción, BENCHCOLOMBIA. Así es como se pueden configurar los procedimientos "*Lean Logistics*" que apoyen herramientas de planificación como *Last Planner*, programación dinámica, investigación de operaciones logísticas, entre otras.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 FUNDAMENTOS DE GESTIÓN LOGÍSTICA

4.1.1 Definición de logística. Siempre ha existido la necesidad, en cualquier estructura de empresa, de optimizar los recursos para reducir los costos en la cadena de valor⁵ y maximizar la utilidad. Lo anterior implica la introducción del concepto de logística como el conjunto de actividades de planificación, organización y control de dichos recursos y los procesos inherentes a la producción.

También puede entenderse como la administración estratégica de la adquisición, el movimiento y el almacenamiento de recursos a través de la organización y sus canales de comercialización. Una definición más global, es planteada por el Council of Supply Chain Management Professionals que define la logística como “el proceso de planificación, ejecución y control de procedimientos para el transporte y almacenamiento eficaz y eficiente de mercancías y de servicios y la información relacionada, desde el punto de origen, hasta el punto de consumo, con el fin de ajustarse a los requisitos del cliente” (CSCMP, 2010: 114).

La gestión logística forma una cadena de actividades enfocadas a la generación eficiente de riqueza en empresas que como mínimo cuenten con una estructura jerárquica u organizacional en donde se puedan definir correctamente los roles pertinentes para la ejecución de cada una de las actividades. Los conceptos modernos de logística provienen de la ingeniería militar de principios del siglo XIX, donde se introdujeron conceptos de estrategia y táctica, encargados del movimiento de la tropa, alojamiento, transporte y aprovisionamiento de víveres y armamento⁶.

Tiempo después, una vez concluida la época de la Segunda Guerra Mundial (1945), el personal encargado de la logística militar se traslada al sector empresarial e industrial transformando los conceptos de logística con la adaptación a la producción en la sociedad civil.

A continuación se definen los conceptos básicos de la teoría de gestión logística, generalizada para cualquier organización en cualquier actividad.

⁵ La cadena de valor es una serie de actividades, que en conjunto, definen un proceso de negocio; dichos procesos de negocio hacen parte de los procesos de fabricantes al por menor, que unidos, conforman la cadena de suministros de la industria completa. (CSCMP, 2010: 198)

⁶ Tomado de www.brigadalogistica.mil.co , página adscrita al Ejército Nacional de la República de Colombia.

4.1.2 Estados de aprovisionamiento, almacenamiento, producción y distribución.

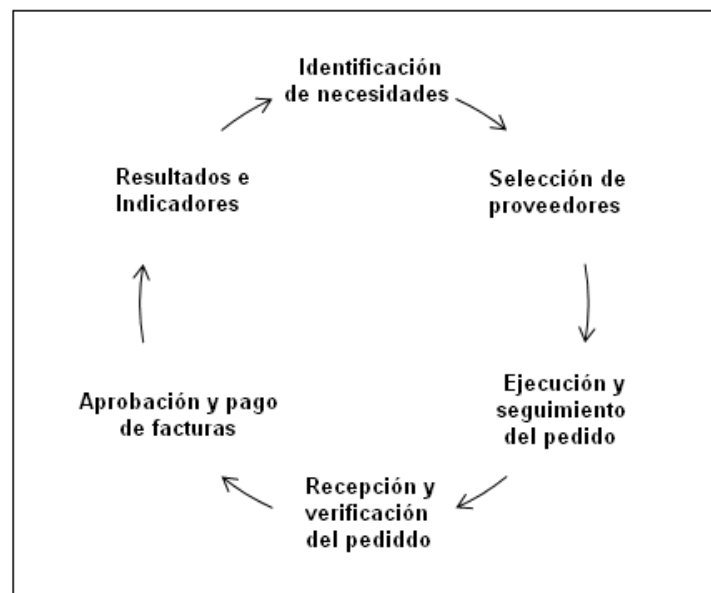
Los estados de la gestión logística se resumen en sistemas de aprovisionamiento en todo lo que corresponde la relación entre proveedores y consumidores directos alrededor de las coberturas de inventario proyectadas; el almacenamiento, referente a la organización y acopio de los insumos en el sitio de producción necesarios para garantizar la dinámica de la empresa; producción, que corresponde a la fase donde se transforma la materia y la distribución que corresponde a la ubicación de dichos productos en las manos del cliente final.

4.1.2.1 Aprovisionamiento. La logística de aprovisionamiento es la encargada de determinar la cobertura de inventario, a partir de la cual se definen las políticas de pedidos y transporte, la gestión de inventarios, y un estado final de compras. La cobertura se obtiene al dividir el inventario sobre el consumo medio, para un determinado periodo de tiempo.

Ejemplo: si el inventario disponible es de 10un y el consumo promedio es de 2un por semana; la cobertura de inventario será entonces de 5 semanas.

Adicionalmente, la gestión de aprovisionamiento está pensada para ejecutarse en forma cíclica, así:

Figura 1. Proceso de gestión de aprovisionamiento



(Fuente: elaboración propia)

La identificación de las necesidades deberá ser aprobada por la dirección y remitir la solicitud para suplir dicha necesidad al departamento de compras o similares, posteriormente se sigue con la selección de la fuente de aprovisionamiento (proveedor) idónea y que además satisfaga los criterios establecidos por la dirección, tales como: calidad, precio, tiempos de espera, modos de envío, formas de pago, entre otros. Definidos estos aspectos se emite por parte del comprador una orden de pedido que será aprobada o no por el proveedor. Cuando es aprobada la orden, los recursos son preparados y alistados para que lleguen a las manos del comprador quien recibe e inspecciona las especificaciones y las cantidades solicitadas en la etapa de emisión.

Para la aprobación y el pago de facturas a proveedores, es fundamental contar con un documento de recepción, la orden de pedido emitida por el comprador y la factura expedida por el proveedor; de esta forma se va consolidando la cadena productiva que está sujeta a un control de resultados que se hace a partir de la ponderación y calificación del proceso, identificando tiempos muertos, de espera, calidad en el producto, y todos los parámetros cuantificables y por valorar, de tal modo que se pueda obtener un criterio para mejorar futuras experiencias.

4.1.2.2 Almacenamiento. La gestión del almacén involucra tres actividades fundamentales, comenzando por la recepción del recurso, acopio y movilización dentro del sitio de almacén y la entrega en el sitio de consumo. Lo que de manera implícita supone que el manejo de un almacén se reduce a control de entradas y salidas del recurso.

Los objetivos principales en la operación de un almacén son la rotación eficaz y eficiente del inventario, la gestión óptima de inventarios obsoletos, optimización de la superficie del almacén, optimización de rutas de recepción y entrega, y optimización del equipamiento. Dentro de la cadena logística la conformación del almacén es determinante para elevar la productividad en la fase de producción; una acertada logística de almacén hace que se disminuyan los tiempos no contributivos⁷, materializados en tiempos de espera y tiempos ociosos. Los conceptos a tener en cuenta desde la fase de planificación son la ubicación, el tamaño y la distribución.

Ubicación del Almacén: la ubicación⁸ del almacén es un determinante para el desarrollo de la competitividad; el problema se convierte en multivariable y su solución obedece a una o varias alternativas que dependen del tipo de proyecto, distancias, demanda de recursos, manejo de inventarios. La variable por excelencia que domina los modelos de ubicación es la distancia entre el almacén y el sitio de producción, luego el problema de ubicación puede modelarse como un problema de transporte.

⁷ Los tiempos no contributivos, o tiempos que no agregan valor, son todos los tiempos empleados en actividades que generan pérdidas.

⁸ Existen varios modelos matemáticos para la ubicación del almacén, entre ellos: Von Thuner, Hoover, Weber, Greenhut, y el método del centro de gravedad, entre otros.

Tamaño y distribución del almacén: el almacén debe ser dimensionado en función de los productos a almacenar y la vida útil proyectada. La unidad de medida más óptima para su desarrollo son los metros cúbicos, permitiendo optimizar de una mejor forma la planta y las alturas a utilizar. Es importante también clasificar el grado de circulación de los productos y de esta forma ubicarlos estratégicamente, de tal forma que los más demandados se encuentren más próximos a la puerta de entregas.

Un almacén con una gestión organizada debe tener referenciados con códigos cada uno de los productos, al mismo tiempo estas referencias deben estar amarradas a un punto de referencia dentro del sitio de almacenamiento.

4.1.2.3 Producción y distribución. La producción inicia una vez concluye la gestión del almacén y va enfocada a la materialización del producto a partir de la implementación de prácticas que contribuyan a la reducción de actividades que no agreguen valor. La logística de producción es desarrollada a partir de modelos probabilísticos que le imprimen un nivel de certidumbre a las actividades con el claro objetivo de minimizar las pérdidas. Si las fases anteriores de aprovisionamiento y almacenamiento son ineficientes, entonces los niveles de producción y distribución se verán afectados por los tiempos de espera. Es preciso entonces definir los conceptos fundamentales de la filosofía *LEAN PRODUCTION*, basada en el sistema de producción americano y japonés, dos escuelas con nortes similares pero con diferencias sustanciales en la metodología de producción. Con base en los siguientes enunciados se fijarán las condiciones iniciales para el desarrollo de la gestión logística.

Filosofía de los sistemas de producción FORD Y TOYOTA.

Definición de palabras claves:

- Sinergia: es la composición de un sistema, que actúa de manera tal, que su efecto final es mayor que la suma de los efectos individuales de cada uno de los componentes del sistema.
- Eficiencia: Optima utilización de los recursos.
- Productividad: es la relación existente entre los recursos producidos y los recursos empleados.
- Competitividad: capacidad de diferenciarse en el mercado con valor agregado.
- Pérdida: efecto del desarrollo de actividades ineficientes, y que por lo tanto no agregan valor a la actividad.

Los conceptos anteriormente mencionados, son aplicables en la manufactura y en la construcción, aunque su alcance llega más allá, pues se pueden convertir en una forma de vida, en hábitos saludables que transforman la sociedad.

Así, de esta forma, Henry Ford concibe su pensamiento Lean al plantear una primera ley que sirve de soporte a su estructura organizacional, teniendo como principio las bases de la ética y la moral en la administración. "*Morality is part of good management*"⁹.

Principios básicos de Henry Ford:

Ley natural: "los principios fundamentales en toda organización, se basan en relaciones humanas exitosas."

A partir del reconocimiento que Ford le da a la persona, como parte principal y fundamental de su organización, establece tecnologías blandas de largo alcance que involucran a todos los participantes de los éxitos y desaciertos que pueda tener dicha organización. Ford concibió varios sistemas aplicados a la manufactura, el transporte, la agricultura, la salud, entre otros; sin embargo, para el enfoque de Gestión Logística se toma como referencia la manufactura y su mecánica de producción continua minimizando las pérdidas inherentes al proceso. Una vez consolidada la ley natural, surge el concepto subyacente detrás de la filosofía Lean para el modelo típico de empresa.

Principio básico de la filosofía LEAN: "La eliminación de todas las formas de pérdidas, es la base del éxito operacional." (H. Ford, 1926)

De la frase anterior se desprenden un sinnúmero de principios y conceptos que desembocan en un paradigma de producción: reducción de costos en función del aumento de la producción. El modelo de Ford tiene en el fondo las características de la administración científica de Taylor, quien dedicó sus esfuerzos a estudiar tiempos y movimientos en la industria, previo a una planificación rigurosa de cada una de las actividades que componen un proceso. El modelo de pensamiento occidental va tomando forma, prueba de ello es la producción en masa del modelo Ford-T, un prototipo sencillo y económico que se ajusta a las necesidades del cliente. Paralelo a este creciente desarrollo, en oriente también se proyectan estrategias de producción para contrarrestar la crisis de la época (1943 en adelante) manejando una estructura más participativa, en donde no solo una cabeza tomaba las decisiones trascendentes, sino el conjunto como tal, enfocando los objetivos a largo plazo y repartiendo las utilidades proporcionalmente. Es importante mencionar que los objetivos fundamentales de las dos líneas de pensamiento no difieren en cuanto a garantizar la productividad, como consecuencia de la identificación y supresión de todo lo que no agregue valor¹⁰. Aunque existen diferencias y obviamente similitudes en ambos sistemas¹¹.

⁹ Ver "Ford's Basic Principles" (W.Levinson,2002,pg18)

¹⁰ Muda: Termino Japonés que denota perdida

Waste: Friction: termino definido por H.Ford en su filosofía Lean, que denota pérdida.

¹¹ Ver "Ford and Toyota Production System" (W.Levinson,2002,pg15)

Diferencias:

- El sistema Toyota saca al mercado pequeños lotes de producción de diferentes productos, innovando y dando posibilidades de oferta al cliente; mientras que el sistema Ford saca grandes lotes de producción de prototipos idénticos.
- El sistema Ford fue diseñado para funcionar idéntico a un mecanismo de reloj, es decir, es un modelo cíclico y repetitivo con jerarquías muy definidas. Por otro lado sistema de Toyota usa un sistema de tracción en el cual desde la parte más baja de la cadena de producción se opera en conjunto con la parte más alta; lo que permite que cualquier miembro del modelo de producción pueda aportar para el mejoramiento del sistema.

Similitudes:

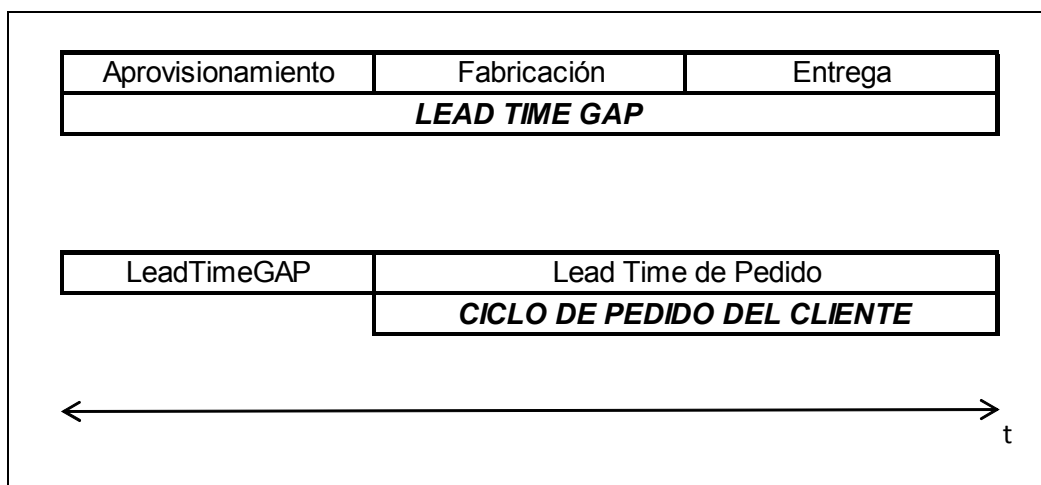
- Anulación de la acumulación de inventario.
- Las largas distancias entre los sitios de trabajo deben suprimirse, ya que los desplazamientos son en sí, pérdidas.
- Eliminación de movimiento o innecesaria rotación de personal.

Lo anterior resume el alcance del pensamiento Lean de producción y deja abierta las puertas al mejoramiento continuo de las actividades involucradas en dichos sistemas; extensible sin lugar a dudas a cualquier sector productivo.

Desarrollados los estados de la logística y establecidos los dos modelos principales de producción, necesarios para estructurar la teoría, se puede consolidar en una sola escala de tiempo el proceso de gestión que se debe llevar a cabo en un proceso de producción logística. Es necesario entonces definir el Lead Time como “el tiempo total que transcurre entre la colocación de un pedido y su recepción”, incluyendo también los procesos de ordenes de pedido, preparación y transporte. (CSCMP, 2010: 110)

Luego el *Lead Time GAP* será la brecha en el tiempo de espera para que el cliente cuente con el producto terminado, anterior al *Lead Time* de pedido.

Figura 2. Esquema del Lead Time Gap en una escala de tiempo definida



(Fuente: Esade Business School, 2004)

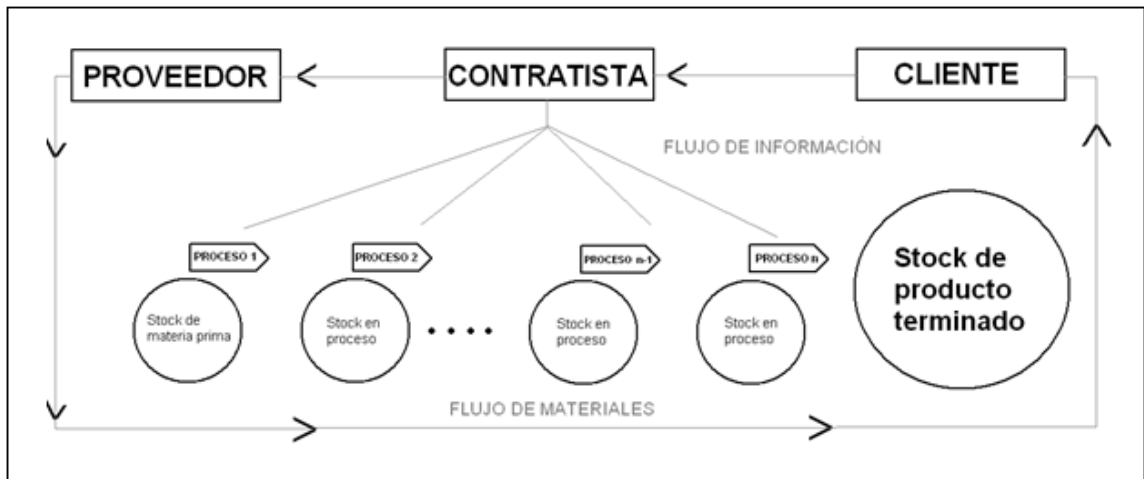
La figura 2 muestra claramente como deberán ajustarse los tiempos de producción y distribución para elevar los niveles de eficiencia y eficacia, haciendo que como mínimo la suma de estos dos sea igual al tiempo de espera por parte del cliente; lo que implica una reducción de los inventarios, o bien, la rotación de los mismos¹².

Es preciso que los conceptos anteriores se puntalicen con un modelo de producción que integre los diferentes enfoques que hasta el momento se describió, por lo tanto se abordarán los sistemas de empuje y tracción como modelos de producción que describan el comportamiento de la demanda o la previsión de la misma; lo cual determina los niveles y tiempos de producción.

Sistemas Pull / Push: se puede entender como una cadena de reacción jalonada por el cliente final. La demanda es quien determina los niveles de producción y por lo tanto el flujo de inventarios a través de cada uno de los procesos (Cuatrecasas, 2010:98); lo cual se conoce como fenómeno de arrastre "Pull". Por otro lado, un fenómeno de empuje "Push" enfocado a la previsión de la demanda y gestión de la producción, es quien determina la duración del tiempo logístico definido en la figura 3.

¹² La rotación de inventarios, combinado con prácticas eficientes para la reducción de tiempos en procesos y transportes, se constituye en el objetivo fundamental para el modelo de "operaciones ágiles" (agile operations) siglo XXI.

Figura 3. Modelo de producción masivo por sistema Pull



(Fuente: Esade Business School, 2004)

Los inconvenientes en la implementación de los sistemas de empuje y tracción, se citan en la tabla 1.

Tabla 1. Comparativo de inconvenientes sistemas Pull / Push

Desventajas sistemas Pull-Push	
Sistema Pull (arrastre)	Sistema Push (empuje)
El excesivo flujo de inventario entre cada una de las zonas de almacenamiento dificulta el acople con el inventario general de la empresa.	Dependencia total de un almacén central.
Se atiende la necesidad de quien primero requiera el pedido, luego no hay prioridades.	se programa la distribución de inventarios con cierto nivel de incertidumbre.
Favorece la acumulación de inventarios.	

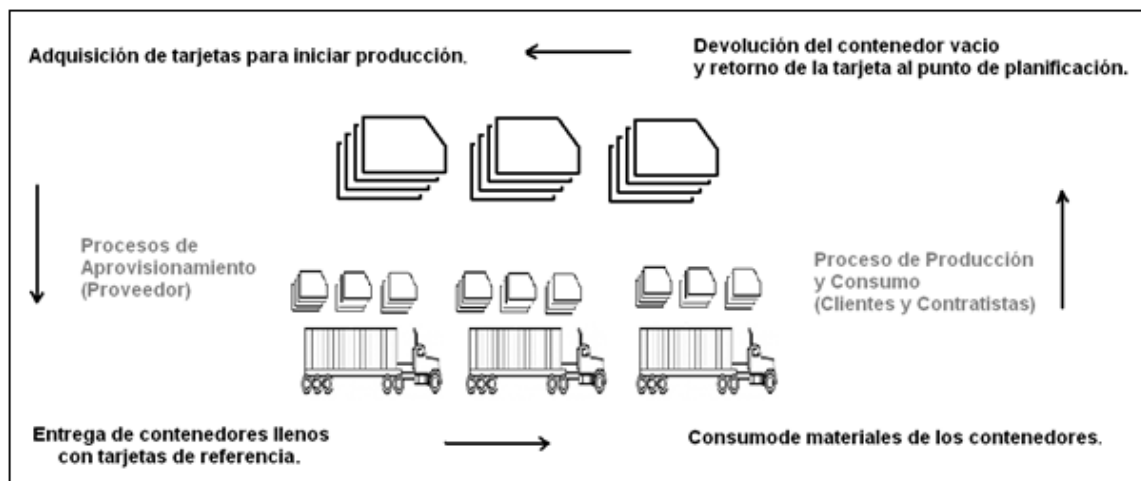
(Fuente: elaboración propia)

El flujo Pull pretende entonces ejecutar todas sus actividades en forma continua con el objetivo de satisfacer las demandas del cliente en los tiempos que el cliente demande y en la cantidad que lo demande. Sin embargo, en aras de garantizar los estándares de cumplimiento, muchas de las actividades se pueden concluir en terminación temprana, incurriendo en la acumulación de inventario.

La inconsistencia anterior, dentro de un modelo de producción que pretenda ser continuo, se soluciona dándole salida inmediata¹³ a los recursos que recién llegan al almacén procurando que esta sea una tendencia suave y continua que no genere alteración alguna en los inventarios programados en el instante (evitando así la acumulación y el déficit).

Lo anterior puede materializarse con un sistema de autorizaciones de producción en cada uno de los puntos de producción y entre cada proceso. Dichas autorizaciones son la esencia de los sistemas JIT (Just in time o justo a tiempo) y se conocen normalmente como tarjetas **KANBAN**¹⁴ (Robbins Et al. 2002).

Figura 4. Procedimiento KANBAN



(Fuente: elaboración propia)

Continuando con la dinámica de flujo continuo de la producción, en cada uno de los procesos, es necesario considerar el tiempo de preparación de cada proceso, para lo cual se trabajarán las técnicas **SMED**¹⁵, compuesta de una serie de conceptos que minimizan los cambios de serie en cualquier proceso continuo.

¹³ En el área de la logística, este procedimiento es similar al funcionamiento de una cola, en donde el primer elemento de la fila (quien entra) es el primer atendido (quien sale) y se denomina **FIFO**, cuyo significado del inglés es "el primero en llegar es el primero en salir" (**First In, First Out**). Esta filosofía se presta para facilitar las necesidades instantáneas que se dan en los procesos, jalonadas por el cliente .

¹⁴ **KANBAN**: Palabra japonesa que traduce "ficha" o "tarjeta". Su aplicación en logística se reduce a un sistema de tarjetas con el que se autoriza el movimiento de contenedores en un sistema de entregas JIT.

¹⁵ **SMED** (Single Minute Exchange to Die) es una técnica implementada por el doctor **Shigeo Shingo** (1909-1990) que consiste en "eliminar el lote de producción reduciendo al máximo el tiempo de preparación de máquinas y materiales". Para Shingo, SMED, más que considerarlo como una técnica, se debe considerar como un enfoque que se le debe dar a la producción.

Este planteamiento se da a mediados de los setenta en plena implementación del sistema de producción de la TOYOTA, obteniendo resultados que revolucionarían los conceptos de maquinaria eficiente y de fácil preparación para el reinicio inmediato de actividades.

Figura 5. Método SMED



(Fuente: elaboración propia)

Fragmentar: identificación de actividades internas y externas de la maquinaria, entendiéndose las actividades internas como todas las actividades que se llevan a cabo cuando la maquina está inactiva, las operaciones externas se identifican como las operaciones que se pueden realizar con la máquina en movimiento.

Convertir: todas las actividades internas que sean posibles, deberán transformarse en actividades externas.

Organizar Operaciones Externas: implementación de la logística (apoyo de transporte, herramientas al pie de máquina, cargadores, etc.) para respaldar el funcionamiento y reducción de tiempos en actividades externas de maquinaria.

Minimizar Operaciones Internas: las operaciones internas que quedaron fijas en el proceso es probable que no necesariamente deban ejecutarse secuencialmente; el tiempo para desarrollar estas operaciones se reducirá sensiblemente si se encuentra la forma de que dichas operaciones se efectúen en simultáneo. La implementación del enfoque SMED en la producción implica necesariamente la reducción del tiempo logístico (Lead Time) y de las actividades que no agregan valor (pérdidas). Todo esto apunta a la introducción a la filosofía Just In Time que se desarrollará más adelante.

Se han mencionado los parámetros fundamentales para la conformación de la gestión logística de empresas. Lo anterior es una introducción a los conceptos de Supply Chain (Cadena de suministro) y Just in Time (Justo a tiempo) en donde se hará más énfasis en los aspectos productivos y organizacionales de la cadena logística.

4.1.3 Cadena de suministro (Supply Chain) y la gestión logística en empresas. La administración de la cadena de suministro toma cada vez más importancia en la mejora eficiente de procesos productivos y se considera como las medidas a implementar para consolidar y/o fortalecer todos los eslabones de la cadena de abastecimiento de cualquier organización con dos objetivos claros: aumentar las utilidades a partir de la reducción de los costos y la satisfacción del cliente (Keat y Young, 2004). Para que la gestión se realice de forma eficiente es necesario la coordinación y constante comunicación entre eslabones consecutivos, lo cual hace que se reduzcan las pérdidas entre procesos consecutivos.

El diseño de la cadena de suministros varía según el tipo de empresa y se compone de las fases logísticas mencionadas anteriormente, sin embargo, plantear que *Supply Chain* sea un complemento, o que sea exactamente lo mismo que el concepto de *Lead Time*, se deja a criterio del lector y no hace parte del alcance del presente estudio.

La cadena de suministro (Supply Chain) está estructurada como la combinación eficiente de los procesos de producción y entrega de servicios, así:

Tabla 2. Fases de la cadena de suministro

	SERVICIOS	PROCESOS DE PRODUCCIÓN
FASE 1	Proveedores	Aprovisionamiento
FASE 2	Apoyo a la producción	Manufactura
FASE 3	Distribuidores primarios	Distribución
FASE 4	Clientes	Clientes

(Fuente: Chase et al, 2009)

El desempeño de esta cadena de suministro dependerá de la medida de la eficiencia obtenida a partir de la rotación de inventarios y de las semanas de suministro definidas así:

$$\text{Costo de Rotación de Inventario} = \frac{\text{Costo de los Bienes Vendidos}}{\text{Valor Promedio del Inventario Agregado}}$$

$$\begin{aligned} \text{Semanas de Suministro} &= \frac{\text{Valor Promedio del Inventario Agregado}}{\text{Costo de los Bienes Vendidos}} \times 52 \text{ Semanas} \\ &= (\text{Rotación de Inventario})^{-1} \times 52 \text{ Semanas} \end{aligned}$$

Donde el costo de los bienes vendidos se asocia al costo directo que la empresa asume para producir dichos bienes y servicios¹⁶; y el valor promedio del inventario agregado, se asocia al valor de los inventarios que son propiedad de la empresa. Analizando la primera ecuación se puede concluir que si el denominador tiende a ser muy pequeño la rotación del inventario es grande, lo cual traduce que el valor de los materiales que hacen parte del inventario actual es bajo, luego, el inventario es mínimo y se puede hablar de eficiencia en la cadena de suministro. Comparando lo anterior con la segunda ecuación se concluye que la rotación de inventario es inversamente proporcional a las semanas de suministro.

La cadena de suministro no necesariamente se compone de actividades y/o procesos ejecutados en serie; también pueden darse actividades y/o procesos en simultáneo o paralelo que no necesariamente guardan una precedencia única con actividades de fases posteriores. Por lo tanto, Supply Chain puede asemejarse a una red PERT-CPM.

Diseño de la Cadena de Suministro. Recordando las características de los sistemas de producción Pull, en donde la demanda definía los niveles de manufactura y en forma directa jalonaba los procesos productivos, puede decirse que el diseño óptimo de una cadena de suministro solo se da cuando se comprende la naturaleza de la demanda (Fisher, 1997:104). Por lo tanto, dependiendo del tipo de producto, se tendrán diversos tipos de cadenas de suministro. Los conceptos anteriores se pueden consolidar en la siguiente tabla:

¹⁶ No incluye por administración, ni por ventas.

Tabla 3. Cuadro comparativo entre los tipos de demanda y los tipos de suministros

Características de la Demanda		Características del suministro	
Funcional	Innovador	Estable	Evolutivas
Baja incertidumbre	Alta incertidumbre	Menos procesos	Vulnerable a mas procesos
Demanda estable	Demanda inestable	Producción alta y estable	Producción baja y variable
Larga vida del producto	Corta vida del producto	Mas fuentes de aprovisionamiento	Menos fuentes de aprovisionamiento
Costo de inventario bajo	Costo de inventario alto	Menos cambios en procesos	Más cambios en procesos
Utilidad baja	Utilidad Alta		
Poca variedad	Mucha variedad		
Costo de salida bajo	Costo de salida alto		

(Fuente: Chase et al, 2009)

A partir del anterior cuadro comparativo de la caracterización de las cadenas de suministro en función del tipo de demanda, se establece la metodología de operación de la línea de producción, Aunque, no se debe asociar para la mayoría de los casos que los productos con demandas estables necesariamente tengan una cadena de suministro estable; por ejemplo, se sabe que la demanda de agua potable para determinada población es constante, pero la cadena de suministro depende de las condiciones impuestas por los ciclos hidrológicos que en últimas determinan el caudal de operación.

La funcionalidad y la innovación de los productos; entendiéndose los productos funcionales como bienes y servicios que tienen un nivel de aceptación alto y un consumo estable y predecible, y los de innovación como productos “fugaces” que están en constante evolución y cuya demanda es incierta, deben ajustarse a la cadena de suministro más óptima que les permita mantener una dinámica aceptable y competitiva, lo cual se reflejará en los indicadores de desempeño, por ejemplo, la rotación de inventario.

Hau Lee define en la siguiente matriz los niveles de incertidumbre de la cadena de suministro, en función de la funcionalidad y la innovación de la demanda.

Tabla 4. Matriz de incertidumbre de suministros, de HAU LEE

Incertidumbre de Suministro		Incertidumbre de la Demanda	
		BAJA	ALTA
		Producto Funcional	Producto Innovador
BAJA	Proceso Estable	Abarrotes, ropa básica, alimentos, petróleo y gas	Literatura, tecnología, música
		Cadena de Suministro Eficiente	Cadena de Suministro Responsiva
ALTA	Proceso Evolutivo	Agua potable	Telecomunicaciones
		Cadena de Suministro con Riesgo Compartido	Cadena de Suministro Ágil

(Fuente: LEE, Hau, 2002)

La estructura de incertidumbre de HAU LEE muestra la correlación entre demanda y suministro y define cuatro tipos de cadenas de suministro para cada uno de los cuadrantes, los cuales se definen así:

Cadenas de suministro eficientes: son las cadenas cuyo objetivo fundamental es eliminar todas las actividades que no agreguen valor, enmarcadas en economías de escala, buscando altos niveles de producción y distribución.

Cadenas de suministro con riesgo compartido: son las cadenas que manejan en su estructura más de un agente responsable del suministro, en donde se comparten recursos para la manufactura del producto y al mismo tiempo se disminuye el riesgo de operación, al compartir responsabilidades en la interrupción del suministro. Por ejemplo: en el suministro de energía eléctrica existen varias empresas que son responsables de procesos diferentes (generación, transmisión, distribución) pero que comparten la responsabilidad de mantener el sistema en óptimas condiciones de operación.

Cadenas de suministro responsiva: son las cadenas que atienden requerimientos específicos de determinados clientes, enfocando su producción a procesos flexibles y sujetos a cambios en el suministro para garantizar la plena satisfacción de estos.

Cadena de suministro ágil: son las cadenas que combinan las características de las cadenas responsivas y las cadenas de riesgos compartidos, lo cual las hace cadenas ágiles por la capacidad de atender cambios en los requerimientos de los clientes, garantizando la continuidad en el suministro.

4.1.4 “Just in time” y la gestión logística en empresas. La filosofía JIT (Justo a tiempo) se desarrolló a partir de la necesidad que tenía la TOYOTA¹⁷ en disminuir el LEAD-TIME GAP a partir de la eliminación de actividades que no agregaran valor dentro de la cadena productiva. El objetivo fundamental de JIT es hacer lo necesario en el tiempo necesario. La idea de implementación de una filosofía JIT implica necesariamente una reducción abrupta en la cantidad de inventario y la reducción de tiempos en cada uno de los ciclos de producción.

Los Cuatro Objetivos de JIT son:

- Atacar los problemas fundamentales de la producción.
- Eliminar los sobrecostos.
- Simplicidad en los procesos.
- Implementar sistemas para identificar problemas.

Si la producción se basa en estos cuatro objetivos fundamentales, entonces deberán integrarse las fases de aprovisionamiento, almacenamiento, producción y distribución de manera tal que en cada una se minimice o suprima todos los excesos en la utilización de recursos, luego se considera que los desperdicios se entienden como cualquier cantidad de recurso adicional a la mínima cantidad requerida¹⁸ para la fabricación, elaboración o modificación de un producto (R.J. Tersine, 1994: 435).

La implementación de JIT¹⁹ depende en gran parte de la voluntad por parte de la gerencia de mantener el sistema; es importante tener en cuenta que los resultados no son inmediatos y que se requiere siempre de un periodo de acople para que se vayan visualizando indicadores de productividad superiores e incluso positivos, respecto a las condiciones anteriores al cambio de mentalidad. La implementación de JIT está compuesta de seis pasos a saber: Conformación del equipo JIT, Introducción de JIT a la línea de producción, Implementación de un programa de control de calidad, Consolidación de JIT en la línea de producción, Integración de proveedores al sistema, Valoración de la implementación del modelo JIT.

¹⁷ JIT Fue desarrollado por el ingeniero Taiichi Ohno (1912-1990) dentro del sistema productivo de TOYOTA. Los primeros avances en JIT se dan una vez es concluida la segunda guerra mundial en 1945.

¹⁸ En la bibliografía de ingeniería de producción, a la mínima cantidad requerida se le conoce como “Recursos Mínimos Absolutos” los cuales se idealizan con la existencia de un solo proveedor, no cuentan con existencias de seguridad, no generan tiempos de exceso u holguras. Adicionalmente estos recursos mínimos deben agregar valor en la totalidad de los casos.

¹⁹ CHASE, et al. “Administración de operaciones, Producción y cadena de suministros” Ed.12, 2009.

- Conformación del equipo JIT: en resumen el equipo JIT es todo el personal de la empresa, quien debe acoplarse al cambio de mentalidad de producción y debe trabajar en función de la reducción o eliminación de pérdidas. En este paso, la dirección de la empresa debe contribuir a la educación del personal en la filosofía JIT; sin una preparación previa no se puede concebir la ejecución de la metodología.

Adicionalmente se deben soportar los planteamientos del JIT con la utilización de sistemas Kanban, por ejemplo, y/o con la escogencia de un software que facilite el control de las actividades que se darán bajo esta filosofía.

- Introducción de JIT a la línea de producción: necesariamente deben haber cambios en la distribución física de la planta, de tal manera que los espacios de almacenamiento se minimicen. Elegir un proceso repetitivo que sirva de ejemplo piloto y que además sirva para validar la pertinencia del software, facilitará este cambio inicial que estará enfocado a obtener inmediatamente datos de producción y capacidad instalada con los nuevos cambios. Las mediciones deberán ser sistemáticas.
- Implementación de un programa de control de calidad: paralelo a las actividades anteriores, se deberá implementar un programa de calidad interno que registre la información arrojada por la implementación del JIT.
- Consolidación de JIT en la línea de producción: la consolidación consiste en volver repetitivos los procesos que se ejecuten bajo JIT y con la condición necesaria de que el flujo de recursos necesariamente dependerá de la demanda de la zona de producción, idéntico a lo expuesto anteriormente en los sistemas PULL.

Es sumamente importante conservar el principio de transparencia²⁰ y exponer los indicadores de productividad ante el personal de la empresa, de esta forma se plantearán nuevas metas de producción.

- Integración de proveedores al sistema: los proveedores son una pieza fundamental en la filosofía JIT; si se cuenta con el productor ideal, se estaría hablando de un tiempo de espera nulo por provisión de materiales.

²⁰ Según el CSCMP (2010:192) la transparencia consiste en la posibilidad de acceder a la información sin la necesidad de pertenecer o tener acceso privilegiado a un sistema de información, por ejemplo, información de avance de la obra en línea, exposición pública de la evaluación a contratistas y proveedores, etc.

- Valoración de la implementación del modelo JIT: es una calificación que obtiene la implementación de JIT en la cadena productiva. Para esta parte se espera contar con los indicadores de desempeño una vez a transcurrido un tiempo prudente²¹ que genere el volumen de datos necesarios para emitir un juicio.

De esta forma se deja planteada la necesidad de explorar nuevas metodologías para la mejora de procesos a partir de la reducción de desperdicios, de tiempos de espera a proveedores y tiempos muertos dentro de la misma cadena de producción. También enfocar la organización en el almacén de tal forma que la acumulación de inventarios de seguridad no genere obsolescencia en los recursos y encarezca los costos operacionales, de la misma forma en que se debe procurar por alcanzar flujo continuo de materiales en aras de mantener los ciclos de producción activos.

Definidos los conceptos de cadena de suministro (supply chain) y “Justo a tiempo” (JIT) bajo en enfoque de los modelos de producción introducidos desde en el numeral 4.1.2.3; es necesario introducir un concepto adicional para cubrir en forma general los elementos que a juicio del investigador, son fundamentales para ejercer en forma completa la gestión logística de proyectos; por lo tanto, a los modelos de producción entendidos desde la óptica del justo a tiempo y desde la organización mediante cadena de suministros, debe sumársele la planificación en planta.

4.1.5 “Layout Planning” y la gestión logística en empresas. La planificación de la distribución y la ubicación de las instalaciones hacen parte de la gestión logística aplicada a la optimización de los sitios en donde se llevan a cabo procesos productivos. Los principios básicos que se exponen a continuación son herramientas que aplican para la efectiva conformación de una cadena de suministro óptima y tienen como objetivo minimizar tiempos y desplazamientos y facilitar la ubicación de productos; lo anterior conlleva a la eliminación de pérdidas en muchas fases de la cadena de valor.

La planificación del Layout de cualquier sitio de producción implica la correlación de variables espaciales, de tiempo, costo y seguridad industrial; fundamentalmente lo que se busca es determinar el área de aferencia de una zona productiva y la identificación de las áreas en donde dicha zona se superpone con otras. De esta forma se establece que zonas deberán estar adyacentes, unas con otras, para optimizar la distribución y ubicación de las instalaciones que se mencionaron anteriormente.

²¹ Diferentes autores estiman que para la manufactura este tiempo oscila entre 9 y 12 meses en promedio. Su implementación no necesariamente garantiza éxito en el primer intento. Fuente: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/justoatiempofundamentos/

A parte de la interacción entre los centros de trabajo que conforman la cadena productiva, es necesario establecer las rutas de flujo de materiales y personas garantizando rutas eficientes que minimicen las variables a correlacionar.

El diseño del Layout puede ser dinámico o estático, dependiendo de dos aspectos fundamentales: la escala de tiempo y el grado de dependencia que la cadena productiva guarde con determinada zona de trabajo. Existirán zonas que deberán ser trasladadas en diferentes momentos del ciclo de producción, por ejemplo, la zona de alimentos para el personal, el cual no necesariamente conserve el mismo volumen a lo largo del proceso de producción. También existirán sitios inamovibles, como por ejemplo un horno incinerador de gran capacidad indispensable para la producción de materiales cerámicos. De manera que el problema de la planificación y el diseño de un Layout de un sitio de producción se convierten en un problema no lineal, dinámico, y que involucra modelos heurísticos combinados con conceptos empíricos producto de las actividades de tanteo y error que se desarrollan en los distintos escenarios de producción. Sin embargo, simplificando muchas de las restricciones que salen al momento de planificar en planta un sitio de producción, se puede acudir a los modelos de programación lineal y problemas de transporte y asignación.

La idea entonces es plantear las características principales para la conformación del LAYOUT y la definición de los modelos y métodos básicos para la formulación y solución de problemas de distribución en planta que se complementarán con la logística de materiales. De esta forma se estarán alcanzando los objetivos principales de análisis sobre la gestión de operaciones en actividades productivas, y asentando la base de la gestión logística para cualquier sector de la industria.

La planificación del LAYOUT de instalaciones se rige por una serie de principios²² básicos (Trueba, J.I. 2008):

- Principio de satisfacción y Seguridad: este principio se refiere a las condiciones de calidad de vida óptimas que debe poseer el sitio de producción, al tiempo de garantizar la seguridad del personal.
- Principio de la integración de conjunto: la integración de conjunto pretende lograr un equilibrio entre la proporción de personas en relación con la maquinaria y los espacios, de manera que no exista ni superpoblación de personas, ni déficit en máquinas.

²² Fuente: www.uclm.es/area/ing_rural/AsignaturaProyectos

- Principio de la mínima distancia recorrida: gran parte del éxito en el diseño de planta, es definir las rutas óptimas entre sitios de trabajo, lo cual reduce sensiblemente los costos por transporte.
- Principio de circulación o flujo de materiales: el diseño de la distribución deberá favorecer el flujo eficiente de materiales que se darán en las distintas cadenas de suministro, evitando la aparición de cuellos de botella por inconvenientes de espacio y disponibilidad de recurso en las diferentes zonas de trabajo.
- Principio de espacio en tres dimensiones: la distribución en planta debe proyectarse de una dimensión adicional, para el aprovechamiento total del espacio.
- Principio de flexibilidad: el diseño de LAYOUT deberá ser reajutable dependiendo de la evolución de las actividades en la cadena productiva.

A continuación se expondrán los métodos más utilizados para la formulación y solución de la distribución de las instalaciones en planta, haciendo uso de herramientas basadas en la Investigación de Operaciones. El planteamiento de estos métodos es la ventana de entrada a la implementación de software de gestión para la toma de decisiones; una vez más, la idea es poner a interactuar estos conceptos con la gestión de recursos.

4.1.5.1 El problema del Transporte. El problema del transporte es un caso particular de programación lineal cuyo objetivo es optimizar la distribución de recursos. Inicialmente se atenderán los casos típicos de formulación de rutas y asignación, pero se verá más adelante que esta metodología aplica para el diseño de Layout. La investigación de operaciones no solo brinda la posibilidad de atender problemas de optimización, sino que también brinda herramientas valorativas y cuantitativas para la acertada toma de decisiones en la gestión logística a partir de modelos que se montan con restricciones de recursos.

El planteamiento general del problema del transporte expone los siguientes puntos:

- Existe un origen y un destino que intercambian recursos, por lo tanto, existe la oferta y la demanda de bienes y servicios. Por lo general el flujo de recursos se modela en una sola dirección.
- La fuente de origen encarga de suplir la demanda tiene una capacidad instalada máxima.

- La fuente de destino encargada de demandar servicios siempre tendrá un requerimiento mínimo.
- La condición necesaria y suficiente para que la estructura del problema de transporte tenga solución viable, es que la oferta sea igual a la demanda (Prawda, W. J. 1993).

Generalmente lo que se busca optimizar es:

- Asignaciones óptimas de recursos.
- Cantidad óptima de viajes en la distribución de recursos.

Formulación general del problema del transporte.

Como condición inicial se tienen m puntos de origen que abastecen n puntos de destino. La capacidad instalada del punto de origen i vendrá dada por a_i para todo $i=1, \dots, m$ y la capacidad de consumo máxima del punto de destino j vendrá dada por b_j para todo $j=1, \dots, n$. El costo asociado al envío de una unidad de recurso desde el punto de origen i hasta el respectivo punto de destino j se denominará c_{ij} , que también aplica para todo $i=1, \dots, m$ y para todo $j=1, \dots, n$.

El problema consiste en determinar cuántas unidades de recurso enviar desde i hasta j de tal forma que los costos por envío sean mínimos, adicionalmente se debe satisfacer las condiciones de que la demanda de j no exceda la capacidad instalada de i , y que la capacidad instalada de i satisfaga la capacidad de consumo de j . De manera que se requiere de una variable de decisión X_{ij} que conforme la función objetivo a optimizar.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} X_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq a_i \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \geq b_j \quad j = 1, \dots, n$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad i = 1, \dots, m ; j = 1, \dots, n$$

Si el problema está balanceado, es decir, que la oferta sea igual a la demanda, se tendrá un planteamiento más general, así:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} X_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j \quad j = 1, \dots, n$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad i = 1, \dots, m ; j = 1, \dots, n$$

A partir de esto, la solución está en resolver el sistema mxn que se plantea a partir de la matriz de costos inicial; que también puede representarse como una matriz de flujos, así:

Tabla 5. Matriz de costos en la estructura del problema de transportes

		Destinos						Oferta
		1	2	.	.	.	n	
Orígenes	1	c11	c12	.	.	.	c1n	a1
	2	c21	c22	.	.	.	c2n	a2

	m	cm1	cm2	.	.	.	cmn	am
Demanda		b1	b2	.	.	.	bn	
		Costos						

(Fuente: Prawda, W. J, 1993)

Tabla 6. Matriz de flujos en la estructura del problema del transporte

		<i>Destinos</i>						<i>Oferta</i>
		1	2	.	.	.	n	
<i>Orígenes</i>	1	X_{11}	X_{12}	.	.	.	X_{1n}	a_1
	2	X_{21}	X_{22}	.	.	.	X_{2n}	a_2

	m	X_{m1}	X_{m2}	.	.	.	X_{mn}	a_m
<i>Demanda</i>		b_1	b_2	.	.	.	b_n	
		<i>Flujos</i>						

(Fuente: Prawda, W. J, 1993)

Dado el caso que la oferta no sea igual a la demanda, es decir, $\sum_{i=1}^m a_i \neq \sum_{j=1}^n b_j$; se deberán añadir orígenes y destinos adicionales de la siguiente manera:

- Si la oferta es mayor que la demanda, es decir, $\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$; se adiciona un destino artificial $n+1$ cuya capacidad de consumo (demanda) será $b_{n+1} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j$ con unos costos unitarios asociados iguales a cero.
- Si la oferta es menor que la demanda, es decir, $\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$; se adiciona un origen artificial $m+1$ cuya capacidad instalada (oferta) será $a_{m+1} = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i$ con unos costos unitarios asociados iguales a cero.

Planteamiento Ejemplo: La empresa de combustible cuenta con tres plantas de distribución, A, B y C que son las encargadas de aprovisionar a las comunidades S1, S2, S3, S4 y S5. A continuación se muestra la capacidad de suministro de cada una de las plantas y la demanda semanal de cada una de las comunidades.

Planta	Capacidad Semanal
A	50 gl
B	45gl
C	26gl

Comunidad	Consumo Semanal
S1	23gl
S2	12gl
S3	9gl
S4	34gl
S5	32gl

Definidas las condiciones de oferta y demanda, se define la matriz de costos para el flete entre cada planta de origen y la comunidad de destino, así:

	Valor del flete				
	S1	S2	S3	S4	S5
A	10	9	23	21	15
B	24	8	7	32	21
C	12	35	35	5	7

Definido el planteamiento de los datos iniciales, surge la necesidad de hacerse la siguiente pregunta: Como distribuir el envío de combustible de tal manera que se satisfagan las solicitudes de las comunidades sin que se vea comprometida la capacidad instalada de cada una de las plantas y que además el valor total por concepto de fletes sea el mínimo?

La variable de decisión más acertada corresponde a la cantidad de galones a enviar desde cada una de las plantas, luego, sea X_{ij} la cantidad de galones a enviar desde la planta i ($i=A, B, C$) hasta la comunidad j ($j=S1, S2, S3, S4, S5$). La función objetivo viene dada por:

$$\begin{aligned} \text{MIN } & 10X_{A,S1} + 9X_{A,S2} + 23X_{A,S3} + 21X_{A,S4} + 15X_{A,S5} + 24X_{B,S1} + 8X_{B,S2} + 7X_{B,S3} + 32X_{B,S4} \\ & + 21X_{B,S5} + 12X_{C,S1} + 35X_{C,S2} + 35X_{C,S3} + 5X_{C,S4} + 7X_{C,S5} \end{aligned}$$

Esta función está sujeta a las restricciones de oferta y demanda, cuyos valores se expusieron en las tablas de capacidad y consumo, respectivamente.

Restricción de oferta:

$$\begin{aligned}
 X_{A,S1} + X_{A,S2} + X_{A,S3} + X_{A,S4} + X_{A,S5} &\leq 50gl, && \text{en planta A} \\
 X_{B,S1} + X_{B,S2} + X_{B,S3} + X_{B,S4} + X_{B,S5} &\leq 45gl, && \text{en planta B} \\
 X_{C,S1} + X_{C,S2} + X_{C,S3} + X_{C,S4} + X_{C,S5} &\leq 26gl, && \text{en planta C}
 \end{aligned}$$

Restricción de demanda:

$$\begin{aligned}
 X_{A,S1} + X_{B,S1} + X_{C,S1} &\geq 23gl, && \text{para la comunidad S1} \\
 X_{A,S2} + X_{B,S2} + X_{C,S2} &\geq 12gl, && \text{para la comunidad S2} \\
 X_{A,S3} + X_{B,S3} + X_{C,S3} &\geq 9gl, && \text{para la comunidad S3} \\
 X_{A,S4} + X_{B,S4} + X_{C,S4} &\geq 34gl, && \text{para la comunidad S4} \\
 X_{A,S5} + X_{B,S5} + X_{C,S5} &\geq 32gl, && \text{para la comunidad S5}
 \end{aligned}$$

Restricción de dirección del flujo de recursos:

$$X_{i,j} \geq 0$$

Planteado el modelo, se sintetizan las ecuaciones en el siguiente arreglo:

Tabla 7. Síntesis del planteamiento del problema del transporte

		Destinos						Oferta
		S1	S2	S3	S4	S5	n+1	
Origen	A	10	9	23	21	15	0	50
	B	24	8	7	32	21	0	45
	C	12	35	35	5	7	0	26
Demanda		23	12	9	34	32	11	
		Costos						

(Fuente: elaboración propia)

Nótese como la oferta supera a la demanda en 11 unidades, por lo tanto se introdujo una columna adicional que permita amortizar este sobrepaso en la capacidad instalada del punto de origen.

Solución al Ejemplo: existen diversos métodos²³ iterativos para encontrar los valores que minimicen la función objetivo, entre los más reconocidos se encuentran el método de la esquina noroccidental y el método de Vogel; a pesar de ser un problema especial de programación lineal, el método Simplex no se recomienda dado su poca eficiencia en el proceso iterativo. Para efectos prácticos, se hará uso de la herramienta SOLVER de Excel® para encontrar los valores óptimos para las variables de decisión.

Planteamiento del modelo en hoja de cálculo:

Tabla 8. Planteamiento del problema en Hoja de Cálculo de Excel®

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	
1	Variables de decisión																								
2	Encontrar	Xas1	Xas2	Xas3	Xas4	Xas5	Xas6	Xbs1	Xbs2	Xbs3	Xbs4	Xbs5	Xbs6	Xcs1	Xcs2	Xcs3	Xcs4	Xcs5	Xcs6		MIN F.O.	1245,00			
3		23,00	0,00	0,00	8,00	19,00	11,00	0,00	12,00	9,00	0,00	13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,00	0,00	0,00						
4																									
5	Coeficientes de la Función Objetivo																								
6		Cas1	Cas2	Cas3	Cas4	Cas5	Cas6	Cbs1	Cbs2	Cbs3	Cbs4	Cbs5	Cbs6	Ccs1	Ccs2	Ccs3	Ccs4	Ccs5	Ccs6						
7		10,00	9,00	23,00	21,00	15,00	0,00	24,00	8,00	7,00	32,00	21,00	0,00	12,00	35,00	35,00	5,00	7,00	0,00						
8																									
9	SA																								
10		Matriz de Coeficientes Tecnológicos																							
11		Aas1	Aas2	Aas3	Aas4	Aas5	Aas6	Abs1	Abs2	Abs3	Abs4	Abs5	Abs6	Acs1	Acs2	Acs3	Acs4	Acs5	Acs6		Vr Actual		Vr Restric		
12		1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		Rn	50,00	≤	Rn	50,00
13		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0		34,00	≤	45,00		
14		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0		26,00	≤	26,00		
15		1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		23,00	≥	23,00		
16		0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		12,00	≥	12,00		
17		0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		9,00	≥	9,00		
18		0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0		34,00	≥	34,00		
19		0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0		32,00	≥	32,00		
20		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1		11,00	≥	11,00		
21																									
22																									
23																									

(Fuente: elaboración propia)

²³ Ver Prawda Witenberg. J. "Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones". 1993 Capítulo 3 "Problemas de Transporte y Asignación", pg.245

El modelo es exactamente igual al sistema de desigualdades planteado anteriormente y arroja los siguientes resultados:

Desde la planta A se enviaron 61 galones recordando que se creó un nodo ficticio de demanda para absorber la diferencia de 11 galones que se requería para balancear el sistema, por lo que en realidad se enviaron 50 galones, luego, se optimizó el recurso disponible de esta planta al distribuir la totalidad de sus galones entre las siguientes comunidades, de la siguiente manera: 23 galones para la comunidad S1, 8 galones para la comunidad S4, y 19 Galones para la comunidad S5.

Desde la planta B se enviaron 34 galones (no se utilizó toda su capacidad) y se repartieron así: 12 galones para la comunidad S2, 9 galones para la comunidad S3, y 13 galones para la comunidad S5.

Desde la planta C se enviaron 26 galones, utilizando toda la capacidad de la planta para proveer solo a la comunidad S4.

Así se satisface el requerimiento semanal de cada comunidad, tal como se expresa en la tabla 8, y se minimiza el costo de transportar estos recursos (Valor mínimo de la Función Objetivo, cumpliendo con los requerimientos de oferta y demanda. Min F.O= 1245).

La utilización de las plantas, la cantidad de galones que pueden proveer y el costo de transporte de cada planta, son variables que contribuyen de manera directa a la planificación del Layout. En los anexos se adjuntan los análisis de sensibilidad y de límites del solucionador SOLVER de Excel®.

Con el desarrollo de este problema genérico, se pretende mostrar las bondades de un planteamiento del problema de transporte para la planificación y el diseño de layout en una zona de producción. Supóngase que en vez de los puntos de origen que suministran el combustible a las distintas comunidades, se tuvieran almacenes proveedores de piezas para la fabricación de automóviles que deben ser ensamblados en diferentes zonas de trabajo al interior de la fábrica. Se podría pensar entonces que a partir de los resultados que arroje la solución básica factible del problema de transporte, es decir, a partir de los valores que adquieran las variables de decisión, se establecen criterios de decisión para determinar la cercanía entre almacenes y máquinas ensambladoras, o bien entre sitios de preparación de inventario y zonas de carga, entre otras.

De esta manera se van conformando grados de relación entre las distintas instalaciones, al tiempo en que se identifican los puntos más vulnerables de la cadena de suministro.

Los conceptos de los apartados anteriores deberán entonces integrarse con la distribución física de las instalaciones del sitio de producción; esto para materializar los objetivos de la gestión logística.

4.1.5.2 Método del Centro de Masa. Similar con los distintos métodos para la ubicación de instalaciones, el método del centroide involucra la distancia entre los distintos puntos de trabajo y la cantidad de recurso que se moviliza entre dichos puntos. La idealización se toma en el plano X-Y ubicando las instalaciones ya existentes en el sistema productivo mediante coordenadas planas, lo cual configura una nube de puntos cuyo centroide corresponde al sitio óptimo de donde se debe aprovisionar cada zona de trabajo. Se utilizan las siguientes fórmulas para su cálculo.

$$\bar{y} = \frac{\sum d_{iy} * M_i}{\sum M_i} , \quad \bar{x} = \frac{\sum d_{ix} * M_i}{\sum M_i}$$

Donde:

\bar{y} : Coordenada **y** del centroide.

\bar{x} : Coordenada **x** del centroide.

d_{iy} : Coordenada **y** de la i-ésima instalación.

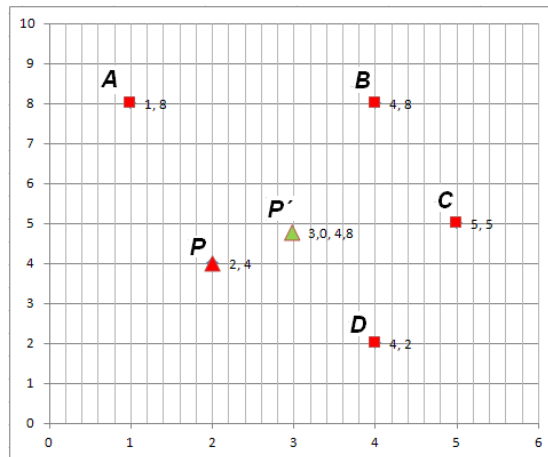
d_{ix} : Coordenada **x** de la i-ésima instalación.

M_i : Cantidad de recursos que mueve la instalación *i*.

Ejemplo: Se tiene la siguiente distribución²⁴ en el plano X-Y de tres almacenes que son surtidos por un intermediario, que también se encuentra localizado en el plano. A partir de esta información, encontrar un punto óptimo para que el aprovisionamiento del intermediario sea óptimo.

²⁴ $M_a=15, M_b=30, M_c=40, M_d=25, M_p=110$

Figura 6. Ubicación del centroide de un sistema de almacenes



(Fuente: elaboración propia)

De acuerdo con la figura 6 el centroide deberá optimizar los costos de desplazamiento y transporte entre cada una de las localidades, sin embargo, se debe tener cuidado por ejemplo, el querer reemplazar o suprimir el punto inicial P al ser probable que la instalación A sea de vital importancia comercial para la operación de la cadena de suministro, con lo que el centro de masa quedará más alejado de dicho punto. También se puede pensar a P' como un punto de distribución intermedio y no siempre como un punto principal de aprovisionamiento.

De manera pues que el método del centroide se configura como una herramienta complementaria de decisión que contribuye al soporte de la toma de decisiones para el diseño en planta. En cuanto a los niveles de producción, se deduce que entre más grande sea la capacidad instalada de P con respecto a los demás puntos, el centroide coincidirá con la coordenada original de P; lo cual significa que la mayoría de la masa del conjunto que compone la nube de puntos se carga hacia un solo punto.

4.1.5.3 Distribución en planta por el método convencional. El siguiente es un procedimiento genérico²⁵ (intuitivo) para la localización de los centros de trabajo o celdas productivas, resumido en los siguientes puntos:

²⁵ Para profundizar sobre los algoritmos de programación y las estructuras numéricas del método convencional, aplicadas a la manufactura, ver D.R.Sule "Instalaciones de Manufactura" Segunda Edición. 2001 pg. 435-481 Capítulo 12: Distribución de Planta y Oficina: Método Convencional.

- Definición de áreas teniendo en cuenta la optimización de espacios, posibilidad de futuras ampliaciones, facilidad en los recorridos entre zonas a partir del predimensionamiento de los corredores. Se estima que el espacio para los corredores de movilidad oscilan entre un 20 y un 40% del área total que se requiere para la producción (D.R. Sule, 2001:435).
- Como medida siguiente se debe construir una tabla en donde se establezca la relación existente entre los sitios de trabajo. Esta relación se puede manejar en forma cuantitativa o cualitativa, por ejemplo, la importancia de mover determinado número de cajas que se transportan desde el sitio de trabajo i hasta el sitio de trabajo k, en función de una escala de jerarquía. De esta forma se configura una matriz que siempre es simétrica con respecto a la diagonal.
- Conformación de las tablas “de-a” para determinar cantidades de flujos o tiempos de espera. Por ejemplo, De la zona de producción de aceites a la zona de embotellamiento hay un flujo diario de 1200 litros.
- Establecer claves de prioridad en la relación entre cada uno de los centros de trabajo.
- Conformación de la estructura nodal a partir de la relación de dichos centros; la idea es conformar un plano en donde los nodos (centros de trabajo) con niveles de relación altos respecto al nodo principal, se sitúen alrededor de este y así sucesivamente guardando la jerarquía en el nivel de relación.

Lo anterior se puede visualizar mejor con un ejemplo básico (de elaboración propia) sobre distribución de las instalaciones de una pequeña fábrica, así:

Supóngase que se tienen definidas 6 áreas de trabajo para la conformación de una pequeña planta de producción, discriminadas como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Requerimientos de Espacio

Definición de Áreas		
ID	Zona de Trabajo	Área Requerida
1	Producción	2150 m ²
2	Almacén	560 m ²
3	Cuarto de Maquinaria	876 m ²
4	Oficinas	400 m ²
5	Alimentación	400 m ²
6	Cargue y descargue	1600 m ²

(Fuente: elaboración propia)

Todas y cada una de las áreas, en algún momento de la cadena de producción interactúan entre sí; sin embargo, de entrada es importante definir el grado de correlación inmediata entre estas, sustentado por una función de prioridad que se puede resumir en la siguiente tabla.

Tabla 10. Valores de prioridad entre zonas

Claves de Prioridad		
ID	Prioridad	Valor
A	Absolutamente necesario	4
E	Especialmente importante	3
I	Importante	2
O	Ordinario	1
U	No importante	0
X	Indeseable	-1

(Fuente: SULE, D.R, 2001)

Con estos valores, se podrá construir una matriz cuadrada en donde se adjudiquen valores de prioridad entre todas y cada una de las zonas de trabajo descritas en la Tabla 9.

Tabla 11. Matriz de relación entre zonas de trabajo

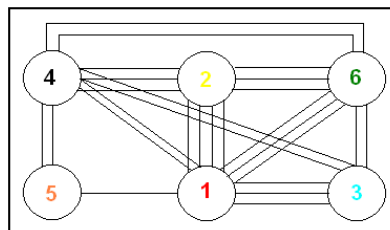
Tabla de Valores								
Zona de trabajo	Zona de trabajo						Total	
		1	2	3	4	5		6
	1		4	3	2	0	3	12
	2			1	3	0	3	11
	3				2	0	2	8
	4					2	2	11
	5						0	2
	6							10

(Fuente: elaboración propia)

Nótese como la asignación de valores puede darse en forma determinística, lo cual valida los planteamientos iniciales sobre la combinación de métodos heurísticos con métodos empíricos, aunque se pueden obtener matrices con valores probabilísticos obtenidos de mediciones sistemáticas. La matriz anterior también puede usarse para determinar, por ejemplo, entre que zonas de trabajo existe más flujo de materiales, luego, la tabla de valores de prioridad puede convertirse en un escalafón de rangos de toneladas de insumos que se transportan en la cadena productiva. Una de las características de esta matriz es su simetría con respecto a la diagonal.

A partir de la matriz de relación, se puede construir una red en donde los nodos representan las zonas de trabajo y los arcos el grado de relación (Valor de prioridad) entre cada uno de los sitios. La red se inicia en el centro del área con la zona que obtiene el total máximo y es rodeada radialmente por las demás zonas con las que guarda relación.

Figura 7. Red Nodal de Instalaciones, a partir de matrices de relación



(Fuente: elaboración propia)

Obtenida la representación nodal, se puede evaluar las distribuciones potenciales representadas por bloques de área definida; por lo tanto, cada zona de trabajo estará constituida por determinada cantidad de bloques de igual dimensión. Evidentemente entre más fina sea la malla mejor la aproximación, esto es, mientras más pequeñas sean las dimensiones del bloque unitario más apropiada será la distribución. Se tomará por bloque unitario para este ejemplo, un área cuadrada de 200m^2 con lo que se tiene la siguiente tabla con el cálculo de los bloques por zona.

Tabla 12. Asignación de bloques por área

Bloques aproximados por Zona de Trabajo			
ID	Zona de Trabajo	Área Requerida	Bloques
1	Producción	2150 m ²	11
2	Almacén	560 m ²	3
3	Cuarto de Maquinaria	876 m ²	4
4	Oficinas	400 m ²	2
5	Alimentación	400 m ²	2
6	Cargue y descargue	1600 m ²	8

(Fuente: elaboración propia)

En total se requerirían un total de 30 bloques para la conformación de la planta con una geometría rectangular, común en la estructuración de plantas industriales, luego las dimensiones serían de 5X6 Bloques.

Figura 8. Distribución preliminar de layout de instalaciones

2	2	6	6	6
4	2	6	6	6
4	1	1	1	6
5	1	1	1	6
5	1	1	1	3
1	1	3	3	3

(Fuente: elaboración propia)

Esta primera iteración muestra una distribución aproximada de lo que sería el acomodamiento lógico de las instalaciones, en donde el centro de la bodega es ocupado por la zona de producción que es en donde confluyen las demás actividades. Se observa por ejemplo como la zona de descargue es común a la zona de producción y a dos zonas de acopio, como son el cuarto de maquinaria y el almacén.

Lo anterior hace eficiente los desplazamientos entre cada una de las instalaciones y contribuye a la reducción de pérdidas por tiempos de transporte ineficiente.

De esta forma se muestra como las relaciones de flujos de materiales e información entre las distintas instalaciones, determinan la distribución en planta de toda la estructura del sitio de trabajo.

El método anterior²⁶ da pie para introducir los conceptos de “Centros de Trabajo por Funciones” y la “Línea de Ensamblaje”; los centros de trabajo por funciones asumen el criterio de distribución a partir de la clasificación de la maquinaria o el tipo de trabajadores por zona y con tareas asignadas, y la línea de ensamblaje las herramientas y procesos necesarios para montar una secuencia lógica y efectiva encaminada a la elaboración de un producto. La integración de estos dos conceptos configura una “Celda de Manufactura” (Chase et al. 2009:206). Entonces en la celda de manufactura se podrán ejecutar procesos específicos enfocados a la producción de un grupo reducido de productos, lo que facilita la organización de las operaciones externas y la minimización de las operaciones internas, según lo expuesto en el método SMED abordado en 4.1.2.3.

Hasta el momento se han definido los conceptos fundamentales para la implementación de un modelo de gestión logística para cualquier escenario productivo. Con las bases ya establecidas puede abordarse el sector de la Construcción, tal como se hará en el siguiente capítulo, en donde el espacio para el desarrollo de procesos es directamente la obra o el sitio de construcción. Los conceptos básicos de gestión logística van enfocados a fortalecer la cadena de suministros y a acortar los tiempos de duración de los proyectos; en el caso específico de la construcción, se tomarán dichos conceptos para abordar los temas de planificación mas allá de la simple y llana programación de actividades y fijación de fechas, pretendiendo abordar el sector con un enfoque más dinámico; lo que implica tener en cuenta una serie de flujos logísticos asociados a la transformación de materiales.

Lo anterior sin duda alguna, integrará a contratistas principales y secundarios, clientes, proveedores principales y secundarios, y prestadores de servicios del sector de la construcción, quienes harán parte de planes maestros en donde a partir de la asignación de roles se podrán asignar responsabilidades en la ejecución de los procesos y actividades inherentes a la actividad de la construcción de obras.

²⁶ El método convencional es denominado por muchos autores como una planeación PSD (Planeación Sistemática de la Distribución) del sitio; partiendo del hecho simple de que muchas veces no es necesario conocer flujos numéricos entre las zonas, pues se obvian aspectos valorativos que caracterizan la efectividad de la adyacencia de las instalaciones. Adicionalmente la convergencia de variables numéricas en este tipo de método, rara vez se da con una cantidad razonable de iteraciones.

4.2 GESTIÓN LOGÍSTICA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

En adelante el área de análisis para los conceptos de gestión logística se centrará en el sector de la construcción, buscando que los conceptos del capítulo 4.1 se extiendan razonablemente a los procesos de planificación y ejecución de obras.

4.2.1 Planificación del sitio de construcción. Establecidos los conceptos fundamentales de la gestión logística es pertinente hacerlos extensivos al sector de la construcción bajo unas consideraciones especiales. Es sabido que los procesos de manufactura manejan un nivel de certidumbre muy alto, lo que hace que sus indicadores de desempeño manejen una confiabilidad igualmente alta, caso contrario al sector de la construcción en donde convergen un sinnúmero de variables muy difíciles de controlar y predecir, tales como el trabajo a la intemperie bajo condiciones climáticas adversas, poca repetitividad en procesos productivos teniendo en cuenta que, salvo contadas excepciones, cada proyecto de construcción exhibe características propias y distintos niveles de complejidad dependiendo de las condiciones del suelo o el tipo de estructura, solo por mencionar estos dos aspectos; heterogeneidad en la mano de obra, teniendo en cuenta que este es un gremio en donde convergen en un mismo sitio personal calificado y no calificado, con y sin experiencia, lo que dificulta que se acelere lo más rápido posible la curva de aprendizaje²⁷, adicionalmente la alta rotación del personal altera la productividad; baja estandarización de los procesos generando continuamente vicios de construcción que se acentúan con el tiempo y que impiden el matrimonio perfecto entre el conocimiento empírico y el conocimiento técnico; condiciones difíciles de acceso de materiales, maquinaria y personal, competencia entre cuadrillas, entre otras²⁸.

Todos estos aspectos deben ser tenidos en cuenta a la hora de planificar el sitio de construcción, asumiendo esta actividad como algo más que distribuir las instalaciones en forma eficiente. Muchos diseños de “Layout de Obra” se ajustan netamente a la experiencia empírica adquirida por la dirección, obviándose muchos aspectos logísticos necesarios para la disminución de desperdicios; el Layout de una obra de construcción deberá ser concebido de tal forma que se complementen eficientemente tres aspectos fundamentales: La distribución de las instalaciones, el manejo del almacén y de los inventarios de materiales, y la seguridad industrial al interior de la obra. Dichos aspectos serán objeto de la gestión logística en obras de construcción, no sin antes tener establecido el plan logístico para la gestión del proyecto.

Inicialmente la planificación del sitio de trabajo estará dada por las características del mismo sitio, por lo tanto el tipo de obra es la primera variable a considerar.

²⁷ La curva de aprendizaje puede ilustrarse a partir de un gráfico en donde se superponen los niveles de producción, expresados en cantidades de obra ejecutada, por ejemplo; contra una escala de tiempo determinada. Cuando se obtiene el máximo nivel de aprendizaje en determinado proceso, la producción se estabiliza y se vuelve constante respecto al tiempo.

²⁸ Ver: L.F. Botero. “Construcción Sin Pérdidas”. 2006.

4.2.1.1 Tipología de Obras. Existe gran cantidad de tipos de obras, sin embargo se resumirán para efectos de planificación del sitio los siguientes grupos: Obras lineales, verticales, de extensión y puntuales.

Obras lineales: son obras estructuradas para ser desarrolladas en serie como por ejemplo carreteras, oleoductos, túneles, andenes, líneas de energía, etc.

Obras Verticales: las obras verticales se dan en alturas y la repetitividad depende de la regularidad de la planta; los edificios son por excelencia el ejemplo más típico de este tipo de obra.

Obras de extensión: estas obras se dan para grandes superficies y pueden ser repetitivas o no, dependiendo del tipo de proyecto. Sobresalen como ejemplo las unidades residenciales de viviendas de uno y dos pisos, bodegas, unidades deportivas, etc.

Obras puntuales: son obras específicas ubicadas en un punto específico y por lo general pensadas para un uso específico. Dentro de este tipo de obras caben las antenas para celular, tanques de agua, garitas, espolones, etc.

Con esta clasificación, se definirán las condiciones iniciales para la configuración de la planta. Las zonas de trabajo clave para la distribución y ubicación se citan en dos ejemplos típicos; edificación y vías:

Edificación:

- Almacén de insumos y herramientas.
- Patio de acopio de agregados.
- Patio de acopio de otros materiales.
- Patio de mezclas.
- Patio de maquinarias.
- Estructura de silo para acopio de cemento.
- Estructura de torre-grúa.
- Casino.
- Oficinas.
- Baños.
- Portería de entrada.
- Portería de salida.
- Patio de cargue y descargue.
- Patio de escombros.
- Banco de figuración.
- Cortadora de bloques.

Vías:

- Canteras de agregados.
- Planta de asfalto.
- Patio de estacionamiento de maquinaria y volquetas.
- Botaderos.
- Casinos.
- Oficinas.

Similar a como se plantean los métodos en el capítulo 4.1.5 deberán establecerse funciones de relación (cuantitativas o cualitativas) entre cada una de las instalaciones, no sin antes definir la lista de elementos de gestión que permitan elaborar un plan logístico, así:

Tabla 13. Lista de chequeo base para el desarrollo de la logística

Elemento	Detalles
Gestión en salud y seguridad	Establecer los lineamientos de cómo se administran los requerimientos primarios de salud de las personas que están al interior del proyecto.
Adquisiciones y Contratos	Definir quien es el responsable de la contratación y la adquisición de activos
Seguridad del Sitio	Definir los parámetros de la gestión de la seguridad industrial
Tráfico interno y externo	Pantear el movimiento ágil y seguro de los vehículos dentro y a las afueras del proyecto.
Oficinas	Conformar el grupo técnico y definir una ubicación estratégica en el sitio de construcción.
Limpieza	Determinar jornadas de aseo en todas y cada una de las instalaciones y definir la unidad de medida para el pago por esta actividad
Gestión Ambiental	Conformación de un equipo idóneo para el acompañamiento en este tema a lo largo de la obra.
Manejo de Escombros	Adecuada gestión en la disposición parcial y final de los residuos sólidos y líquidos de la obra; se deberá planificar la clasificación de los materiales residuales.
Seguros	Definición de las pólizas de toda naturaleza para proteger el proyecto de cualquier imprevisto.
Manejo de la información	Evaluar que tipo de plataforma de gestión se acopla mejor a la tipología de obra y con base en esta decisión integrarla a tecnologías TIC's para la correcta gestión de la construcción del proyecto, agregando valor a partir de facilitar el control del presupuesto e incentivar el principio de transparencia.
Manejo de Personal	Definir la estructura organizacional y plantear políticas que garanticen una adecuada asignación de roles en la obra.
Gestión de materiales	El control de stocks de inventarios de construcción deberá estar ligado directamente con la programación de obra; en esta fase se deberán implementar estrategias de rotación que sean consecuentes con los flujos de caja que puede soportar el presupuesto.
Instalaciones temporales	El listado de instalaciones anteriormente mencionadas debe distribuirse en forma óptima, facilitando los desplazamientos internos.
Equipos y herramientas	Diseñar políticas de mantenimiento preventivo y actualizar constantemente el inventario de equipos y herramienta.
Sistemas de Pago	Los sistemas de pago deben ser tal que conlleven a que los contratistas efectúen sus labores con eficiencia y eficacia.

(Fuente: BAUDIN, 2004)

4.2.1.2 Flujos Logísticos en construcción. Definido el plan logístico a partir de la lista de chequeo para el desarrollo de la logística en la obra, definido por Baudin, se podrán controlar de manera eficiente los flujos presentes en la cadena de suministros del sector de la construcción. Alan Mossman (2008:4) define siete flujos críticos a controlar para garantizar el éxito en la construcción, así:

Tabla 14. Control de los siete flujos fundamentales para el éxito en construcción

	<i>Flujo</i>	<i>Ejemplo en preconstrucción</i>	<i>Ejemplo en el sitio de Construcción</i>
GESTIÓN LOGÍSTICA EN CONSTRUCCIÓN	Materiales	Se cuenta con los recursos para la gestión del hormigón premezclado?	Se tiene disponible la mezcla de hormigón, en el sitio, para comenzar el vaciado?
	Personal	Se conocen los consumos de mano de obra afines al proyecto para determinar con certeza la cantidad de hombres por actividad?	Se tiene disponibilidad inmediata de personal para ejecutar determinada tarea?
	Información	Se tiene la información base del proyecto? Se conocen los indicadores objetivo, flujos de caja y programación inicial?	Revisando en el sitio; son todos los planos, contratos, y procesos constructivos; lo suficientemente claros para satisfacer los requerimientos del cliente?
	Equipo	Se cuenta con la tecnología necesaria (herramientas CAD, software de gestión, etc..) para acompañar el desarrollo de las actividades?	Se dispone de equipos de andamio, malacates, plumas, tacos, etc.. Para desarrollar la actividad?
Admon. De Procesos Constructivos	Condiciones Externas	Se tiene claro las condiciones de adquisición del lote?	Quién sera la interventoría? Quien se encargará de la supervisión técnica?
	Espacio	Se tiene utonomía para controlar los espacios disponibles o se depende de terceros para la concepción de estas áreas de trabajo?	Existe posibilidades de acceso seguro a la zona de la obra?
	Trabajo antes de	El diseño de la estructura depende del diseño de la cimentación? Se debe presupuestar antes que diseñar?	el diseño de mezcla ya esta ensayado y validado antes de iniciar la cimentación?

(Fuente: Mossman, 2008)

La gestión logística en construcción atiende los primeros cuatro flujos (Materiales, personal, información y equipo), y facilita implícitamente el control de un quinto flujo (Condiciones externas).

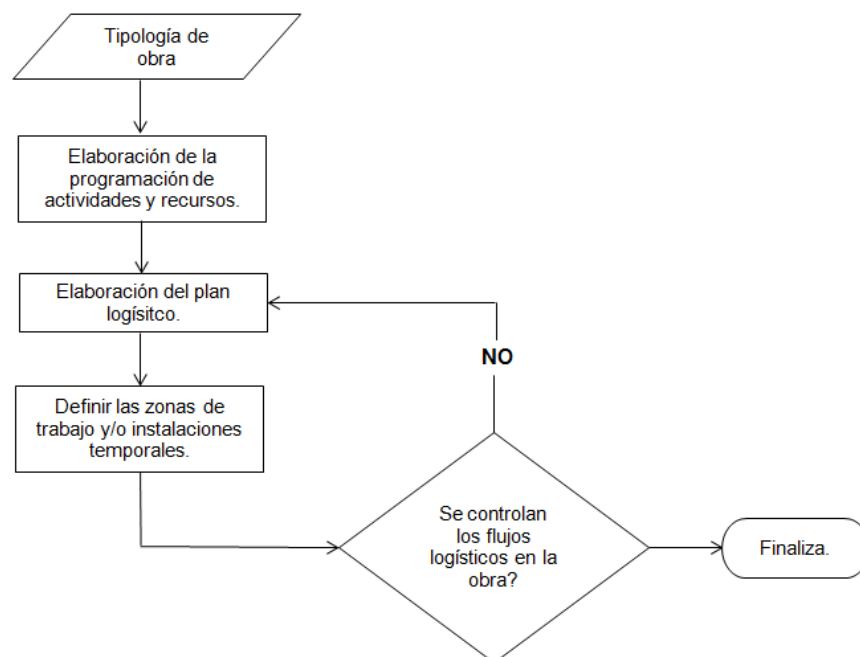
Algoritmo para la planificación logística.

La secuencia lógica para la planificación del sitio está dada por una serie de pasos que facilitan la conformación del plan logístico y la distribución en planta de las instalaciones temporales mencionadas en el ejemplo anterior.

Se nota a partir de la figura 9 que la variable de decisión sobre la planificación del sitio es el control de los flujos, objetivo de la gestión logística en construcción. Si el plan logístico logra acoplar sistemáticamente cada uno de los flujos se lograrán los objetivos esperados en el tiempo esperado, esto es, la materialización del cronograma de actividades bajo la filosofía “Lean Construction”.

El diagrama de flujo simplifica el desarrollo del algoritmo, así:

Figura 9. Planificación logística de proyectos de construcción



(Fuente: elaboración propia)

Es importante dejar claro que el plan logístico per se, no agrega valor, y constituye un costo considerable para el constructor; sin embargo, la creación de valor no puede ser concebida con éxito sin la implementación de la gestión logística. Esto hace que el plan logístico de manera implícita sea la base para el aumento de la productividad.

4.2.1.3 Distribución en planta y criterios de planificación logística. Una vez se llegue con éxito al cuarto paso del algoritmo para la planificación del sitio, el planificador se enfrenta a la ubicación de las instalaciones provisionales y las zonas de trabajo de la obra de construcción. Se tiene de antemano el plan logístico como respaldo a la asignación de variables de relación para cada una de las zonas y el respectivo control de los flujos. Nuevamente, a partir de la tipología de obra se sabe con qué zonas de trabajo contar; similar a como se expuso en 4.1.5.3 se hace una comparación uno a uno de las zonas y se obtienen las variables de relación, por ejemplo; que tipo de variables de relación se pueden obtener entre el patio de agregados y la zona de mezclas?

Ejemplo: Obtener las variables de relación entre el patio de agregados y la zona de mezclas.

Solución: se comienza por construir todas las posibilidades de relación entre estos dos sitios a partir de las matrices de costos planteadas en el problema del transporte. No necesariamente el análisis se enfoca en desplazamientos de material; también puede apuntar al traspaso de cubos de material de un lado para otro. Para efectos prácticos solo se analizará en un solo sentido (del patio de agregados hacia la zona de mezcla), pues se entiende que en sentido opuesto se estaría incurriendo en pérdidas por mala planificación en el ciclo. Dichas matrices son unitarias, es decir, para un metro cúbico de hormigón.

Tabla 15. Matriz unitaria de costo para transporte de triturado Acopio-Mezcladora

Horas Hombre empleadas en desplazamiento para 1m ³			
Costo de 1h-H = \$2500	Sitio Mezcladora de dos sacos	Sitio Bomba Estacionaria	Sitio Mezcladora de un saco
Acopio de Arena Para hormigón	0,05	0,1	0,2
Acopio Triturado de 1/2"	0,04	0,15	0,12
Costo Horas Hombre empleadas en desplazamiento para 1m ³			
Costo de 1h-H = \$2500	Sitio Mezcladora de dos sacos	Sitio Bomba Estacionaria	Sitio Mezcladora de un saco
Acopio de Arena Para hormigón	\$ 125	\$ 250	\$ 500
Acopio Triturado de 1/2"	\$ 100	\$ 375	\$ 300
Total por sitio	\$ 225	\$ 625	\$ 800

(Fuente: elaboración propia)

Luego, una primera variable de relación entre los dos sitios es la **distancia** entre el patio y la zona de mezclas. Los valores de las horas hombre empleadas para la ejecución de la tarea pueden obtenerse con mediciones en el sitio o con valores obtenidos en análisis de ciclo, igualmente efectuados en el sitio de construcción. Evidentemente los valores que conforman la tabla 15 y 16, son valores ficticios.

Tabla 16. Matriz unitaria de costo para agregados pétreos componentes de la mezcla

Cantidad de kg de agregado consumido para 1m ³			
Costo de 1kg de triturado=\$47 Costo de 1kg de arena=\$55	Sitio Mezcladora de dos sacos	Sitio Bomba Estacionaria	Sitio Mezcladora de un saco
Acopio de Arena Para hormigón	720	740	636
Acopio Triturado de 1/2"	830	800	580
Costo de la Cantidad de kg de agregado consumido para 1m ³			
Costo de 1kg de triturado=\$47 Costo de 1kg de arena=\$55	Sitio Mezcladora de dos sacos	Sitio Bomba Estacionaria	Sitio Mezcladora de un saco
Acopio de Arena Para hormigón	\$ 39.600	\$ 40.700	\$ 34.980
Acopio Triturado de 1/2"	\$ 39.010	\$ 37.600	\$ 27.260
Total por sitio	\$ 78.610	\$ 78.300	\$ 62.240

(Fuente: elaboración propia)

Una segunda variable de relación entre los dos sitios, que confirma la importancia de la ubicación de los acopios de materiales pétreos, es la **cantidad** consumida de agregado en la zona de mezclas, proveniente de los respectivos patios.²⁹

De esta forma se pueden establecer las matrices de costo en función de la oferta y la demanda de los puntos de origen y llegada, respectivamente. Supóngase ahora que en vez de un patio de materiales se tuvieran dos o más; establecidas las matrices de costo, cuál sería la cantidad óptima de material que se debe ofertar desde cada patio, para que los costos de transporte del material sean los mínimos? La solución a este problema revelará dos criterios de planificación:

1. Cantidad de Inventario mínimo para abastecimiento de cada patio de materiales. Con lo que el valor total de transporte de material por metro cubico puede reducirse sensiblemente.
2. A partir del costo total se puede evaluar el replanteo de la distancia entre la zona de mezclas y el patio de materiales.

El planteamiento del problema del transporte se hace para las variables más sensibles en el análisis y entre las zonas de trabajo que registren mayor frecuencia de actividades. Un aspecto importante a la hora de definir los dos sitios que se seleccionan para la obtención de las variables de relación son las cantidades y el tipo de material que se transfieran entre sí. Dependiendo del tipo de obra, o de su extensión, se podrán tener dos o más almacenes, en donde este análisis es válido a la hora de conformar las matrices de oferta y demanda y la identificación óptima de los puntos de ubicación de las instalaciones de la obra.

Adicionalmente, se deberán identificar los materiales de mayor nivel en la exigencia de gestión, para lo cual se puede emplear el modelo ABC para la gestión de inventarios, tal como se verá más adelante.

4.2.1.4 Análisis y seguimiento del layout de obra y de la planificación logística.

Como se había planteado anteriormente, se define Layout de Obra como la planificación en planta de la logística y disposición de sitios y maquinaria móvil y estática de la obra. Las zonas de ascenso vertical, acopio de formaleta e insumos para acabados, zona de mezclas, patios de acceso a maquinaria (terrazas y caminos de acceso), bancos de figuración, entre otros, constituyen las zonas de más dinamismo en la obra.

²⁹ Lo anterior sería suponiendo que el cemento está disponible en la misma planta de mezclas, y por lo tanto no requiere transporte.

El algoritmo representado en el diagrama de flujo expuesto en el numeral 4.2.1.2 (figura 9) es apenas la fotografía inicial de lo que será la planificación logística a lo largo de la obra. Es preciso recordar que el Layout es dinámico a través de los diferentes pulsos de la construcción del proyecto, aunque muchas de las características iniciales se conservan hasta el final. Por lo anterior es fundamental llevar el control sobre las instalaciones y sobre los equipos en cada una de las zonas, así como también sobre la rotación del personal; en este punto es donde la logística debe estar respaldada por la simulación, pues cualquier cambio que se haga en las zonas de trabajo deberá estar validada con modelos muy aproximados de actividades cíclicas que se repitan con una regularidad considerable en el desarrollo de las tareas.

A la configuración inicial del Layout se le hace un seguimiento permanente mediante formatos de calidad, toda esta información se debe adquirir con la frecuencia necesaria para que se facilite la función del último planificador. De manera que semana a semana se puede contar con información precisa que contribuya a la toma de decisiones para las modificaciones que tenga el Layout de la obra.

Los formatos se diseñan para hacerle seguimiento a los cuatro flujos objeto de la gestión logística en construcción (Materiales, Personal, Información y Equipo).

Tabla 17. Formato de seguimiento a inventario de provisionales

Fecha: _____ Seguimiento a Inventario de Provisionales							
Descripción	Cantidad	Área Unitaria (m2)	Área Total (m2)	Estado			Observación
				Bueno	Regular	Malo	
Oficina Contratista	1	30	30	x			Buen Orden
Oficina Interventoria	1	32	32	x			Buen Orden
Baños Privados	3	3,4	10,2	x			Limpios
Almacén	1	57	57	x			Orden
Bodega	4	15	60	x			Seguridad y Orden
Oficina Maestro	1	10	10	x			Buen Orden
Cuarto de Trabajadores	2	45	90		x		Mejorar Limpieza
Caspete	1	67	67	x			Buen Orden
Portería	2	10	20	x			Buen Orden
Baño Trabajadores	15	3	45		x		Mejorar Limpieza
Patio de Bloques	1	60	60		x		Implementar estibado de bloques
Patio Agregados	2	34	68		x		Desorden
Patio de Maquinaria	1	150	150		x		Desorden
Planta de mezcla Piloto	1	250	250	x			OK
Planta de Mezcla Satélite	1	90	90	x			OK
Sitio de Torreo Grúa	1	20	20		x		Necesario Manntenimiento preventivo
Zona de Malacate	1	180	180	x			OK
Sitio de Pluma1	1	90	90		x		Falta mantenimiento
Sitio de Pluma2	1	90	90	x			OK
Acopio de Cemento	1	130	130		x		Disminuir desperdicio con mejor acopio

(Fuente: elaboración propia)

Tabla 18. Formato de seguimiento a inventario de equipo

Obra:		Fecha:		Formato de seguimiento a inventario de equipo				
Descripción	Cantidad	Estado			Mantenimiento		Área de Trabajo	Descripción
		bueno	Regular	Malo	si	no		
Pluma	3	x				x	Losa N6	OK
Malacate	1	x				x	Pto Fijo	OK
Concretadora	2		x		x		Zona de Mezclas	Alinear el eje
Bomba	1		x		x		Zona de Mezclas	Reemplazar tramos de tubería
Vibradores de Punta	5	x				x	N10	OK
Pulidoras	4	x				x	N10	OK
Compresor 2 Martillos	1	x			x		Sótano	Hacer mantenimiento preventivo
Retroexcavadora	2	x				x	Talud1	OK
Minicargador	1	x				x	Talud1	OK
Bulldozer	1	x				x	Talud1	OK

(Fuente: elaboración propia)

Para los materiales de exigente y mediana gestión, e incluso para los de poca rotación, se puede también formular propuestas de formatos para el seguimiento logístico de las cantidades existentes por periodo.

Tabla 19. Formato de seguimiento a inventario

Obra:		Fecha:		Formato de seguimiento a stock de Material			
Descripción	un	Acumulado antes de pedido	Último Pedido	Cantidad actual	Diferencia	Stock de Seguridad	
						SI	NO
Cemento	bt	200	500	616	84		x
Acero	kg	0	2500	350	2150	x	
Bloque N5	un	670	3500	2165	2005	x	

(Fuente: elaboración propia)

En los siguientes subcapítulos, donde se abordará el tema de la cadena de suministros se profundizará sobre la rotación de inventario y sus niveles necesarios para garantizar la producción sin inducir tiempos ociosos, sin embargo, se muestra en forma preliminar una tabla esquema en donde se reúnen variables determinantes para la toma de decisiones sobre el Layout a partir de las existencias de material. Dependiendo del número de rotaciones faltantes para la gestión de determinado material se podrá disponer de determinado espacio dentro la obra para ejecutar una actividad diferente al acopio, o acondicionar dicho punto para el almacenamiento de otro producto. Cabe aclarar que los formatos anteriores son descriptivos y deben ser la base para el montaje sistemático de la información a partir del software de gestión.

El control del personal también involucra variables de control por días, o semanas, o según sea el periodo de análisis. En la actualidad existen métodos de control a partir de tecnologías RFID³⁰ o de códigos de barras; aunque lo que más predomina en el contexto local es el control manual en la portería de los proyectos. El control de este flujo es fundamental para la planificación del Layout por las siguientes razones:

- Las zonas de trabajo deberán distribuirse y ubicarse de manera tal que se minimicen los cuellos de botella por insuficiencia de áreas comunes de trabajo, debido a la superpoblación en la obra.
- A partir del número de trabajadores, es importante no concentrar los puntos de abastecimiento de material en un solo lugar; con esto se evita la competencia entre cuadrillas.
- La ubicación estratégica así como la cantidad óptima de baños en función del número de personas en obra alteran sustancialmente los tiempos que no agregan valor, disminuyéndolos.
- Dependiendo del número de personas en la obra se diseñarán las rutas óptimas de acceso a las zonas de trabajo, las zonas de mezclas y la cantidad de equipo de andamio que es necesario distribuir y ubicar.

Entre otras tantas razones, el control del flujo de personal incide en los consumos de mano de obra para todas y cada una de las actividades constructivas, lo cual se verá reflejado en el presupuesto del proyecto.

³⁰ **Radio Frequency IDentification.** Es un sistema de radiofrecuencia para el almacenamiento de información (datos) a partir de tarjetas o dispositivos que se incorporan en productos o personas. Esta tecnología cabe dentro el grupo de la tecnología AUTO ID para la identificación automática de propiedades.

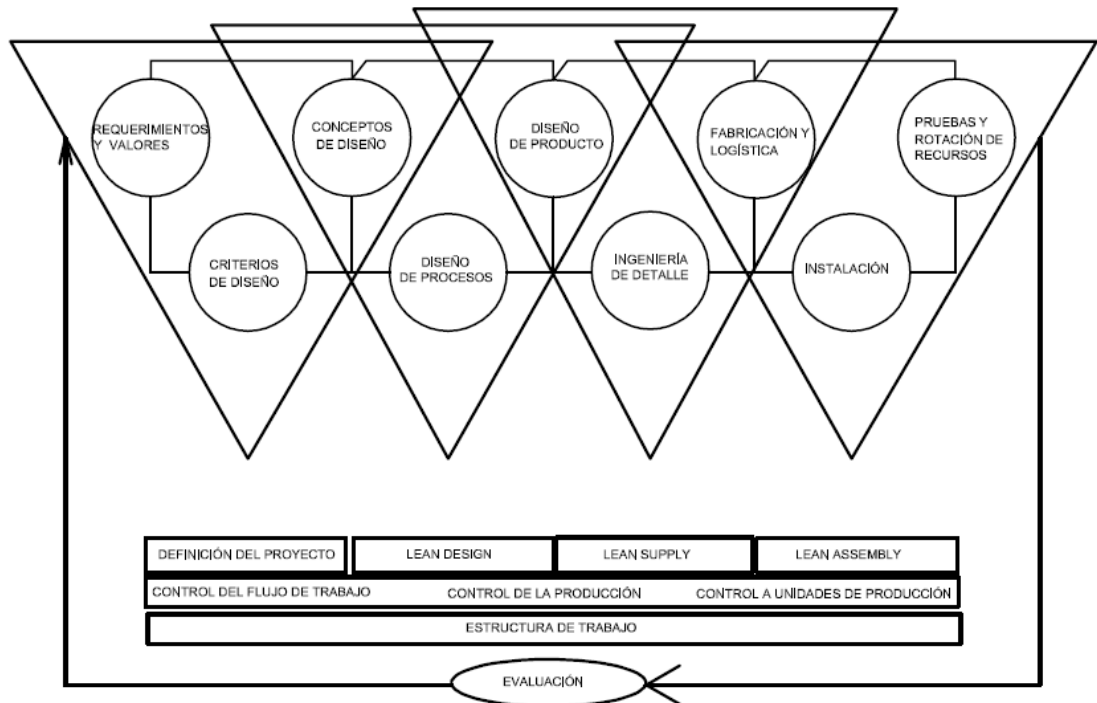
Planteado el problema de forma muy descriptiva sobre la necesidad de implementar la gestión logística en las obras de construcción, es necesario que se definan ciertos principios con los que se puedan establecer condiciones iniciales para la planificación logística de proyectos de construcción. Entender la gestión logística en construcción como la herramienta que hace posible la materialización de la filosofía “**Lean Construction**” implica el cambio de mentalidad en la producción de valor por parte del contratista y en general de todos los que hacen parte del proyecto. Tal como se mencionó con anterioridad, la planificación del Layout es tan solo el comienzo y se deben alinear los esfuerzos en producción para mejorar constantemente los procesos; acompañados necesariamente de una cultura de medición y control que garantice en el corto plazo la identificación y eliminación de pérdidas y de todo aquello que no agregue valor ni satisfaga al cliente.

Antes de continuar, es preciso ratificar que *LEAN CONSTRUCTION* nace como una adaptación del modelo Lean Production y se define como una forma de diseño de los sistemas de producción para minimizar los residuos de materiales, tiempo y esfuerzo, a fin de generar la máxima cantidad posible de valor. Los modelos de gestión logística deberán garantizar el cubrimiento de los siguientes puntos (Koskela, 1992):

- Reducir o eliminar las actividades que no generen valor.
- Incrementar el valor del producto, según requerimientos del cliente.
- Reducir la variabilidad.
- Reducir el tiempo de ciclo.
- Simplificar, por medio de la minimización del número de pasos y partes.
- Incrementar la flexibilidad en la producción.
- Incrementar la transparencia del proceso.
- Enfocar el control al proceso completo.
- Mejorar continuamente el proceso.
- Balancear el mejoramiento de flujos y conversiones.
- Referenciar.

Dichos modelos se ajustan al modelo LPDS (Lean Project Delivery System) planteado por Ballard para todas y cada una de las fases del proyecto, inclusive, para la evaluación posterior de resultados una vez se completen los objetivos del plan logístico. En la figura 9ª se plantean los módulos propuestos.

Figura 9a. Lean Project Delivery System



(Fuente: Ballard, 2000. Traducción propia)

El módulo *Lean Supply* corresponde claramente al área de enfoque del presente trabajo. Sus puntos de aplicación se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Definición de la cadena de suministros para los distintos procesos constructivos.
- Estrategia en entrega de materiales y producción.
- Diseños de layout y modelos 3D para el control de la producción.
- A partir de los diseños de producto, reducir al mínimo los inventarios

Muchos de estos conceptos ya se han abordado en forma genérica; lo que se pretende de ahora en adelante es ligar dichos conceptos a los alcances que tiene la gestión logística en la construcción de obras.

4.2.2 Caracterización y modelos actuales de la logística en proyectos de construcción. El presente capítulo introduce la metodología inglesa planteada por WRAP³¹ (2007) basada en sistemas logísticos para la planificación de materiales (Material Logistics Plan) MLPs, en el sector de la construcción. Muchos de estos conceptos han sido aplicados en proyectos realizados en Suramérica, principalmente en Brasil y Chile.

Un Plan logístico de materiales, en adelante citado como MLP, tiene validez en todas las fases del proyecto y se construye para que se acomode a cualquier modificación que se vaya dando en el transcurso de la obra, inclusive, en el periodo de entrega y operación; lo que técnicamente se denomina como periodo de post-Construcción. El alcance del plan logístico de materiales enfoca el control y ajuste de los indicadores de rendimiento, estableciendo objetivos muy definidos en cuanto al uso eficiente de los recursos. Muchos de estos indicadores hacen parte de la estructura fundamental para la implementación del *benchmarking* de la empresa constructora y favorecen procesos de mejoramiento de la calidad. La formación del personal involucrado en el desarrollo del proyecto también hace parte del enfoque del MLP, más adelante se verá cómo se definen los roles y responsabilidades de los equipos de trabajo dispuestos por la dirección del proyecto.

Lo anterior contribuye a que se optimice (minimice) la cantidad de materiales requeridos para la elaboración del producto a partir del control de: las especificaciones técnicas, procesos de entrega y almacenamiento, manipulación, uso y disposición. Como objetivo final del MLP se tendrá la identificación de las lecciones aprendidas y medidas de mejora. Los beneficios de la implementación de un MLP se ven reflejados en beneficios de carácter económico, de productividad y sostenibilidad del negocio de la construcción.

Los MLP y por lo general cualquier estrategia logística que se emplee para gestionar recursos en el sector de la construcción, se componen entre un 55 y un 65% de estrategias enfocadas a la reducción de pérdidas; en relación a las actividades de soporte, entre un 30 y un 35%; y en relación a la creación de valor, es decir, a la actividad productiva como tal, entre un 5 y un 10% (A. Mossman, 2008). Lo anterior significa que la mayor parte del plan logístico está concebido para el control de desperdicios y actividades de soporte; lo que implícitamente aumenta los niveles de productividad.

El por qué es importante atender estos tres tipos de actividades, se puede entender con el resumen de un análisis de ciclo para una actividad de vaciado de mortero en un edificio aporricado de 28 pisos de altura.

³¹ Fuente: Waste & Resources Action Programme, “Material Logistics Practice Guidance”, (Harker, December 2007)

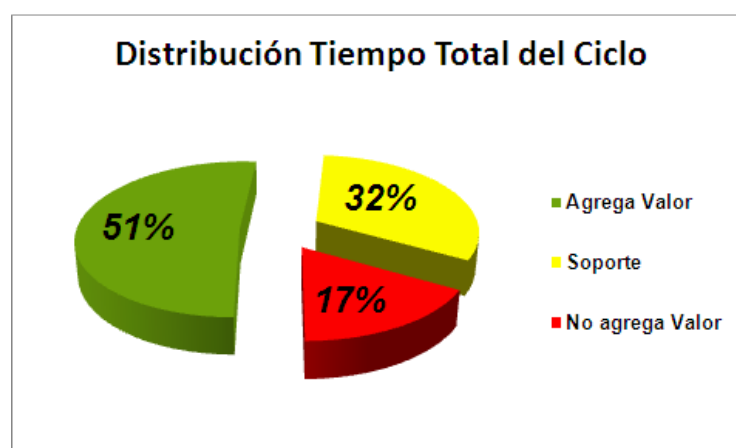
Tabla 20. Análisis de ciclo para una actividad productiva

Análisis para 50kg de cemento				
ACT	ID	Duración (min)	Clasificación de tiempo	Argumento
Cargue de coches (arena y triturado)	1	1	AV	Dosificación
Transporte y descarga de triturado	2	0,66	S	
Adición de cemento y agua	3	0,5	AV	Dosificación
Transporte y descarga de arena	4	0,66	S	
Mezcla	5	3	AV	Mezcla
Cargue de la mezcla	6	1	AV	Mezcla
Transporte de la mezcla hacia el malacate	7	0,6	S	
Ascenso en malacate	8	1	S	
Transporte de mezcla en zona de vaciado	9	0,5	S	
Transporte de carretillas hacia el malacate	10	0,4	NAV	
Descenso en malacate	11	1	NAV	
Transporte de carretillas hacia el patio de mezclas	12	0,4	NAV	
A partir de un modelo CPM			Análisis de tiempo	
			AV	5,5
Duración de un ciclo (50kg de cemento)			S	3,42
Duración de un ciclo para 6m3 de concreto			NAV	1,8
			T actividades	10,72
AV: agrega valor			%AV	51,31
S: soporte			%S	31,9
NAV: no agrega valor			%NAV	16,79

(Fuente: elaboración propia)

Entonces la gestión logística deberá priorizar fundamentalmente sobre las actividades que No agregan Valor, o sea, las que clasifican en color rojo; y sobre las actividades de soporte, en color amarillo. Por lo tanto, si se disminuye el porcentaje en los tiempos que no agregan valor y los tiempos de soporte, indiscutiblemente aumenta la productividad, a partir del aumento de los tiempos productivos o que agregan valor.

Figura 10. Tiempos obtenidos a partir de las mediciones en obra



(Fuente: elaboración propia)

Otro motivo para la implementación de un MLP radica en la reducción sustancial de los niveles de material desperdiciado en aproximadamente un 35%; teniendo en cuenta que hay materiales de construcción que exhiben desperdicios que oscilan entre un 10% y un 45% (HARKER, 2007:5). El plan logístico se convierte entonces en una herramienta que asiste la gestión de la construcción.

4.2.2.1 El Ciclo de planificación logística en Construcción. La estructuración de un MLP consta de una serie de pasos a tener en cuenta a lo largo de la vida del proyecto de construcción (Concepción y diseño, Construcción y Operación), e involucra desde los dueños del proyecto hasta el último de los subcontratistas, pasando por la dirección y la supervisión del proyecto.

Paso 1. ROLES.

Etapa: Concepción y Diseño.

Definir los responsables de la estructuración del MLP y los responsables de su ejecución. En este punto es importante que los roles queden perfectamente definidos, y que cada quien tenga conocimiento acerca del rol específico del otro. Mossman define cuatro tipos de roles en la gestión de la construcción a partir del concepto de la creación de valor, así:

- Equipo Constructor (actividades de ensamble): es el grupo que a partir de la ejecución de unas actividades de transformación crea valor para el cliente final, por ejemplo, el montaje de la estructura, los acabados y el urbanismo, son elementos tangibles que se pueden cuantificar y cualificar por los dueños del proyecto. Su función en cuanto a la logística es adaptarse al planteamiento del MLP en todo lo referido a actividades que agreguen valor. Ej: Ingeniero Residente Estructural, Ingeniero Mecánico para montaje del sistema de aire acondicionado, Ingeniero Electricista para el montaje de subestación y línea, etc.
- Equipo Logístico: Su función principal es la implementación y el control del MLP; este equipo no crea valor directamente pero organiza y prevé las operaciones necesarias para que se genere valor. Ej: "Ingeniero LEAN", Ingeniero de Producción, Ingeniero SISO.

- Equipo administrativo: este equipo es un eslabón entre lo técnico y lo organizacional, su función es la gestión simultánea de la cadena de suministros y/o de la gestión logística a partir del control de presupuestos y cronogramas de materiales y actividades. Ej: Ingeniero de Presupuestos, Contador.
- Equipo de suministro (equipo supply Chain): son los encargados de la cadena de suministro; deben mantener una relación directa con proveedores y ejecutar los procedimientos administrativos y logísticos para que se pueda hacer una entrega oportuna del material al equipo constructor. Ej: Ingeniero Residente de Concretos, Ingeniero de Acabados, Almacenista.

Dependiendo del tipo de proyecto se podrá contar con personal para cada una de las áreas, sin embargo, se entiende que hay proyectos de menor magnitud en donde una persona puede asumir varios roles al mismo tiempo. Lo importante es tener definidos dichos roles en procura de los objetivos planteados por el MLP.

Paso 2. COMUNICACIÓN.

Etapa: Concepción y Diseño.

Definir el conducto regular para el manejo de la información del MLP a partir de la capacitación de los equipos en procedimientos normalizados para el flujo de la información. En este paso juegan un papel importante los software de gestión, los sistemas de información remota, las tarjetas kanban, entre muchas otras herramientas que faciliten la comunicación entre las partes.

Paso 3. REQUERIMIENTO DE MATERIALES.

Etapa: Pre-construcción.

Determinar la demanda de material que se requiere en el proyecto, identificando los tipos y las cantidades óptimas del mismo, así como también la programación de dichos recursos en sus fases de aprovisionamiento, entrega, almacenamiento y distribución. Los materiales deben pedirse en base a los indicadores de desempeño proyectados para la obra y gestionarse con modelos de rotación adecuados.

Paso 4. RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO.

Etapa: Pre-construcción.

Identificar todas las restricciones y requerimientos mínimos para la recepción y el almacenamiento de los materiales que se gestionaron en el paso 3, asignando lugares específicos para los diferentes tipos de pedidos. Adicionalmente se deben fijar los procedimientos de manipulación y estrategias de almacén (entradas, salidas, referencias y códigos, conteo de inventarios, etc.)

Paso 5. SUBCONTRATISTAS.

Etapa: Preconstrucción.

Este paso consiste en el acople de todos y cada uno de los subcontratistas a las distintas áreas del MLP. Los Subcontratistas deberán ajustarse a los procesos de calidad y a las estrategias logísticas que define el equipo logístico, quien les suministrará la información necesaria para que las tareas que efectúen no se salgan del MLP y no interfieran con las actividades de las demás estructuras de trabajo.

La tercerización al ser una constante en los proyectos de construcción, hace que se tengan frentes de trabajos muy heterogéneos; por ejemplo, la tasa de producción del sub-contratista de estructura de la torre uno excede determinado número de veces la tasa de producción del sub-contratista de estructura de la torre dos; lo cual evidentemente complica la actividad logística e induce de una u otra forma cuellos de botella que van surgiendo a lo largo de la construcción. Por esta, y otras razones (heterogeneidad en el aspecto y la calidad del producto terminado, etc.), en la etapa de preconstrucción se deben fijar las condiciones iniciales y la metodología de operación de cada sub-contratista para que se alineen con los objetivos del MLP. Muchas veces sucede que los rendimientos y objetivos en obra los impone el sub-contratista y no la dirección, precisamente por la ausencia de una reunión de esta naturaleza, en donde se deben plantear con obligatoriedad los siguientes temas:

- Cantidad y tipo de material por actividad a realizar, en determinada zona: Para un metro cuadrado de revoque se deberán conocer con exactitud, a partir de la experiencia y el reconocimiento del sub-contratista, la cantidad de kg de cemento, la cantidad de kg de arena de revoque y la cantidad de litros de agua a mezclar. Dichos valores deben exhibir un orden de magnitud similar a las cantidades que conforman la estructura del APU que maneje la dirección de la obra. A partir del cruce de esta información se podrá pactar un porcentaje de desperdicio admisible, dependiendo de la complejidad del revoque, que variará en distintas zonas al interior de la misma obra. El

planteamiento de fondo es que el subcontratista que sobrepase los valores admisibles pactados de desperdicio, asuma dicho costo. Para esto debe existir una coordinación con el almacén, en donde deberán existir procedimientos de registro para el pedido de material de dicho sub-contratista.

El control de dicha actividad la efectúa la residencia de la obra comparando la cantidad de obra ejecutada, con la salida de material registrada por el personal del equipo de suministros.

- Órdenes o pedidos de material: las facturas de compras adicionales, o los pedidos de almacén o cualquier documento que soporte la gestión de un material o de herramienta necesaria para ejecutar la actividad, deberá ser conservada por el sub-contratista para validar las facturas de pago emitidas a la hora del corte.
- Se deben definir los modos de entrega del material (registro, marcas, códigos de pedidos, etc.), puntos de acopio intermedios, accesos, rutas óptimas de movilización y toda la normativa de seguridad y construcción tendientes a que el proceso sea lo más limpio posible.
- Planificación del retorno de material sobrante y estrategias para su reutilización. Así como también el planteamiento de las políticas de reciclaje de material desperdiciado.

Paso 6. CAMBIOS DURANTE LA OBRA.

Etapa: Construcción.

Cualquier cambio en los procedimientos deberá ser reportado al personal correspondiente; los cambios que no son validados pueden perjudicar el buen el funcionamiento del MLP.

Paso 7. FINALIZACIÓN Y ENTREGA.

Etapa: Construcción y Post-construcción.

Consiste en definir la metodología para la logística de materiales residuales, equipos inactivos y desperdicios finales. La gestión adecuada de estos ítems asegura la disminución de los costos de abandono del proyecto. Se puede pensar en estrategias para el reciclaje de muchos de los productos desperdiciados y maneras seguras de transporte y acopio por fuera del proyecto.

Paso 8. REVISIÓN.

Etapa: Post-construcción.

Como último paso en la implementación del MLP, se deberán sacar las conclusiones que permitan obtener las enseñanzas que deja el proyecto de construcción a la par con un comparativo de costos por unidad de proceso logístico vs modelo tradicional; a partir de esto se pueden formular medidas de mejora.

El plan logístico de materiales se deberá integrar en forma simultánea a un plan de manejo de materiales de desperdicio SWMP³² (Site Waste Management Plans). Así como en el MLP se deben identificar y cuantificar los materiales que demanda el proyecto, en el SWMP deben estimarse las pérdidas que podrían darse en la ejecución de una actividad; una vez estimada dicha cantidad, se deberán diseñar procedimientos para minimizar su magnitud. Luego el subcontratista juega un papel fundamental para la elaboración del SWMP, pues es quien en última instancia es responsable por la manipulación de los materiales.

En el transcurso del proyecto, a partir de la definición de los roles, los contratistas y subcontratistas deberán reportar periódicamente las cantidades desperdiciadas, de manera que se genere un registro acumulado que permita obtener indicadores de desempeño para evaluar las pérdidas por actividad. Estos valores jugarán un papel fundamental para la proyección de futuras obras y para la identificación de actividades y de mano de obra que requerirán mayores niveles de logística en su desarrollo. El SWMP deberá estructurarse con métodos para cuantificar y tipificar las pérdidas bajo un monitoreo constante, por lo tanto debe ir paralelo a MLP.

³² Consultar: www.wrap.org.uk/construction

4.2.2.2 Herramientas de Gestión Logística en Construcción. Existen varios procedimientos y técnicas para la obtención de los objetivos que plantea el plan logístico de materiales, y en general todo el plan logístico de la obra. A continuación se abordaran los conceptos claves para la aplicación de dichas técnicas. Es importante recordar que cualquiera de estos procedimientos debe conducir al fortalecimiento de la cadena de suministros a través de la eliminación de actividades que no agreguen valor y la identificación de pérdidas en cada uno de los procesos y en las fases de transición entre los procesos, tal como se planteó en 4.1.3.

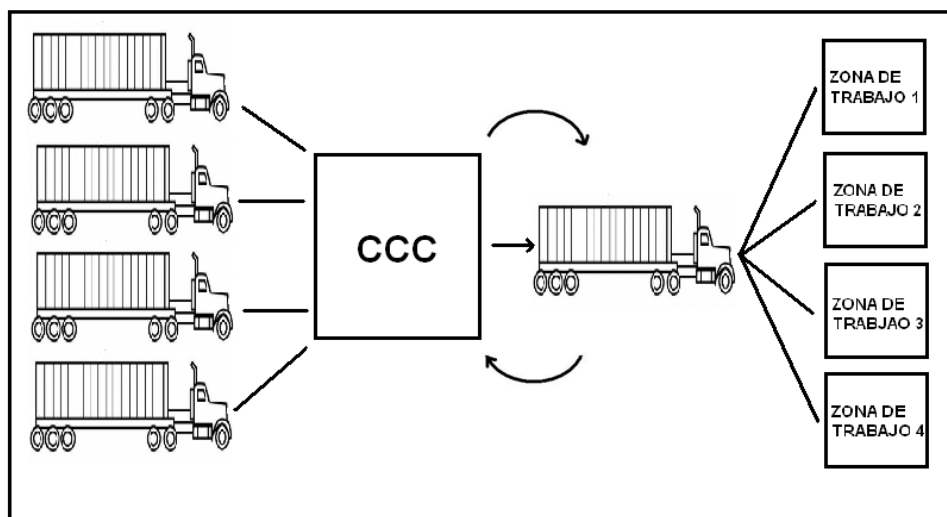
1. Entrega Justo a tiempo (JIT) y modelo CCC. La práctica del JIT en construcción tiene una gran diferencia con la manufactura; y radica en que, para el sector de la construcción, los inventarios de seguridad aparte de ser permitidos, son necesarios. Lo anterior no contradice la filosofía JIT si se tiene en cuenta que la actividad en cuestión es de naturaleza cambiante por factores expuestos al comienzo del capítulo.

Sin embargo, deben existir cantidades mínimas de material que no originen pérdidas y que puedan rotar con facilidad, dado los niveles de cumplimiento tan variables en los proveedores del gremio de la construcción. La entrega Justo a Tiempo puede facilitarse si se cuenta con un sistema remoto para el pedido de material, en donde se elimine la cantidad máxima de intermediarios que vuelven lento el proceso de compra.

Para las grandes obras, aunque debería acoplarse para cualquier tipo de obra, los ingleses proponen la creación de un Centro de consolidación en construcción³³, o centro de abastecimiento, llamado en adelante con las siglas CCC, que consiste en un sitio base en donde llegan todos los materiales, se preparan y se empacan en las cantidades apropiadas para cada sitio de trabajo en la obra, y finalmente se distribuyen; de esta forma el modelo tradicional de almacén podría suprimirse y se ahorrarían tiempos que no agregan valor y trámites que desgastan administrativamente a la empresa constructora.

³³ De las siglas en inglés: CCC (Consolidation construction centre)

Figura 11. Modelo de aprovisionamiento mediante centro de abastecimiento (CCC)



(Fuente: HARKER, 2007)

El modelo CCC hace que el flujo de materiales sea más eficiente, al tener la posibilidad de aprovisionar no solo varios sitios de trabajo dentro de una misma obra, sino, varias obras al mismo tiempo.

Las ventajas principales del CCC son:

- Agilidad en el flujo de materiales.
- Disminución de número de entregas de material en la obra, por lo tanto, menores tiempos de espera, menores tiempos de recepción y almacenamiento.
- Al minimizarse los tiempos de almacenamiento, dado que cada entrega está programada para suplir necesidades específicas en tiempos específicos, se mejoran las condiciones de acopio del material, exponiéndose lo menos posible al desgaste por obsolescencia o por intemperie, entre otros.
- Es un modelo aproximado de entradas y salidas en tiempo record (los expertos recomiendan no más de siete días para gastar la provisión) que satisface los objetivos del JIT.
- El almacén de la obra pasaría a un segundo nivel de importancia, y por lo tanto se reducirían los gastos administrativos del proyecto. De esta forma el almacén solo sería un lugar de transición de algunos materiales.³⁴

³⁴ No todos los materiales deberán pasar por el almacén con el modelo CCC, porque muchos de los requerimientos de material vendrán embalados y listos para colocar en el sitio de trabajo.

2. Atenuación de la demanda. La atenuación de la demanda (Demand Smoothing) consiste en identificar todos aquellos aspectos que hacen parte de la cadena de suministros y que se pueden minimizar o suprimir sin que ello implique que se deje de agregar valor, logrando que la demanda de materiales y recursos asociados disminuyan sin que se altere la programación. Lo anterior se puede prever a partir de la línea de balance³⁵, que permite identificar las actividades que inicialmente están programadas con una tasa de producción muy alta y que generan conflicto en algún instante del proyecto de construcción.

3. Introducción de Elementos Prefabricados. Si las características de la obra permiten utilizar elementos prefabricados, se reducirá el tiempo de ciclo en muchas de las actividades que implican procedimientos dispendiosos e ineficientes para llegar a la entrega de dicho producto terminado; adicionalmente se pueden manejar los desperdicios en forma más eficiente. Los elementos prefabricados requieren de estrategias de transporte vertical y horizontal un poco más elaboradas, sin embargo la diferencia no es muy marcada respecto a los procedimientos tradicionales.

4. Sistemas de Información y comunicación a partir de herramientas TIC. El manejo de la información a partir de herramientas tecnológicas TIC es un concepto moderno de logística y tiene como objetivo el rastreo de materiales e información en tiempo remoto. Para la identificación de materiales se usan códigos, referencias o “Tags”, lo que facilita la inmediatez en el registro de datos. En el capítulo 4.3 se abordará con detalle el tema, que hace parte de una técnica para la materialización de un plan logístico de materiales en la obra.

5. Implementación de Software de Gestión de Materiales de Construcción. La implementación de herramientas tecnológicas que integren información financiera, contable y administrativa de la obra, favorece el mejoramiento del control sobre la trazabilidad de los materiales y demás recursos; lo que implícitamente supone controlar el flujo logístico de materiales y equipo mediante parte del flujo de la información.

³⁵ La línea de balance, o cuadro de velocidades de producción es un método de programación de actividades que consiste en representar el desarrollo de una actividad mediante una fragmentación por series a lo largo de una escala de tiempo definida. Ejemplo: Pisos vaciados vs. Semanas.

Modelo de formatos para la estructuración del MLP. La información para el MLP deberá estar disponible de tal forma que se facilite la visualización y el cruce de información relacionada con cada uno de los pasos que lo componen. Es importante que la información se pueda tabular.

Información General:

Tabla 21. MLP 0. Nombre del proyecto y constructor

PLAN LOGÍSTICO Fecha: _____	
Empresa constructora	
Nombre de la Obra o Proyecto	
Ubicación	

(Fuente: elaboración propia)

Paso 1. ROLES.

Tabla 22. MLP 1.1 Definición de roles del grupo primario que conforme el constructor o contratista principal

Grupo Primario				
Grupo	Nombre	Cargo	Responsabilidad	Funciones
Construcción				
Logístico				
Administrativo				
Cadena de Suministros				

(Fuente: elaboración propia)

Paso 2. COMUNICACIÓN.

Tabla 23. MLP 2.1 Estructura de un requerimiento formal dentro de la obra

Solicitud de X Requerimiento		
Nombre		
Cargo		
Fecha		
Requerimiento		
Aprueba	SI	NO
Nombre y Cargo de quien Autoriza		
Fecha Autorizació		

(Fuente: elaboración propia)

Paso 3. REQUERIMIENTO DE MATERIALES.

Tabla 24. MLP3.1. Formato para la Planificación de Materiales a partir de los Requerimientos de la Obra

Requerimiento de Materiales											
Diligenciado Por:							Grupo:			Fecha:	
Actividad	Duración Estimada	Material	Unidad	Cantidad requerida	Método de Entrega	Fecha de Pedido	Fecha de Entrega	%de Pérdida Estimado	%de Pérdida Real	Justificación de la Pérdida	Proveedor

(Fuente: HARKER, 2007)

Paso 4. RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO.

Tabla 25. MLP4.1. Formato para la Planificación Logística de la Recepción, Almacenamiento y Distribución de Materiales

Recepción, Almacenamiento y Distribución						
Diligenciado Por:			Grupo:		Fecha:	
Material o Recurso	Proveedor	Sitio de Descargue	Sitio de Almacenamiento	Estrategia de Recepción y	Procedimiento de Manipulación y distribución	Observaciones

(Fuente: HARKER, 2007)

Tabla 26. MLP4.2. Lista de chequeo de restricciones que resultan por actividad

Cuadro de Restricciones y Plan de Contingencia					
Diligenciado por:			Grupo:		Fecha:
Actividad	Restricción	Plan de Operación	Observaciones del Estudio de Impacto	Mitigación de los impactos generados por la restricción	

(Fuente: HARKER, 2007)

Paso 5. SUBCONTRATISTAS.

Para los subcontratistas, principalmente se deben diseñar formatos en donde se pueda concentrar la siguiente información:

- Especificaciones técnicas del contrato. En donde se definan las cantidades mínimas de desperdicio por actividad y se asignen las respectivas responsabilidades respecto a la adecuada administración que dicho subcontratista debe hacer con los recursos asignados.
- Detallar los ítems de calificación de contratistas, asignando valores ponderados que aporten al resultado final.
- Definición del marco legal de contratación a partir de una lista de requerimientos que deberá ser diligenciada.

Paso 6. CAMBIOS DURANTE LA OBRA.

La obra siempre es dinámica y demanda criterios logísticos para satisfacer las cantidades que requiere en cada una de sus etapas.

Tabla 27. MLP 6.1 Administración y reprogramación logística de recursos

Logística Para la administración de recursos asociados a materiales						
Diligenciado por:			Grupo:		Fecha:	
Actividad	Material	Requerimientos de Personal	Requerimientos de espacio	Requerimientos de equipo	Disponibilidad de recursos	Observaciones

(Fuente: HARKER, 2007)

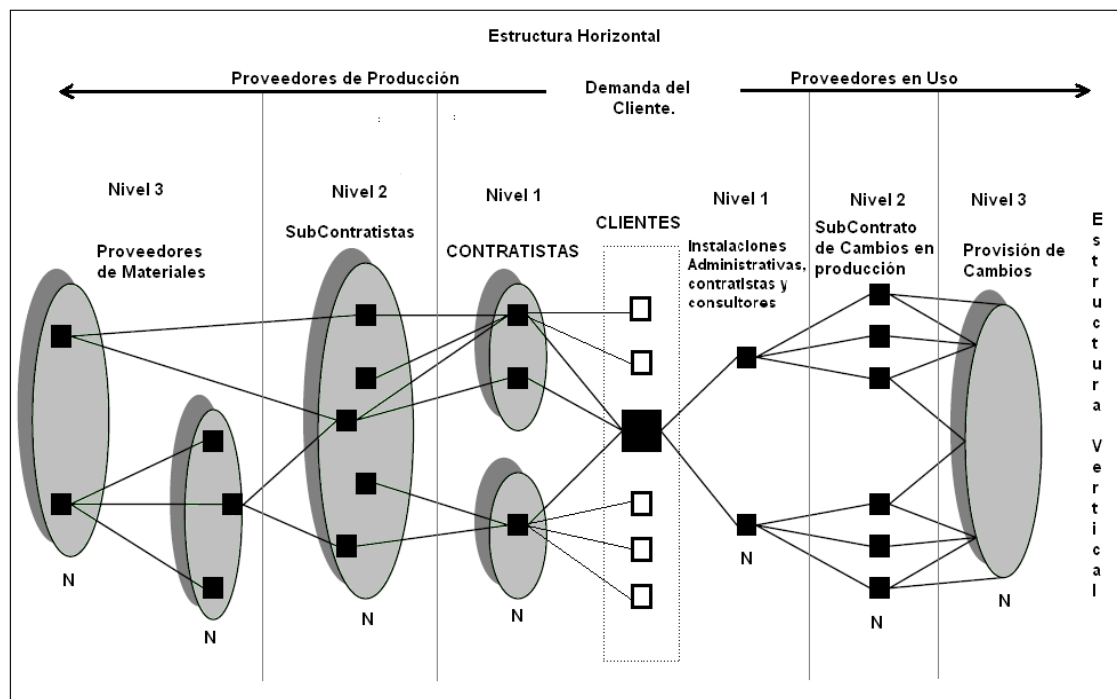
No deben confundirse los formatos de gestión de calidad con los formatos que conforman el plan logístico; los primeros están concebidos para registrar actividades y controlar procesos, mientras que los formatos del MLP son el soporte para la ejecución de la gestión logística en la obra y facilitan la proyección de todas las determinaciones que se tomen en cuanto al aprovisionamiento, recepción, almacenamiento, distribución recursos y la producción de bienes y servicios; aunque es probable que estos tipos de formatos coincidan, dependiendo del enfoque del MLP ó del sistema de gestión de la calidad implementado en la empresa.

4.2.3 Planificación de la cadena de suministro de materiales en construcción. La cadena de suministros es el concepto clave para el control de los flujos establecidos en el plan logístico (materiales, personas, información y equipo). Con el objetivo de cumplir con el Lead Time – GAP, o tiempo logístico, se busca fortalecer todo tipo de relaciones existentes entre cada uno de los actores de la cadena de suministro. En el sector de la construcción este fortalecimiento debe comenzar desde las fases iniciales del proyecto en donde deberá existir cohesión entre el área de diseño y el área de presupuestos con el ánimo de establecer políticas que favorezcan la relación futura con los proveedores y contratistas. Como idea fundamental, la cadena de suministro se enfoca en controlar y mejorar el acople de todas y cada una de las empresas que convergen en el proyecto de construcción. Para el “Committee on supply chain integration” la cadena de suministros se entiende como la asociación de clientes y proveedores quienes trabajan juntos, aun conservando sus propios intereses, dando lugar a la creación final de un producto específico.

Para dichos clientes y proveedores, de aquí en adelante y según O'Brien (2009:2-5), los factores que determinan la estructura de la cadena de suministros en donde intervienen son: La producción, el inventario, las instalaciones, el transporte y la información.

El Lead Time –GAP que se introdujo en 4.1.2.3 podría entenderse como una “gran” cadena de suministros, sin embargo, al interior de cada fase del tiempo logístico, se pueden construir cadenas de suministro que se acoplen entre sí y con las cadenas que se puedan formar en las fases posteriores. Siendo puristas, se podría plantear el problema de esta forma y obtener n cadenas de suministro, sin embargo, el modelo debe simplificarse a partir de una estructura que solo compone cuatro eslabones: Los dueños del proyecto o clientes finales, Los contratistas principales, Los subcontratistas y los proveedores³⁶.

Figura 12. Modelo de la cadena de suministros en construcción



(Fuente: London Et al. 2000)

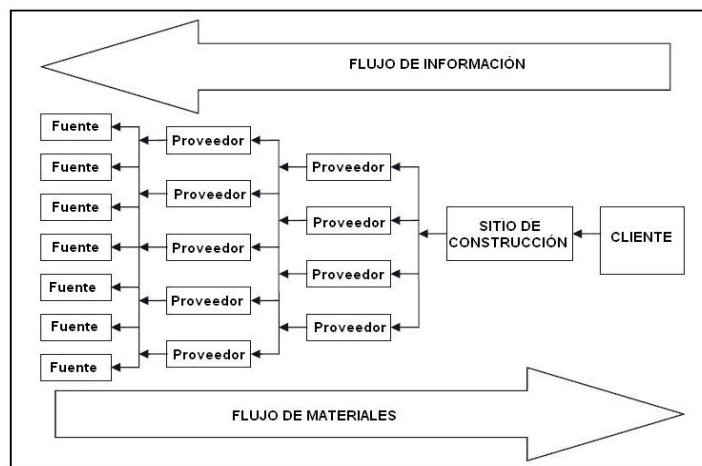
³⁶ Profundizar en W.J. O'Brien, K. London, R. Vrijhoef. "Construction Supply Chain Modeling: A Research Review and Interdisciplinary research agenda". Proceedings IGLC-10, Aug 2002, Gramado, Brazil.

La gráfica anterior describe el sector de la construcción como un escenario que tiene como eje central al cliente o dueño del proyecto y a un grupo de proveedores que a diferentes niveles contribuyen en el suministro de recursos para que le obra se complete bajo estándares de calidad óptimos y manteniendo el modelo de producción bajo la modalidad PULL o de jalonamiento de la producción, dependiendo de las solicitudes del cliente o dueño del proyecto.

El cliente o el promotor del proyecto se entienden como la fuente de la cadena de suministros, y es quien controla de manera directa los riesgos asociados a la actividad. La figura 12 no debe confundirse con una cadena de suministros específicamente para la provisión de materia prima para el proyecto (VICEDO, 2005), sino, como una cadena de interdependencia entre empresas que deben estar coordinadas para la gestión de los cuatro flujos logísticos. Si la cadena anterior está claramente definida se puede hacer extensivo este planteamiento para una cadena de suministros exclusiva para el manejo de materiales de construcción.

Una estructura similar propone Sullivan (2010) para la representación de la cadena de suministros en la construcción, en donde la información parte de los requerimientos del cliente y tracciona los procesos de producción en la obra.

Figura 12 a. Dirección de la cadena de suministros típica para el flujo de información y materiales



(Fuente: SULLIVAN et. Al, 2010. Traducción: elaboración propia)

4.2.3.1 Objetivos de la cadena de suministros en construcción. Los objetivos fundamentales que se pretenden alcanzar a partir de la estructuración de la cadena de suministros de materiales, que varía según la tipología de obra o según estén definidas las condiciones particulares del proyecto de construcción, son:

- Satisfacer la demanda de materiales, equipos y servicios que requiere la obra.
- Minimizar los tiempos de entrega, para lo cual se deben conocer las relaciones entre cada empresa, con el ánimo de identificar los cuellos de botella y suprimirlos y/o minimizarlos.
- Garantizar que las existencias de material y de recursos en general, sean mínimas. Por otro lado, garantizar el flujo de dichos materiales y recursos adicionales.
- Aumentar los estándares de eficiencia y eficacia, lo cual se traduce en el aumento de la satisfacción del cliente o promotor del proyecto.

Las variables a minimizar en la cadena de suministro son básicamente COSTOS asociados a la gestión, las estrategias para su reducción dependerá de la dirección del proyecto y no hay una metodología única para lograr dicho fin. Los costos asociados se muestran en la tabla 28.

Tabla 28. Costos representativos de la cadena de suministro en construcción

COSTO	DESCRIPCIÓN	PROPUESTA REDUCCIÓN
Costo del Material	Es un costo coyuntural, es decir, varía con frecuencia dependiendo del estado de la economía. Por ejemplo, la variación del precio del petróleo afecta directamente el costo del acero.	Diseñar estrategias de negociación con proveedores teniendo en cuenta el comportamiento del mercado.
Costo de Toma del Pedido	Es el costo asociado a las labores administrativas necesarias para contactar al proveedor y hacer efectiva la compra.	Establecer políticas que no burocraticen tanto los procesos de adquisición de materiales.
Costos de Desperdicios	Es el valor de las cantidades de obra desperdiciadas, o bien, de las cantidades de más que no fueron tenidas en cuenta desde la fase de presupuestación de la obra.	Implementar métodos de identificación y mitigación de pérdidas.
Costos de Rotación de Inventarios	El movimiento de stocks al interior de la obra implica unos costos de operación que se pueden elevar en la medida en que los stocks de seguridad estén sobredimensionados.	Minimizar los stocks de materiales inoficiosos en la obra.
Costos de transporte y almacenamiento	Son los costos inherentes a cualquier tipo de material, en lo que respecta al valor del flete, la recepción en obra y el acopio en el almacén de la obra.	Implementar un centro de consolidación de materiales CCC para la distribución óptima y en las cantidades óptimas de material, con el objetivo de minimizar los stocks.
Costos de los sistemas de Comunicación e Información	Son los costos asociados al mantenimiento y la operación, así como también al soporte de los medios de comunicación e información al interior de la obra. (celulares, software, radioteléfonos, fax, fotocopiadoras, etc..)	Estandarizar los métodos de comunicación e información a partir de plataformas tecnológicas que faciliten consolidar la información en un solo sitio
Costos Indirectos de Construcción	Por definición son los costos que se involucran en el AIU (Administración, Imprevistos y Utilidades)	Depende del contexto de la Obra.
Impuestos	Son todas las obligaciones legales en que incurre la operación de la cadena de suministros.	Procedimientos contables "LEGALES"

(Fuente: elaboración propia)

Dichos costos se planifican en tres horizontes claves para la planificación de la cadena de suministros en la construcción, representados por Chopra y Meindl (2004) por categorías de decisión estratégica, táctica y operacional. Lo anterior es completamente análogo a como se direcciona la herramienta Last Planner en sus fases de planificación de largo plazo, intermedia y semanal, respectivamente.

4.2.3.2 Gestión de Materiales para la optimización del tiempo logístico. Es importante el definir metodologías que complementen las herramientas logísticas y que por lo tanto fortalezcan la cadena de suministros. A continuación se trabajarán distintos métodos para la rotación de inventarios, como profundización a lo expuesto en 4.1.3. Una gestión eficiente de inventarios determinará la disminución en los costos de transporte, recepción, almacenamiento y distribución de materiales, así como también la reducción sensible de material de desperdicio. Adicionalmente el flujo de caja del proyecto tendrá coherencia con los niveles de avance de las actividades, evitando sobrecostos en pedidos de materiales que durarán mucho tiempo en estado inoficioso.

El modelo ABC.

El modelo ABC es un método de clasificación de inventarios; dependiendo del peso que cada uno de los materiales tenga en el presupuesto del stock programado para la obra, se clasificarán en categoría A, B o C. Siendo los materiales tipo A los que representan un 80% del presupuesto, aproximadamente, y un 20% del total de las existencias de materiales. Lo anterior obedece claramente al principio de Pareto. Para los materiales tipo B y C se manejan porcentajes del 15% y el 5% en cuanto al presupuesto y del 30% y el 50% en cuanto a las existencias, respectivamente. Sin embargo, más adelante se establecerán otro tipo de criterios para esta clasificación, basados en aspectos cualitativos y cuantitativos con los cuales se valora el proyecto.

Se efectuará un análisis de gestión de materiales de la construcción, basado en un modelo de 20 materiales típicos por medio del método ABC. Los métodos de rotación son herramientas de decisión que facilitan la administración de inventarios y permiten prever situaciones de aprovisionamiento y por lo tanto inciden directamente en las funciones de programación, control y logística de obra.

A pesar de que estos procedimientos dependen de muchas variables externas; como el comportamiento de los precios, el cumplimiento de los proveedores, los costos indirectos asociados a los materiales que se manejan en el inventario, el recurso humano que hace parte de la cadena de suministros, las pérdidas por agotamiento, entre otras; se puede contar con un orden de magnitud sobre la cantidad de días a esperar para la provisión del almacén lo que le imprime más certidumbre a la toma de decisiones desde la dirección del proyecto y al mismo tiempo contar con mejores proyecciones para los flujos de caja. Los materiales que se citan a continuación constituyen insumos muy dinámicos y de alta rotación en la actividad de construcción de edificios.

Con el método ABC se identificará a partir de una escala cualitativa los dos materiales que serán objeto del presente análisis³⁷; en donde se definirán frecuencias de rotación y cantidades de inventario óptimo.

Paso1: definición de la escala para la asignación.

Se define una escala por puntos de uno a diez (**1-10**); el tipo de material vendrá dado por la sumatoria de puntos obtenidos y se clasificará en A, B o C.

Paso2: Identificación de las variables más relevantes.

Se tomó como referencia un total de diez variables, justificadas así:

Costo: Esta variable se le asignará la calificación, dependiendo del peso que tenga dentro del presupuesto general, es decir, que tan sensible es una variación del costo respecto al presupuesto total.

Demanda: La puntuación se obtiene a partir del nivel de utilización de dicho material al interior del proyecto.

Ubicación de Proveedores: en función de la cercanía o no que tengan los proveedores con la obra, y de que tan importante sea esta cercanía para la realización de las actividades, se le asignará un nivel de importancia.

³⁷ Para efectos prácticos solo se analizarán dos materiales, sin embargo, se puede extender el concepto para gestionar varios materiales al tiempo.

Número de Proveedores: se refiere a cuán importante es la existencia de uno o varios proveedores del material, es decir, qué nivel de incidencia en el presupuesto del proyecto es que haya una buena oferta.

Capacidad de Almacenamiento: que tan importante son los recursos destinados al almacenamiento y cuánto pesa el hecho de destinar determinado espacio dentro del proyecto para la ubicación de este material.

Capacidad Financiera: Para determinado material, que tan importante es contar con determinado número de plazos o planes de pago para la adquisición de los mismos.

Calidad: Relevancia de la calidad del material.

Condiciones de Entrega: Se refiere a que tan importante es una entrega en los plazos convenidos, para determinado material. Básicamente se refiere a cuán importante es la puntualidad a la hora de entregar el material.

Condiciones de pago: todo lo relacionado con descuentos y facilidades de pago, o bien la importancia de contar con beneficios por cumplimiento en los pagos.

Propiedades físico-químicas: los cuidados en el almacenamiento para conservar las propiedades del material.

Las variables más relevantes varían de acuerdo con el contexto de la obra y la tipología de la misma, por lo tanto el criterio por parte de la dirección aún no es reemplazado por ningún método ni técnica puntual. Los tipos de materiales A, B o C se clasifican a partir de los siguientes intervalos:

Tabla 29. Escala de clasificación modelo ABC

Material tipo A	(66 , 100)
Material tipo B	(33 , 65)
Material tipo C	(1 , 32)

(Fuente: elaboración propia)

Los materiales seleccionados son:

Tabla 30. Materiales típicos en obra de edificación

Material	
Cemento	Teja sandwich termoacústica tipo hunter douglas
Arena para concreto	Steel deck de 3'' caibre 16
Gravilla de río 1''	Malla electrosoldada D50
Acero estructural fy 60000psi	Recubrimiento epóxico Sikaguard-68
Aditivo EUCO MR-250	Pintura acrilica verde
Bloque arcilla N5	Recebo
Bloque arcilla N4	Piedra rajón
Bloque en concreto N4	Sikadur 32 primer
Tubería sanitaria de 4''	Arena de revoque
Tubería de presión 1''	tubería eléctrica 1''

(Fuente: elaboración propia)

Paso3: Asignación de puntajes a las variables en función de la escala.

Paso4: Se calculan los puntajes totales para cada material. Mediante suma aritmética.

Paso5: Se clasifican los materiales por tipo A, B o C según haya sido el puntaje obtenido.

Tabla 31. Matriz de asignación de Puntajes, de acuerdo al criterio técnico de la dirección de la Obra

MATERIAL	Costo	Demanda	Ubicación proveedores	Número de proveedores	Capacidad Almacenamiento	Capacidad Financiera	Calidad	Condiciones de entrega	Condiciones de pago	Propiedades físicas	TOTAL	TIPO
Cemento	10	10	10	6	10	10	10	10	7	10	93	A
Arena para concreto	7	10	10	5	10	6	10	10	6	10	84	A
Gravilla de río de 1"	7	10	10	5	10	6	10	10	6	10	84	A
Acero Estructural fy 60000psi	10	10	10	7	10	10	10	10	7	10	94	A
Aditivo EUCON MR-250	1	4	5	4	2	5	10	6	3	10	50	B
Bloque arcilla N5	5	7	8	7	9	6	10	7	7	8	74	A
Bloque de arcilla N4	5	7	8	7	9	6	10	7	7	8	74	A
Bloque en concreto N5	5	7	8	7	8	5	10	4	7	10	71	A
Tubería sanitaria de 4"	1	6	2	3	5	5	7	6	2	7	44	B
Tubería presión de 1"	1	4	7	6	5	4	10	6	4	10	57	B
Teja sandwich termoacústica tipo Hunter Douglas	7	3	4	3	8	10	10	10	7	10	72	A
Steel Deck de 3" calibre 16	7	6	7	3	8	9	10	10	6	10	76	A
Malla electrosoldada D50	5	6	10	5	10	10	10	10	6	6	78	A
Recubrimiento epóxico SIKAGUARD-6	1	3	4	2	1	5	10	6	3	10	45	B
Pintura acrílica Verde	2	4	2	4	7	5	9	5	3	10	51	B
Recebo	1	2	4	3	1	1	5	4	3	4	28	C
Piedra Rajón	1	2	4	3	1	1	5	4	3	4	28	C
sikadur32 primer	1	1	4	2	1	5	10	4	1	10	39	B
Arena de revoque	4	7	10	5	7	6	10	8	5	10	72	A
tubería eléctrica 1"	2	3	1	1	2	2	7	3	2	5	28	B

(Fuente: elaboración propia)

Los materiales de tipo A son los que requieren una gestión más exigente, mientras que los de tipo C no requieren una gestión muy rigurosa y no revestirán análisis para el siguiente ejercicio³⁸. Con el fin de esquematizar el procedimiento se analizarán:

Material **tipo A** objeto de análisis: **Acero Estructural fy 60000psi**.

Material **tipo B** objeto de análisis: **Tubería Presión de 1"**.

Modelo de rotaciones.

Se aplicarán los métodos FIFO, LIFO, y de Promedios Ponderados para el material tipo B escogido; para un periodo de análisis de un año. Los conceptos fundamentales para la implementación de este modelo partirán de las siguientes expresiones:

$$ROTACIÓN = \frac{\text{Costo del Material Utilizado en Promedio}}{\text{Costo del Inventario Promedio}}$$

$$\text{Costo del Inventario Promedio} = \frac{\text{Costo Inicial} + \text{Costo Final}}{2}$$

³⁸ Los valores comerciales de dichos materiales corresponden a una aproximación académica.

$$\text{Días de Inventario} = \frac{\text{Número de Días del Periodo}}{\text{Rotación de Inventarios}}$$

Tabla 32. Condiciones iniciales para el requerimiento de stock programado

Condiciones Iniciales		unidad	Tubería presión de 1''		
Demanda de la Obra	500	tubos/año	fecha	Vr Unitario	Vr total
Inventario inicial	40	tubos	30-ene	\$ 10.000	\$ 400.000
	200	tubos	30-mar	\$ 12.000	\$ 2.400.000
	150	tubos	30-jul	\$ 12.500	\$ 1.875.000
	170	tubos	30-oct	\$ 12.800	\$ 2.176.000
Total	560				

(Fuente: elaboración propia)

Tabla 33. Modelo de rotación FIFO (primero en entrar, primero en salir)

PEPS (FIFO)					
CMU	40	tubos	10000	\$/tubo	\$ 400.000
	200	tubos	12000	\$/tubo	\$ 2.400.000
	150	tubos	12500	\$/tubo	\$ 1.875.000
	110	tubos	12800	\$/tubo	\$ 1.408.000
	500				\$ 6.083.000
CIF	60	tubos	12800	\$/tubo	\$ 768.000
CII	40	tubos	10000	\$/tubo	\$ 400.000

(Fuente: elaboración propia)

Luego la rotación se daría **10,42 veces** en el año, o bien en días, cada **34,56 d.**

Tabla 34. Modelo de rotación LIFO (último en entrar, primero en salir)

UEPS (LIFO)					
CMU	170	tubos	12800	\$/tubo	\$ 2.176.000
	150	tubos	12500	\$/tubo	\$ 1.875.000
	180	tubos	12000	\$/tubo	\$ 2.160.000
	500				\$ 6.211.000
CIF	20	tubos	12000	\$/tubo	\$ 240.000
	40	tubos	10000	\$/tubo	\$ 400.000
					\$ 640.000
CII	40	tubos	10000	\$/tubo	\$ 400.000

(Fuente: elaboración propia)

Luego la rotación se daría **11,94 veces** en el año, o bien en días, cada **30,14 d.**

Tabla 35. Modelo de rotaciones por promedio ponderado

PROMEDIO PONDERADO					
COMPRAS	200	tubos	12000	\$/tubo	\$ 2.400.000
	150	tubos	12500	\$/tubo	\$ 1.875.000
	170	tubos	12800	\$/tubo	\$ 2.176.000
	520				\$ 6.451.000
INVENTARIO INICIAL	40	tubos	10000	\$/tubo	\$ 400.000
VALORTOTAL					\$ 6.851.000

(Fuente: elaboración propia)

A partir de esta tabla, se tendrá para un total de 560 tubos un costo promedio ponderado por unidad de $\frac{CPP}{un} = \$12.234/tubo$, este valor multiplicado por la demanda anual de 500 tubos da como resultado un $CMUP = \$6.116.964$, de manera que el costo del inventario final, o sea el costo de los 60 tubos de más, es de $CIF = \$734.036$.

Luego la rotación se daría **10,79 veces** en el año, o bien en días, cada **33,37 d.**

Estos valores claramente indican los días en los que hay que coordinar con el proveedor las entregas de materiales tipo B; muy importante a la hora de consolidar un sistema de gestión logística en la obra, y determinante para no comprometer la programación de actividades y recursos. Cabe anotar que las fechas de pedidos estarán condicionadas a la programación general de la obra. No se puede concebir un modelo de rotación de inventarios si este no está ligado a la programación.

Modelo de lote óptimo.

EL modelo del lote óptimo se aplicará para el material tipo A, en un periodo de análisis de un año. La definición de las variables se da a continuación:

C: Costo unitario del material.

S: Costo de hacer un pedido.

Q: Número de unidades solicitadas en cada periodo.

D: Consumo o demanda por unidad de tiempo.

Ct: Costo total.

Ca: Costos Administrativos.

Cf: Costos financieros.

F: Costo de oportunidad como %

D/Q: Número de pedidos.

Las expresiones que regulan el método son:

$$Ct = Ca + Cf$$

$$Ca = \frac{D}{Q} \times S$$

$$Cf = \frac{C \times Q \times F}{2}$$

Luego, si se calcula la primera derivada de Ct con respecto a Q, se iguala a cero, y se obtiene un punto de mínima para Q, denominado Qo:

$$Qo = \sqrt{\frac{2 \times D \times S}{C \times F}}$$

Los datos iniciales se asumen para el material A:

Tabla 36. Definición de variables iniciales Para el modelo de lote óptimo en material tipo A

Tabla de Información			
Acero Estructural fy 60000psi		por kg	
Descripción	Variable	dato	Unidad
Costo Unitario del Material	C	2.800,00	\$/kg
Costo de hacer un Pedido	S	30.000,00	\$
Unidades solicitadas en cada pedido	Qo	4.909,90	kg
Consumo o Demanda por unidad de tiempo	D	270.000,00	kg
Costo total	Ct	3.299.454,50	\$
Costos administrativos	Ca	1.649.727,25	\$
Costos financieros	Cf	1.649.727,25	\$
Costo de oportunidad (24%E.A.)	F	0,24	

(Fuente: elaboración propia)

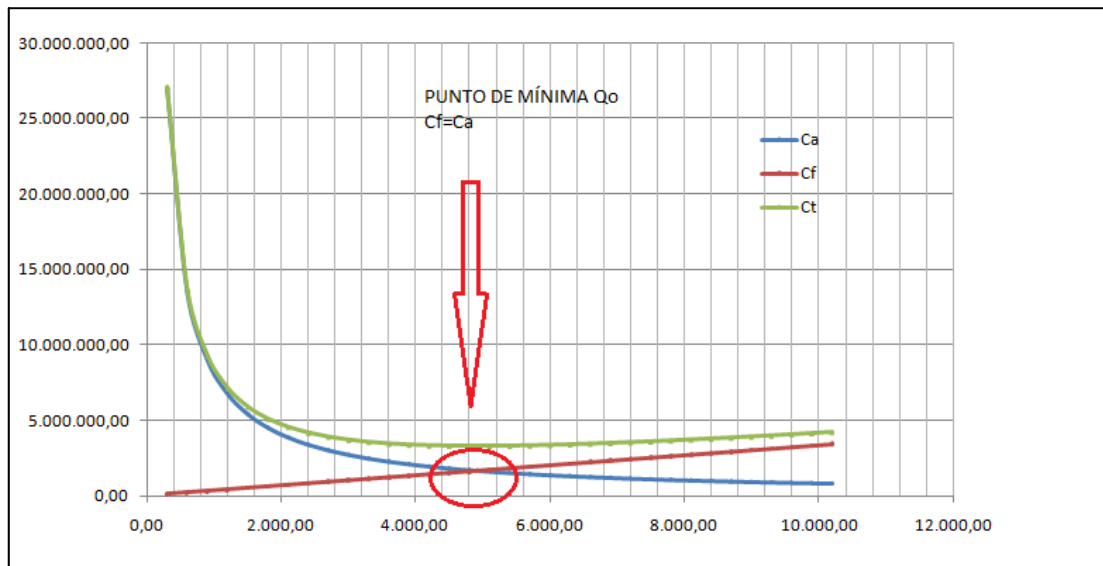
A partir de la obtención de $Q_o = 4910\text{kg}$ (Unidades solicitadas por pedido) se obtiene el número de pedidos dividiendo el consumo o la demanda por unidad de tiempo, que para este caso es un año de análisis, así:

$$No\ Pedidos = \frac{270.000\text{kg}}{4910 \frac{\text{kg}}{\text{pedido}}} = 55\ Pedidos/Año$$

Lo anterior equivale a pedir material cada **6,55 días**.

La proyección del método de lote óptimo plantea en la siguiente curva:

Figura 13. Curva \$ vs. Kg para el material tipo A analizado



(Fuente: elaboración propia)

El punto de mínima Q_o hace que los costos administrativos sean iguales a los costos financieros; a partir de la gráfica, se puede concluir que los costos financieros son mayores que los costos administrativos en la medida que se aumenten las unidades de Q_o .

Como este método no considera un inventario de seguridad, lo más conveniente es fijar un punto de reorden, cuya significación es el número de unidades de inventario con que se debe contar, al momento de efectuar un nuevo pedido, de tal manera que se eliminen los costos de agotamiento.

$$Pto\ Reorden = \left(\frac{Demanda}{Días} \right) \times (No\ de\ Días\ que\ tarda\ el\ pedido\ en\ llegar)$$

Asumiendo que el pedido tarda tres días en llegar a la obra:

$$Pto\ Reorden = \left(\frac{270.000\ kg}{año \times 360 \frac{días}{año}} \right) \times 3\ días = 2250\ kg, \text{ Cada } 3,55\ días$$

Descrito el modelo de gestión de inventarios, partiendo desde el modelo ABC y conectándolo con los demás métodos, se puede concluir lo siguiente:

- El principio de Pareto para el ejercicio anterior no se cumple en su totalidad, dado que el presupuesto real de un proyecto de construcción de edificación, puede contener más de 300 tipos de materiales, sin embargo, la tendencia fue la siguiente:

Material	% en la lista
Tipo A	55%
Tipo B	35%
Tipo C	10%

- El modelo ABC es cualitativo, y permite clasificar inventarios de acuerdo a las necesidades particulares y a los patrones que establezca cada empresa de acuerdo, por ejemplo, al nivel de importancia del insumo, su incidencia en el costo, su facilidad de obtención, su manejo en almacenamiento, entre otros. Todo lo mencionado anteriormente se convierte en variables cualitativas que van a depender exclusivamente de la dirección de obra que plantee el modelo.

Es recomendable, para que el grupo evaluador conserve siempre los mismos parámetros de análisis, definir claramente y con anterioridad intervalos numéricos para calificar cada una de las variables que componen la metodología de análisis; así se evitan cambios de criterio debidos a cambios de personal encargado del análisis, o clasificaciones muy subjetivas. Si se afecta la ponderación se puede afectar la clasificación del insumo y su nivel de importancia en la gestión de inventarios.

- Teniendo en cuenta que la economía es inflacionaria, se tienen los siguientes cuadros comparativos para los modelos de rotaciones:

Tabla 37. Comparación Cuantitativa de los Modelos de Rotación

	PEPS	UEPS	PP
	\$	\$	
CMUP	6.083.000	6.211.000	\$ 6.116.964
CIF	\$ 768.000	\$ 640.000	\$ 734.036
UTILIDAD	↑	↓	→ ←
DIVIDENDOS Y PARTE DE LA UTILIDAD	↑	↓	→ ←

(Fuente: elaboración propia)

Tabla 38. Comparación cualitativa de los modelos de rotación

	PEPS	UEPS	PP
CMUP	Mas bajo	Mas alto	Intermedio
CIF	Mas alto	Mas bajo	Intermedio
UTILIDAD	Mas alto	Mas bajo	Intermedio
DIVIDENDOS Y PARTE DE LA UTILIDAD			
	Mas alto	Mas bajo	Intermedio

(Fuente: elaboración propia)

Observando los cuadros se nota que el Costo del Material Utilizado en el Período es más alto en el método UEPS, estando en una economía inflacionaria esto implica menor utilidad, pues el costo y la utilidad son inversamente proporcionales. Contabilizar una utilidad menor es beneficioso desde el punto de vista de los socios ya que pagan un impuesto de renta menor.

- En la gestión de inventarios en la construcción de obras civiles es muy importante aplicar el modelo de clasificación ABC ya que permite identificar los insumos más importantes y de mayor cuidado en la gestión, pedido y recepción de los mismos. Lo que hace más estricto el cumplimiento en el cronograma para la entrega, determinando en gran medida el inicio y desarrollo de actividades críticas en la obra.

Además se debe complementar lo anterior con un adecuado manejo logístico dentro de la obra para minimizar tiempos y distancias de transportes, mantener condiciones adecuadas de almacenamiento y permitir un manejo y control adecuado de desperdicios, entre otros.

4.2.4 Los indicadores en la gestión logística de la construcción. “La medición proporciona la base para la mejora de las actividades, la programación y la administración de riesgos” (HARKER, 2007:15).

Sin indicadores claves de desempeño³⁹ y sin indicadores logísticos, no puede hablarse de gestión logística; pues son este tipo de indicadores los que evalúan el desarrollo de los proyectos, al tiempo que sirven para controlar y programar los flujos de la gestión logística en construcción. Por lo tanto existirán indicadores para materiales, personas, información y equipos, consecuentes con el modelo del MLP.

Para este capítulo se tendrán en cuenta los indicadores de desempeño tradicionales usados en construcción y la relación directa de estos con respecto a la estructura de un plan logístico en la obra⁴⁰. También se analizarán los indicadores logísticos que se manejan en la manufactura, acoplados a la industria de la construcción. La información obtenida en el capítulo 5,3 donde se adelantarán encuestas a diferentes empresas constructoras, sobre la situación actual de la logística interna de las obras, se puede cruzar con los indicadores KPI recopilados a lo largo de estos últimos años en la base de datos de BENCHCOLOMBIA; lo anterior puede tener relación directa entre indicadores y organización, por lo que es muy importante definir el significado y los alcances de los indicadores de desempeño en la gestión logística de obras de construcción.

4.2.4.1 Indicadores de desempeño en el sector de la construcción. Los indicadores de desempeño en el sector de la construcción son valores que se pueden cuantificar y comparar, de hecho, son la base del Benchmarking que se establece entre un grupo de empresas que comparten dicha información para trazar nuevos objetivos, partiendo de la base de que todo proceso es susceptible de cualquier mejora. La intención de convertir la información de las mediciones en obra, en indicadores KPI, se resume muy concretamente en dos aspectos: reducción de costos y tiempo. (Botero L.F. et. Al. 2006).

³⁹ En adelante indicadores “KPI” por sus siglas en inglés (key performance indicator)

Los indicadores KPI se utilizarán en este trabajo, para validar los modelos logísticos empleados en la obras de construcción; también para detectar debilidades que permitan replantear la cadena de suministros y por lo tanto las estrategias logísticas para su fortalecimiento. En construcción, prevalecen los siguientes grupos de indicadores: tiempo, costo, calidad, satisfacción del cliente, cambios en los proyectos originados por los clientes, resultados del negocio, salud y seguridad.⁴¹ Todas estas áreas deberán servir de diagnóstico para proyectar los resultados finales de la obra, o de futuras obras y deberán complementarse con indicadores logísticos que complementen dicha información.

De acuerdo con lo planteado por el **KPI Working Group** del Reino Unido, en el reporte emitido por el ministerio de la construcción en dicho país, se obtiene la siguiente tabla con los principales indicadores de la industria de la construcción.

Tabla 39. Indicadores KPI de tiempo para la industria de la construcción

Indicadores KPI de TIEMPO		
ID	Indicador	Nivel
1	Tiempo de Construcción	Principal
2	Predicción del tiempo para el diseño	Principal
3	Predicción del tiempo para la construcción	Principal
4	Predicción del tiempo para el diseño y la construcción	Operacional
5	Predicción del tiempo para la construcción (cambios de planes por parte de los clientes)	Diagnóstico
6	Predicción del tiempo para la construcción (cambios de planes por parte de los directivos)	Operacional
7	Tiempo para rectificar defectos	Operacional

(Fuente: KPI Working Group. UK 2000)

⁴¹ Ver: L.F. Botero, M. E. Álvarez. "Sistema de Referenciación Para la Construcción". 2006. 261Pg.

Tabla 40. Indicadores KPI de costos para la industria de la construcción

Indicadores KPI de COSTOS		
ID	Indicador	Nivel
1	Costos de la Construcción	Principal
2	Predicción de costos para el diseño	Principal
3	Predicción de costos para la construcción	Principal
4	Predicción de costos para el diseño y la construcción	Operacional
5	Predicción de costos para la construcción (Cambio de planes por parte de los clientes)	Diagnóstico
6	Predicción de costos para la construcción (Cambio de planes por parte de los directivos)	Diagnóstico
7	Costos por la rectificación de	Operacional
8	Costos de Uso de la construcción	Operacional

(Fuente: KPI Working Group. UK 2000)

Tabla 41. Indicadores KPI de resultados para la industria de la construcción

Indicadores KPI de Resultados del Negocio		
ID	Indicador	Nivel
1	Rentabilidad de la compañía	Principal
2	Productividad de la compañía	Principal
3	Retorno del capital invertido por la compañía	Operacional
4	Retorno del valor agregado por la compañía	Operacional
5	Cubrimiento de intereses	Operacional
6	Retorno de la inversión para el	Operacional
7	Predicción de la rentabilidad para el proyecto	Operacional
8	Razón el valor agregado para la	Diagnóstico
9	Recompra (compañía)	Diagnóstico
10	Tiempo que toma llegar a las cuentas finales del proyecto	Diagnóstico

(Fuente: KPI Working Group. UK 2000)

Tabla 42. Indicadores KPI de seguridad industrial y salud ocupacional para la industria de la construcción

Indicadores KPI de SISO		
ID	Indicador	Nivel
1	Accidentes reportados (incluyendo accidentes fatales)	Principal
2	Accidentes reportados (sin incluir accidentes fatales)	Operacional
3	Tiempo perdido debido a accidentes	Operacional
4	Fatalidades	Operacional

(Fuente: KPI Working Group. UK 2000)

Los indicadores principales describen aspectos generales de la organización que se dedica al proyecto de construcción, los indicadores son: operacionales cuando por medio de dichos indicadores se identifican actividades propias de la empresa susceptibles a mejoras; y finalmente los indicadores de diagnóstico que señalan el porqué de la variación de los dos indicadores anteriores. (L.F. Botero, M.E. Álvarez, 2006:79)⁴²

4.2.4.2. Indicadores Logísticos en Construcción. Volviendo a la estructura del MLP propuesto por Waste & Resources Action Programme (HARKER, 2007), se pueden identificar ciertos tipos de indicadores KPI que sirven como herramienta de control al plan logístico de materiales expuesto con anterioridad. Los indicadores logísticos pueden ser definidos por el cliente (teniendo en cuenta la estructura de la cadena de suministros de la construcción planteada por London, en donde el cliente es el eje principal) y/o por los diseñadores del plan logístico que hacen parte del contratista principal.

⁴² Con esta base de indicadores se podrán proponer nuevos indicadores que faciliten la comprensión de la dinámica de un proyecto de construcción en determinado mercado, según lo indicado en el “Sistema de Referenciación Para la Construcción, BENCHCOLOMBIA”, citado anteriormente.

Tabla 43. Ejemplo de definición de indicadores KPI logísticos, previo a la ejecución del MLP

<i>Indicador Logístico</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cumplimiento</i>		<i>Definido por</i>
		<i>Límite Mínimo (%)</i>	<i>Límite Máximo(%)</i>	
Cantidad de desperdicio de Material, Respecto al Material Total Comprado	un	0%	10%	Cliente
Rendimientos teóricos propuestos antes de iniciar el contrato y bajo condiciones normales de trabajo	un/tiempo	75%	NA	Contratistas y Subcontratistas
Cumplimiento las reglas de funcionamiento del MLP	un	90%	100%	Cliente y/o Contratista Principal
Stocks Mínimos de Seguridad Propuestos para la gestión de Materiales	un	100%	105%	Contratista Principal
Cantidad de Material recibido a satisfacción y sin ningún tipo de daños por mala manipulación en la recepción	un	97%	NA	Contratista Principal y Subcontratistas
Productos defectuosos provenientes del centro de distribución	un	1%	3%	Cliente
Número de Compromisos cumplidos por el CCC a partir de la solicitud de un pedido	un	98%	100%	Cliente
Número de kits de materiales incompletos o defectuosos, por actividad.	un	1%	3%	Cliente y Contratista Principal
Cantidad de Materiales Devueltos	un	1%	4%	Contratista Principal y Subcontratistas
Cantidad de reclamos por necesidad de suministro de material, en función del total de pedidos para un periodo de tiempo determinado	un	2%	5%	Subcontratista

(Fuente: Creación Propia)

El monitoreo de cualquier grupo de indicadores de desempeño y de indicadores logísticos que se establezcan previo a la ejecución de un plan logístico de materiales, deberá hacerse en forma sistemática y con la periodicidad necesaria para que la información recogida sirva de radiografía y de esta forma el grupo logístico diagnostique con tiempo las falencias que puede presentar la obra, o bien, para que ratifique y/o consoliden procedimientos que vienen dando resultados positivos en productividad.

Dependiendo del MLP que se aplique en la obra y recordando que cada obra es un proyecto único y multivariable, se elegirán, o se desarrollarán, los indicadores de desempeño logísticos más acertados para el control de dicho MLP. A continuación la descripción de los indicadores propuestos en la Tabla 43.

Cantidad de desperdicio de material, respecto al material total comprado: Es perfectamente un indicador cuantificable y predecible, si se tiene previsto un MLP. El desperdicio de material depende en sí mismo del material, por lo tanto, se puede expresar en diversas unidades de medida dependiendo del recurso utilizado. La tendencia en las mayorías de las obras de construcción es cuantificar este indicador en m³; lo cual arroja resultados inciertos que no permiten saber realmente que tan eficiente fue la gestión de determinado material, respecto a las pérdidas. Lo ideal sería que cada material tenga su indicador de desperdicio, lo cual solo se puede lograr si existe el hábito de separar y clasificar los desperdicios. Para los materiales de mayor gestión como el acero, tal como se vio en el modelo ABC planteado en 4.2.3.2, deberán reportarse pérdidas expresadas en kg, lo cual es bastante claro como para replantear futuros pedidos de material, e incluso modificar la magnitud de los stocks de seguridad que se tengan para esos materiales.

Formulación General:

$$\text{Desperdicio de Material} = \left(1 - \frac{\text{Material Especificado en Planos}}{\text{Material Utilizado}} \right) \times 100\%$$

Lo anterior permite evaluar las posibilidades del indicador a través de la siguiente desigualdad:

$$\text{Material Especificado en Planos} \leq \text{Material Utilizado} \leq \text{Material Comprado}$$

La desigualdad anterior implícitamente expone la necesidad de considerar siempre una cantidad de desperdicio, pues es claro que si las condiciones del diseño no cambian, la cantidad requerida en planos se considerará como constante y por ende la mínima cantidad de material a utilizar y/o comprar.

Rendimientos Teóricos Propuestos antes de iniciar el contrato y bajo condiciones normales de trabajo: Son indicadores que podrían confundirse con consumos de mano de obra, sin embargo tienen la particularidad de que solo aplican para la obra en cuestión, es decir, las cantidades que el contratista se compromete a ejecutar en determinado periodo de tiempo, por ejemplo, armado y vaciado de dos apartamentos diarios en sistema de muros cargueros, para un total de 80m² construidos diarios en condiciones normales.

Formulación General:

$$\text{Compromiso de Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad de Obra Proyectada a Ejecutar}}{\text{Unidad de Tiempo}}$$

Este indicador es muy importante definirlo con los contratistas y subcontratistas, por varias razones; la primera es que se fija un compromiso de producción, por lo tanto el grupo responsable de la ejecución de la tarea, bajo condiciones normales, deberá responder por una producción periódica; la segunda es que con este tipo de indicador se puede garantizar la disponibilidad de personal en la obra, puesto que el contratista no se comprometerá con un tenor de esta naturaleza si reduce sustancialmente su número de trabajadores.

Cuando se habla de condiciones normales de trabajo se hace referencia a que todas las variables que involucra la actividad no se ven afectadas por imprevistos, tales como: mal tiempo, daño de equipos, provisión nula de materiales, etc.

Cumplimiento de las reglas de funcionamiento del MLP: Este indicador se puede considerar como un indicador intuitivo. Se parte de la siguiente base: si hay problemas en la obra y el cumplimiento de las reglas de funcionamiento no están al 100%, entonces deberá procurarse por alcanzar el 100% de las buenas prácticas sugeridas por el plan logístico. Si se está siguiendo el procedimiento del MLP en su totalidad y aun así se presentan fallas en la logística de la obra es probable que la formulación del modelo del MLP este desfasada con la realidad del proyecto.

Inventarios mínimos de Seguridad Propuestos para la gestión de materiales: Los inventarios mínimos de seguridad son indicadores de gestión logística directamente relacionados con los procesos de aprovisionamiento y pedido. Dichos indicadores permiten que la obra continúe con el proceso de producción en caso de llegar a no contar con la provisión suficiente en el centro de distribución. El inventario de seguridad a simple vista contradice la filosofía JIT, sin embargo, es un factor determinante para que los materiales estén en el instante preciso en las cantidades precisas. Es necesario establecer un punto de reorden según lo estudiado en el modelo de lote óptimo visto en 4.2.3.2, para que los tiempos de la cadena de suministro manejen holguras coherentes que permitan al centro de distribución o directamente al proveedor, cumplir con los pedidos.

Cantidad de material recibido a satisfacción y sin ningún tipo de daños por mala manipulación en la recepción: Este es un indicador para controlar la metodología de manipulación de objetos desde el momento en que son entregados en la portería, hasta el momento en que son dispuestos en el sitio de distribución, o almacén. Se puede valorar en porcentaje de 0% a 100% respecto al total de materiales recibidos en determinado periodo de tiempo.

Productos defectuosos provenientes del sitio de distribución: en caso de que la empresa constructora adquiera compromisos con un centro de aprovisionamiento, o bien, cuente con la infraestructura necesaria para disponer de un CCC, deberá controlar mediante indicadores el estado de almacenamiento de dichos materiales, previo al proceso de distribución. Lo ideal es no obtener dicho indicador en el sitio de obra sino, de manera sistemática llevar un control riguroso en el la bodega de origen. Se puede valorar en porcentaje de 0% a 100% respecto al total de materiales almacenados en determinado periodo de tiempo.

Número de compromisos cumplidos por el CCC a partir de la solicitud de un pedido: este indicador puede medirse con una calificación ponderada sobre una serie de requerimientos que se pueden hacer sobre un pedido, por ejemplo:

Tabla 44. Puntaje de indicador logístico de compromisos cumplidos por el CCC (ej. 1)

Requerimientos Logísticos y Técnicos			
Pedido:	Ladrillo Santa Fe		
Requerimiento	(%)	Calificación	Total
Descargue en Obra en menos de 48h	40%	5	2
Estibado de 50 unidades	30%	4	1,2
Estado de los ladrillos	15%	3,8	0,57
Homogeneidad en las betas	15%	4,3	0,65
Obs:		Total	4,42

(Fuente: elaboración propia)

Tabla 45. Puntaje de indicador logístico de compromisos cumplidos por el CCC (ej. 2)

Requerimientos Logísticos y Técnicos			
Pedido:	Acero de refuerzo de 3/8'' figurado en estribos de 30x40		
Requerimiento	(%)	Calificación	Total
Descargue en Obra en menos de 100h	40%	4	1,6
Paquetes de 50, 60, y 35 estribos	35%	5	1,75
Etiqueta de paquetes según plano	20%	5	1
Niveles mínimos de corrosión	5%	3,8	0,19
Obs:		Total	4,54

(Fuente: elaboración propia)

En este caso el indicador puede tener un valor, o bien el promedio de ambas calificaciones (C=4,5), o bien, directamente del número de compromisos cumplidos⁴³, que para este caso es de 2 sobre 2 (100%).

La pertinencia de mantener este indicador en los mayores estándares, radica en que facilita el manejo de la logística interna de la obra y contribuye a una programación más exacta de tareas y cuadrillas. Por lo tanto no habrá competencia entre frentes de obra por el uso de recursos (pues desde el MLP se tienen asignados los recursos) y se disminuirán sustancialmente los tiempos de soporte (contributivos) y los tiempos que no agregan valor (no contributivos).

⁴³ Puede ser que el nivel de exigencia, producto del MLP arroje valores aprobados a partir de calificaciones de 4.8, por lo tanto en este caso el número de compromisos cumplidos sería cero (0) compromisos cumplidos.

Muchos de estos indicadores se modificarán de acuerdo con el contexto de la obra, o bien, surgirán nuevos indicadores para determinar la eficiencia y la eficacia de la gestión logística implementada. Por lo general dichos indicadores van dirigidos a controlar el servicio al cliente intermedio y final, la gestión de inventarios y la gestión logística como tal (interna y externa, respecto al perímetro de la obra). En capítulos posteriores se obtendrán nuevos indicadores a partir de la implementación de un sistema de gestión logística para el control del flujo de materiales, validado con la experiencia directa en obra.⁴⁴ El registro y control de los indicadores de desempeño, y por lo tanto de la gestión logística en la obra, requerirá de un soporte tecnológico que facilite las labores administrativas y técnicas que involucra cualquier MLP, por lo tanto es necesario acudir a los modelos basados en TIC y a los software de gestión para la planificación de recursos empresariales (software ERP). Dichas herramientas facilitan la manipulación de datos y favorecen la proyección de los mismos con lo que se pueden fijar indicadores meta de productividad; por otro lado, estas herramientas tecnológicas sirven de puente en la relación Contratista-Proveedor, configurando la automatización de los procesos logísticos en las actividades de construcción.

⁴⁴ Los indicadores “On Time Delivery” (Entrega a tiempo), “Fill Rate” (Entregas completas), “Lead Time” (ciclo de compra) constituyen generalmente los indicadores de servicio. Para la gestión de inventarios es fundamental recordar lo citado en la metodología ABC, luego los indicadores claves para esta área son los días de inventario, el Stock de seguridad y faltantes de inventario “Out of Stock”; para lo cual es importante acudir al concepto de punto de reorden. En cuanto a la dinámica de la obra como tal, los indicadores de gestión logística se enfocan en controlar los costos de distribución, almacenamiento y transporte.

Consultar: GS1 Chile, Cartilla “Medición de indicadores de gestión logísticos”, Nov 2004, 22P.

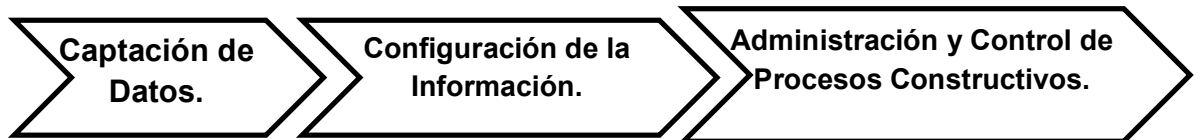
4.3 IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS TIC Y SOFTWARE DE GESTIÓN EN LA LOGÍSTICA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.

4.3.1 Tecnologías TIC para el procesamiento de la información y manejo de datos.

La logística de los proyectos de construcción implica el manejo de un volumen de datos considerable que no conviene manejar en forma manual por razones de productividad, claridad y consistencia en la manipulación de dicha información. La cantidad de variables que intervienen en la operación del MLP, y en sí, las variables que intervienen en cualquier proceso constructivo justifican la automatización de la información; de esta forma se suprimen procesos administrativos que no agregan valor y que adicionalmente interrumpen la labor de los ingenieros y arquitectos encargados de ejecutar la obra.

Las tecnologías de información y comunicación TIC aparecen entonces como una solución para la situación anteriormente planteada. Las fases en donde son empleadas se muestran en la Figura 14.

Figura 14. Fases de la información.



(Fuente: Botero et al. 2006)

Los campos de aplicación de las tecnologías TIC en el sector de la construcción pueden ubicarse en los siguientes grupos⁴⁵:

- Sistema de referenciación Benchmarking (BenchColombia)
- Calidad on-line (Información a través de dispositivos móviles).
- Medición de la productividad (Aplicación de Lean Construction).
- Planificación de obra (Last Planner).
- Sistemas de gestión Integrada (GICO).
- Portales web (Plataformas tecnológicas para el manejo del principio de transparencia)

⁴⁵ Para profundizar sobre el Desarrollo de los conceptos fundamentales de las TIC y su introducción en los proyectos de construcción, referirse a la siguiente fuente: L.F. Botero, M. E. Álvarez. "Tecnologías de información y comunicaciones como apoyo al control de la ejecución de proyectos de construcción". Universidad EAFIT. 2008. 124 P.

La idea con la implementación de la gestión logística en el sector de la construcción es poder integrar los campos anteriormente citados para facilitar la administración y el control de los flujos logísticos y sus procesos constructivos y operativos asociados.

La metodología para procesar la información puede establecerse en 5 etapas (L.F. Botero Et. Al, 2008):

1. Solicitud de datos: definir claramente los destinatarios finales de los datos, la precisión requerida de la información, el grado de obsolescencia de los datos, y los sitios de la obra en donde se obtendrán dichos valores.

2. Captura de datos: antes de comenzar con la captura de datos, es muy importante definir las variables que afectan esta captura, los instrumentos de medición más eficientes y con niveles de incertidumbre más bajos (en la medida de las posibilidades), los modos de observación y marcos de referencia más convenientes para efectuar dichas mediciones. Adicionalmente es clave para la obtención de la información tener en cuenta los datos "out layer"⁴⁶ y su tratamiento posterior, considerando las posibles causas de error.

3. Recuperación y análisis: corresponde a la definición de los sistemas de conteo, escalas de tiempo para el análisis de la información (periodicidad) por parte de los encargados, quienes no necesariamente son los que capturaron la información; de ahí la importancia de que la información se pueda transmitir en forma ágil y consistente.

4. Difusión de la información: consiste en seleccionar un medio para difundir los resultados.

5. Evaluación de la eficiencia de la información: se verá reflejada en la calidad de la gestión en los temas de producción, calidad, SISO, y logística. Luego la bondad de las herramientas TIC puede ser validada mediante indicadores KPI.

4.3.2 Implementación de las TIC en los proyectos de construcción. Existen un sin número de paquetes tecnológicos y herramientas de soporte para el control de cada uno de los flujos logísticos en obra; es muy común la utilización de software de control y programación, contabilidad, gestión de materiales, personal, etc. Sin embargo, no es común encontrar en los proyectos de construcción una integración entre los distintos frentes de información, lo cual necesariamente genera pérdidas.

⁴⁶ Datos muy alejados de la tendencia. Este tipo de información por lo general altera el promedio aritmético y la desviación estándar de la muestra.

Como implementar TIC en un proyecto de construcción, como apoyo a un plan logístico?

La implementación de TIC en un proyecto de construcción se inicia con la definición de roles que se plantean en el paso 1 de elaboración del MLP según lo visto en el numeral 4.2.2.1; desde ese instante, en plena fase de concepción y diseño, es necesario identificar los tipos de tecnología a utilizar y efectuar una valoración inicial para evaluar la idoneidad de dichas herramientas durante el desarrollo de la obra. Con las herramientas TIC definidas, se procede a desarrollar el paso 2 de la estructuración del MLP (Sistema de comunicación en el proyecto). De manera que la implementación de TIC en el proyecto de construcción es parte de la estructuración del plan logístico y necesariamente deberá involucrarse en los pasos posteriores del MLP.

4.3.2.1 TIC para el mejoramiento de procesos en la obra. Como se mencionó anteriormente, las TIC deben contribuir para aumentar los niveles de productividad, calidad, SISO y logística. A continuación se identifican los sitios de la obra (Tipología: obra vertical) en donde es conveniente el manejo de tecnologías.

Tabla 46. Sitios convenientes en obra de edificación para la implementación de TIC

Sitios	Responsable uso de TIC
Frentes de Obra	Maestro encargado
Almacén	Almacenista
Planta de Mezclas	Técnico en hormigón
Banco de Acero	Oficial Encargado
Portería	Personal de Seguridad
Zonas de Riesgo	Auxiliar de seguridad
Oficina de Obra	Ingeniero Residente

(Fuente: elaboración propia)

Si la información de cada uno de los sitios se logra transmitir en forma remota (para lo cual se requiere el uso de tecnología) al centro de trabajo del ingeniero residente, y este a su vez transmite esta información a los profesionales encargados de la gestión logística y demás labores administrativas, el flujo logístico de información se agilizaría, favoreciendo los demás flujos logísticos. Es apenas razonable que entre menos intermediarios existan para la transmisión de la información, más eficiente y eficaz serán los manejos internos en la obra.

La definición de roles mencionada, debe tener en cuenta la estructura tentativa propuesta en la tabla 46 Aunque es probable que dependiendo de la efectividad del sistema de comunicación pueda reducirse sustancialmente dicho personal, Sin embargo, es una cantidad razonable para obras que puedan tener más de cien trabajadores en el sitio.

Si bien es cierto que existen periodos definidos por la dirección para el control de recursos y de actividades, el montaje de las tecnologías de información y comunicación facilita la posibilidad de informes en tiempo real. Esta condición es de suma importancia porque permite montar la información en plataformas tecnológicas para favorecer el principio de transparencia que debe darse en la relación Cliente-Contratista. Más adelante se abordará el tema con un poco más de detenimiento.

La gerencia del proyecto requerirá entonces de información al instante para tomar decisiones de carácter contable, financiero, de mercadeo, y todo lo relacionado con la gestión de la obra desde dicho nivel. Con la tecnología con que se cuenta hoy, la información puede viajar vía microondas, por redes alámbricas e inalámbricas con lo cual está a la orden del día las opciones que el proyecto tiene para la transmisión de datos. En el desarrollo de esta investigación se establecerán los principios de la tecnología wi-fi aplicada a la gestión logística de obras de construcción, y el alcance que podría tener al poder integrarse a una plataforma tecnológica para el gremio, reuniendo herramientas de referenciación, gestión integrada de proyectos y registro técnico de materiales e insumos para la construcción.

Tabla 47. Actividades soportadas por herramientas Tecnologías de información

Sitios	Actividades soportadas por TIC			
	Producción	Calidad	SISO	Logística
Frentes de Obra	Cortes de Obra, consumos, control de tenores de obra, generación de vales.	Control de las especificaciones técnicas.	Valoración del riesgo, reporte de accidentes y control de seguridad.	Pedido de materiales, pedido de equipos, solicitud de personal, control de stocks de materiales, control de personal y equipos.
Almacén		Control de calidad de materiales, verificación de condiciones de entrega.		Manejo de inventario, entradas y salidas de material, facturación, ordenes de compra, recepción de material.
Planta de Mezclas	Control de insumos para la producción de hormigón, reporte de metros cúbicos suministrados.	Reporte de ensayos de calidad sobre el material.		
Banco de Acero	Control de insumos para la instalación de acero de refuerzo, reporte de kilogramos consumidos.	Reporte de ensayos de calidad sobre el material.		
Portería				Reporte de entrada y salida de personas, materiales y equipo.
Zonas de Riesgo			Valoración del riesgo, reporte de accidentes y control de seguridad.	
Oficina de Obra	Configuración de la información de todos los sitios de la obra	Configuración de la información de todos los sitios de la obra	Configuración de la información de todos los sitios de la obra	Configuración de la información de todos los sitios de la obra

(Fuente: elaboración propia)

La implementación de TIC en la obra es una prioridad desde la fase de planificación; la necesidad de disminuir tiempos que no agregan valor en actividades como envío de documentos, visado, digitación, generación de documentos, impresión, resumen y rondas de verificación de actividades, radica en que muchos informes o reportes de obra pueden aplazar la toma de decisiones y por consiguiente detener o retrasar las actividades en curso. De ahí que el flujo logístico de información tenga una especial atención en el plan logístico, respaldando sus actividades con TIC.

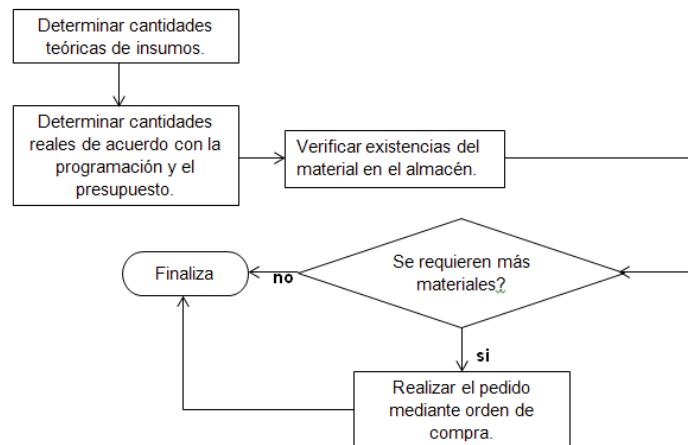
La identificación de procesos en la cadena de suministros de la obra en donde aplica la implementación de TIC se ve en la Tabla 47, citando los sitios en donde es conveniente la utilización de tecnologías de información, sin embargo, es preciso asociar procesos de la cadena de suministros a dichos sitios con el objetivo de optimizar la utilización de la tecnología que se vaya a emplear. El siguiente numeral abordará el proceso de aprovisionamiento de materiales (proceso de compras) y la identificación de los puntos en donde es necesaria la utilización de TIC.

4.3.3. Procesos logísticos y TIC en construcción. No existen diagramas de flujo definitivos para caracterizar un proceso constructivo. Por las razones expuestas en capítulos anteriores se mencionaba que cada obra tiene sus características propias, por lo tanto, los planes logísticos pueden variar dependiendo del comportamiento de las variables que sean tenidas en cuenta para la ejecución del proyecto. A continuación se utilizará un modelo genérico para describir el aprovisionamiento de materiales en obras de edificación e identificar en primera instancia todos los actores de la cadena de suministro sin el uso de las tecnologías de información. Posteriormente, se pretende identificar los puntos de esa cadena, en donde es precisa la implementación de TIC con el objetivo de fortalecer los eslabones principales de la cadena inicial y suprimir aquellos pasos que alargan los procesos de gestión de aprovisionamiento de materiales.

4.3.3.1 El proceso de compras y abastecimiento.

Botero (2008) define el proceso general de compras a partir del siguiente esquema:

Figura 15. Flujograma general para el proceso de compras.



(Fuente: Botero, 2008)

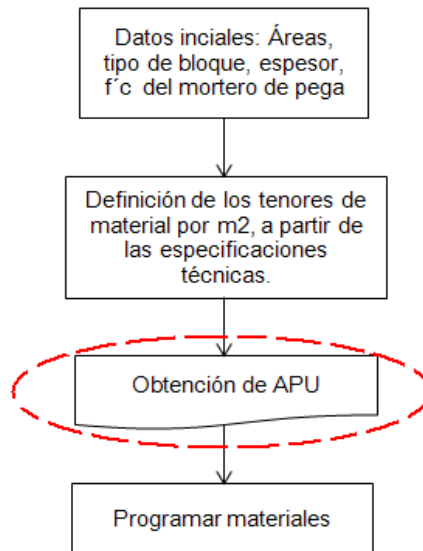
La determinación de las cantidades teóricas iniciales del proyecto está sujeta a la elaboración del presupuesto, a partir de las especificaciones provistas por los planos iniciales. La exactitud con que se determinen estas cantidades dependerá de los análisis de precio unitario APU que implícitamente soportan el presupuesto general (L.F. Botero, 2008). En la figura 15 se establecen las etapas generales para el proceso de compras en el sitio de obra, sin embargo, existen gran cantidad de subprocesos asociados a esta cadena, dependiendo de la actividad que se esté ejecutando, por ejemplo: mampostería de muro divisorio. En el siguiente algoritmo se muestra el proceso completo, así:

Proceso logístico para la actividad de mampostería de un muro divisorio.

El siguiente ejemplo, a pesar de no incluir directamente materiales controlados desde el almacén, es un modelo que puede estandarizarse para el control de materiales de almacén y de patio, respectivamente. El manejo de la gestión de los materiales en la obra debe llevar un lineamiento establecido bajo los conceptos de gestión logística, independiente de la clase de material y su sitio de acopio; esto es factible con aplicaciones TIC que permitan el control de dichos flujos.

Paso 1: determinar las cantidades teóricas de insumos.

Figura 16. Flujograma de despiece para obtención de precios unitarios y programación teórica de materiales para un muro divisorio en mampostería.

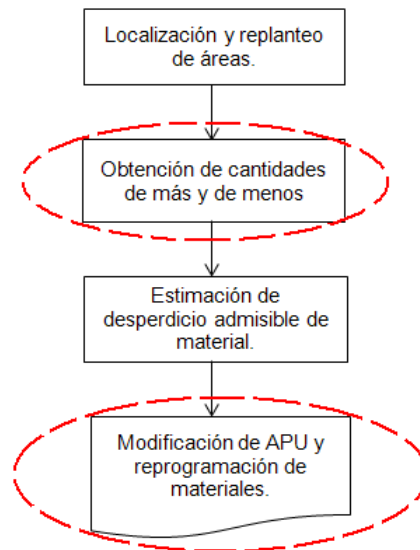


(Fuente: elaboración propia)

Hasta este momento la información inicial ha pasado por tres instancias necesarias para la programación de los pedidos y/o suministro de materiales en la obra. Aunque este proceso puede ser responsabilidad de una sola persona, es probable que por la estructura organizacional del proyecto cada paso sea ejecutado por personas diferentes. Según la definición de roles del paso1 del MLP, le corresponde al equipo administrativo desarrollar esta primera parte de esta cadena de suministros.

Paso 2: determinar cantidades reales de acuerdo con la programación y el presupuesto.

Figura 17. Flujograma para la obtención de cantidades reales de obra



(Fuente: elaboración propia)

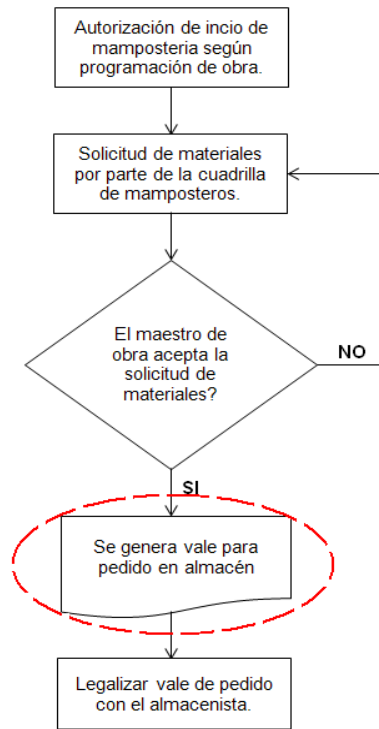
Para esta fase, es el equipo constructor definido en la estructuración del MLP quien se encarga de determinar las variables que afectan el presupuesto inicial que modifican las cantidades de obra, producto de las particularidades que se presentan en el sitio y que no se prevén en la fase de presupuestación del proyecto. En el caso de la mampostería, generalmente las cantidades de obra son muy estáticas a lo largo del proyecto, sin embargo, por solicitud de los clientes pueden variar las divisiones internas, la fachada, etc. Por lo que se debe tener en cuenta los posibles cambios que pueden haber en los requerimientos de ejecución de dicha actividad.

Cualquier cambio en el desarrollo de una actividad constructiva altera la logística de la obra, por lo tanto, se debe contar con herramientas tecnológicas para la transmisión de la información, sin que esta se interrumpa ni mucho menos se modifique. Se puede notar a partir de las gráficas de los flujogramas, los eslabones de la cadena en donde la implementación de TIC jugaría un papel determinante en pro de mejorar la eficiencia en la información.⁴⁷

⁴⁷ Es posible que en muchas de las cadenas de suministros no logren suprimirse pasos con la implementación de TIC, pero si se puede garantizar la reducción de Lead Time-Gap (Ver la figura 2 en el capítulo 4.1).

Paso 2A : Identificación de necesidades y requerimiento de material.

Figura 18. Flujograma para la generación de un pedido desde el frente de obra

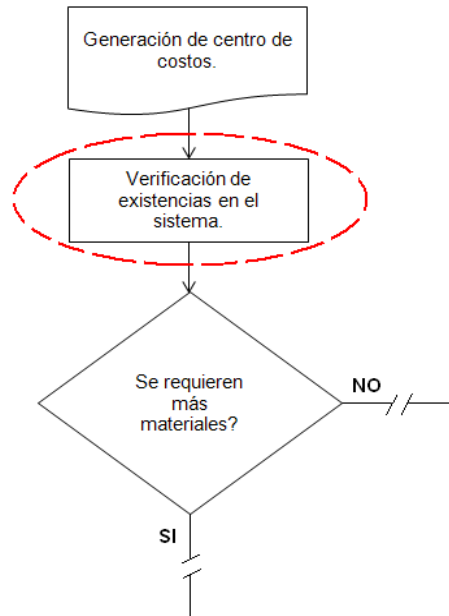


(Fuente: elaboración propia)

De antemano, en el proceso de presupuestación y en la redefinición de las cantidades de obra, la dirección tiene conocimiento de los insumos que van a ser provistos para cada zona y la respectiva fecha en donde se ejecutarán las actividades. Luego, en la implementación del sistema de comunicación al interior de la obra deberá estar definida la forma como se transmite la información entre los diferentes equipos; es probable que algunas veces el ingeniero residente tome la decisión de aceptar o no la solicitud de recursos por parte del frente de obra, sin embargo, lo que se pretende es integrar a los maestros de obra y encargados al funcionamiento del sistema de comunicación propuesto en el MLP. Este proceso es controlado por el equipo constructor.

Paso 3: Verificar existencias del material en el almacén.

Figura 19. Flujograma para la recepción del vale de pedido



(Fuente: elaboración propia)

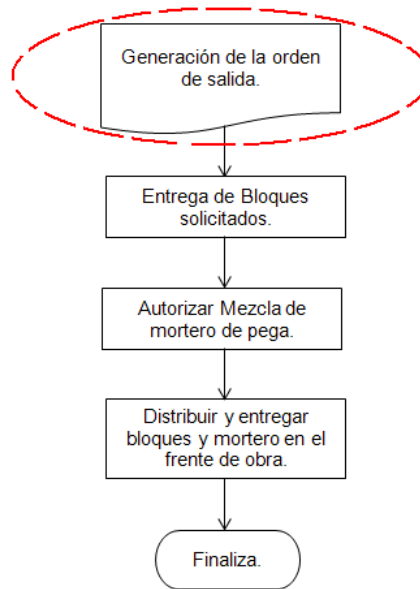
La verificación de existencias en el almacén por parte del equipo de suministros puede volverse tediosa de no contar con un procedimiento sistemático y eficiente para el conteo de material; además puede darse la situación en donde se satisfaga la solicitud de determinado frente de obra sin tener en cuenta que se está haciendo uso del stock de seguridad, lo cual puede afectar directamente la producción de otros frentes que requieran el material con más urgencia.

Se puede notar cómo hasta este punto, el flujo logístico de la información depende de un gran número de personas y procedimientos, por lo que es apenas normal que en las obras de construcción la información llegue distorsionada hasta la gerencia del proyecto; lo cual evidentemente implica la obtención de indicadores de desempeño que no reflejan la realidad de la obra.

En caso de que **NO** se requieran materiales para aprovisionar el almacén:

Paso 3A : Salida de material existente para mampostería.

Figura 20. Flujograma para la entrega de materiales existentes en el almacén



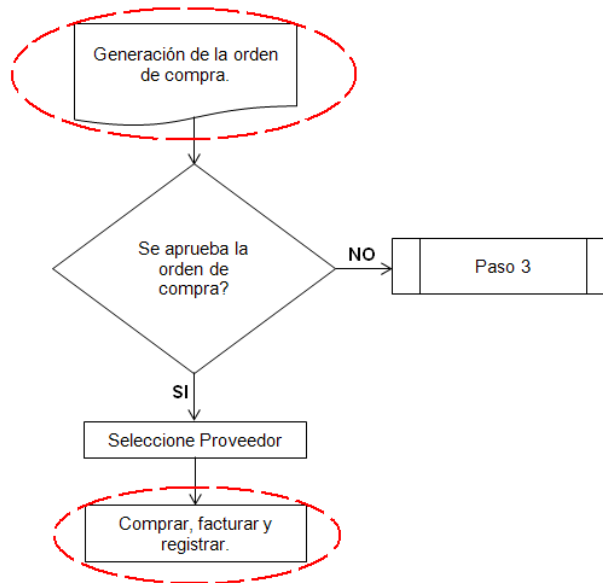
(Fuente: elaboración propia)

En esta etapa de la cadena, el equipo de suministros y el equipo logístico coordinan las actividades necesarias para garantizar la entrega de la mampostería y el mortero para la construcción del muro; el objetivo fundamental es la entrega a tiempo de los insumos teniendo en cuenta que el frente de obra debió solicitar el material con la suficiente anticipación, de tal manera que no se pare la producción. En las etapas de distribución y entrega deberán evaluarse el plan logístico para determinar el tipo de maquinaria necesario para la movilización de la carga y los procedimientos asociados que garanticen la seguridad de las personas encargadas.

Si es **SI**, se requieren más materiales, bien sea porque se está agotando el stock de seguridad o porque hay cero existencias en el inventario, se procede con una orden de compra para aprovisionar el almacén. Esto no necesariamente sugiere parar la producción si las cuadrillas de los diferentes frentes de obra en coordinación con el maestro encargado manejan holguras suficientes para la entrega del pedido.

Paso 4: Realizar el pedido mediante orden de compra.

Figura 21. Flujograma para definir el estado de la compra



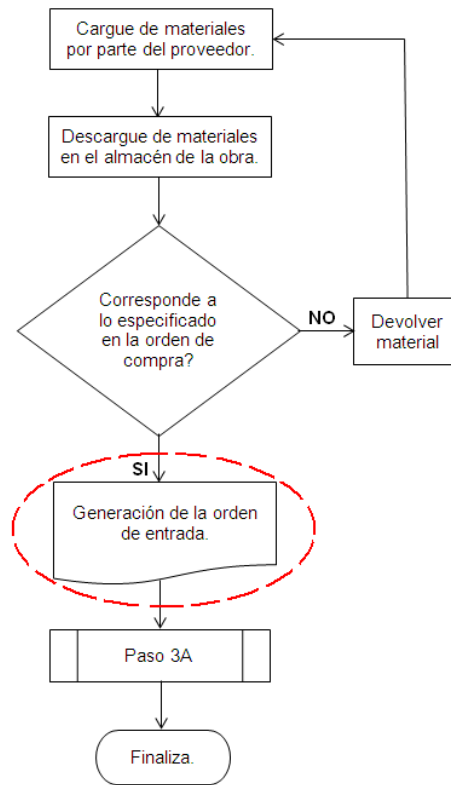
(Fuente: elaboración propia)

El equipo administrativo es quien define si se acepta o no la orden de compra que se genera desde el almacén. Los precios y la variabilidad de los mismos están previstos con anticipación en el presupuesto real de la obra soportado por los requerimientos de materiales inscritos en el paso 3 del ciclo logístico de planificación del MLP, así como también las posibilidades de proveedores titulares, y sustitutos en caso de que los primeros fallen.

La comunicación entre el constructor y los proveedores, independiente de si la compra es centralizada o no, no debe significar un cuello de botella que alargue el proceso de entrega de materiales al almacén; por lo anterior surgen dos necesidades: la inclusión de los proveedores de materiales tipo A y B en el MLP y una coordinación entre los sistemas o mecanismos utilizados para la ejecución del pedido desde la constructora con los sistemas del proveedor. No solo la información voz a voz implica que la gestión del material se maneje con eficiencia, dado que hay factores externos que pueden demorar las entregas.

Paso 5: Recepción y almacenamiento de materiales.

Figura 22. Flujoograma para el aprovisionamiento de almacén y la distribución de material



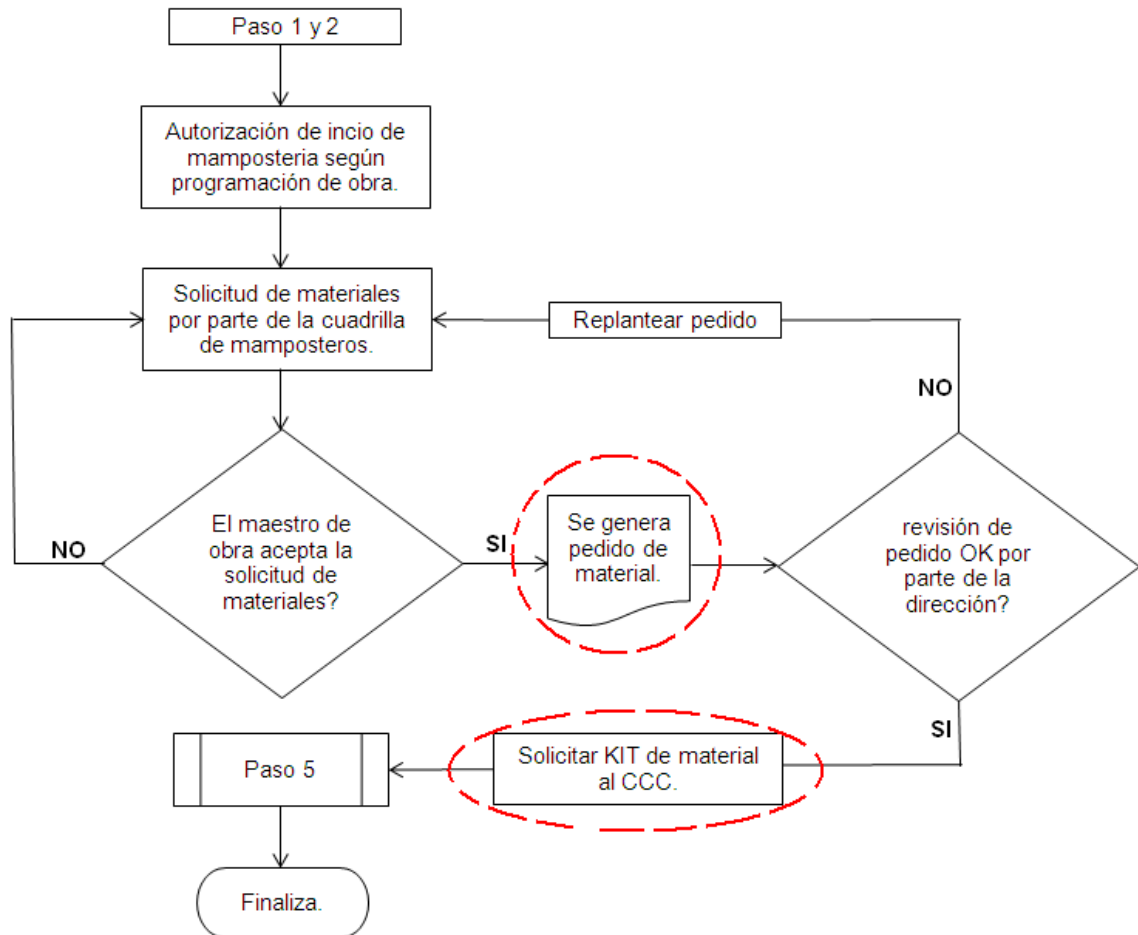
(Fuente: elaboración propia)

El equipo logístico y el equipo de suministro deberán ejecutar los procedimientos establecidos en el plan logístico para las actividades de conteo, descargue, embalaje, almacenamiento, distribución y entrega del material requerido desde el frente de obra. Es claro que la alteración constante del inventario deberá garantizarla el respectivo sistema empleado al interior del almacén.

La estructura de la cadena de suministros para la construcción de un muro de mampostería es fundamentada en procedimientos tradicionales de almacén; sin embargo, no aplica para un proyecto que maneje la estructura de CCC vista en el numeral 4.2.2.2.

Proyecto aprovisionado mediante CCC.

Figura 23. Flujoograma de aprovisionamiento de material mediante modelo de CCC



(Fuente: elaboración propia)

Es evidente que el aprovisionamiento de la obra mediante un CCC reduce significativamente el Lead Time-GAP. Sin lugar a dudas el manejo de obra mediante este modelo implica modificar la estructura contable, financiera y logística de la obra; lo cual se logra mediante la implementación de tecnologías que garanticen una correcta captura, configuración, administración y control de datos según las fases por las que pasa la información a lo largo de los procesos constructivos.

A continuación un cuadro comparativo entre ambos modelos, en donde se obtiene el conteo de procedimientos mínimos para la gestión de la actividad constructiva. Cabe aclarar que este cuadro no es válido para comparar el Lead Time-GAP.

Tabla 48. Comparación descriptiva entre modelo tradicional y CCC

ITEMS	Modelo tradicional con almacén aprovisionado	Modelo tradicional sin almacén aprovisionado	Modelo CCC
Procesos	13	17	14
Documentos	5	7	5
Toma de decisiones	2	4	3
Posibles reprocesos	2	4	3

(Fuente: elaboración propia)

En los procesos logísticos anteriores se identificaron puntos (procesos o generación de documentos) en la cadena de suministro, en donde es necesario implementar TIC para agilizar procesos que por lo general están ligados a procedimientos dispendiosos que dependen de la gestión de una o varias de las dependencias de la organización del proyecto. Los puntos susceptibles de mejora son:

- Generación de vales y pedidos.
- Verificación de existencias en CCC o almacén de obra.
- Generación de órdenes de entrada y salida.
- Generación de órdenes de compra.
- Compras, facturas y registros.
- Solicitud de Kit de materiales.

La intención es que estos procedimientos y reportes, se efectúen y generen, respectivamente, al instante (duración cero), una vez utilizada la TIC⁴⁸. Para esto deben estar integrados los sistemas tradicionales a la herramienta logística que permita la interacción solidaria de las partes de contabilidad, almacén, personal, finanzas, seguridad, entre otros. Una vez más, se recuerda la importancia de contar con los proveedores principales en el montaje y operación del plan logístico.

Se puede hacer el mismo análisis para distintos materiales, en distintas actividades en donde se requiera estandarizar los procesos para la logística interna y externa. Pero no solo los diagramas de flujo sirven para representar el suministro de recursos al interior de la obra; a continuación se mencionan varias metodologías para distintos materiales cuyos escenarios logísticos son diferentes.

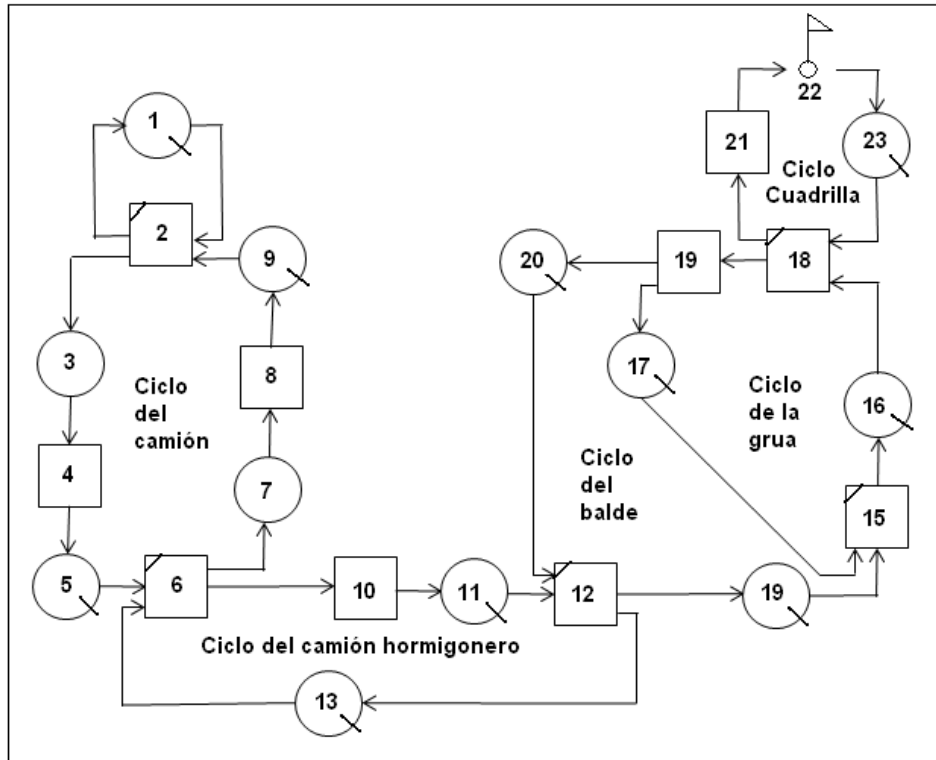
⁴⁸ Supóngase que la duración de los procedimientos y reportes contabilizados en la tabla 48 tengan cada uno una duración unitaria de tiempo. Si se plantea que con la utilización de TIC se reduce a cero la duración de cada actividad, se tiene que para el modelo CCC se pasaría de emplear 25 unidades de tiempo a CERO unidades de tiempo en la gestión de la información.

4.3.3.2 Interacción constructor - proveedor en actividad de vaciado de hormigón premezclado. La logística para actividades de vaciado de hormigón premezclado para grandes superficies requiere de sincronización entre los tiempos programados en obra y los de la planta productora de la mezcla. Las características estructurales de muchas de las obras requieren vaciados continuos (sin interrupciones abruptas) en donde no es conveniente el retraso de los camiones hormigoneros, lo que implica el empleo de aditivos y adiciones de más en la mezcla y en la superficie de contacto, incrementando los costos en cuanto a material, sin contar las horas extras del personal empleado en la actividad.

Este tipo de actividades, que tienen un altísimo nivel de repetitividad, requieren de una planificación mediante diagramas de flujos que permitan identificar con mayor claridad los posibles cuellos de botella. La implementación de TIC garantizaría que los pedidos se hicieran en forma sistemática, así como también es posible introducir el concepto de trazabilidad⁴⁹ del material para el correspondiente seguimiento. Con la información obtenida para un proceso de estos se podrían hacer simulaciones que permitan para proyectos futuros o para el mismo proyecto, tomar decisiones en cuanto a la estructuración de la cadena de suministro del material en cuestión. Por lo tanto, la simulación y la investigación de operaciones logísticas son imprescindibles para cualquier tipo de modelo logístico que se quiera implementar en el flujo de materiales tipo A o B.

⁴⁹ Definición DRAE. Trazabilidad: 1. f. Posibilidad de identificar el origen y las diferentes etapas de un proceso de producción y distribución de bienes de consumo. 2. f. Reflejo documental de estas etapas.







Figura 24. Diagrama de flujo de red para la simulación de actividad de vaciado de hormigón.



(Fuente: D.W. Halpin Et. al, 1992)

La figura 24 representa una cadena de suministro para el vaciado de una estructura de hormigón premezclado, colocado en sitio a través del sistema grúa - balde. Esta estructura consta de una sucesión de ciclos, compuestos cada uno por una serie de procesos que se pueden medir, calificar, y controlar. La definición de cada uno de los nodos se hace a continuación:

Figura 25. Convención de nodos para simulación en cyclone

	COMBI		QUEUE		ARC
	NORMAL		FUNCTION		Accumulator

(Fuente: D.W. Halpin Et. al, 1992)

Combi (combinación): este nudo requiere que todos los recursos estén disponibles, se combinan dos o más actividades. Siempre está precedido por elementos de espera.

Normal: son tareas que pueden comenzar tan pronto llegue una unidad, si espera alguna.

Queue (espera): preceden a todos los nodos combi, y se refiere a una ubicación en la cual se esperan los elementos a combinar.

Function (función): funciones especiales, como conteo, acopio, registros.

Accumulator (acumulador): elemento de conteo de ciclos.

Arc (flecha): sentido del flujo.

Descripción de los nodos:

Nodo Queue 1: disponibilidad del sitio de tolva de material

Nodo Combi 2: cargue de camiones con material.

Nodo Function 3: control del material cargado, previo a envío de material.

Nodo Normal 4: desplazamiento del material hacia la zona de mezclas.

Nodo Queue 5: espera de los camiones previo al descargue d material en la mesa de mezclas.

Nodo Combi 6: conversión de mezcla seca (materiales iniciales) a mezcla húmeda (Hormigón).

Nodo Function 7: control de camiones que regresan a la planta de materiales.

Nodo Normal 8: retorno de camiones.

Nodo Queue 9: espera de camiones para carga de materiales (precede combi 2).

Hasta el momento se ha descrito el ciclo de los camiones que aprovisionan el carro hormigonero (mixer); se sigue con el ciclo de mezcla a través del mixer, así:

Nodo Normal 10: mezcla en carro hormigonero.

Nodo Queue 11: espera de camión hormigonero, previo a descarga de la mezcla.

Nodo Combi 12: descarga del hormigón y llenado del balde.

Nodo Queue 13: espera de carros hormigoneros.

Superada la etapa de aprovisionamiento y descargue del hormigón, continúan los ciclos del balde y la grúa, para la distribución y entrega del material:

Nodo Queue 19: espera del balde lleno

Nodo Combi 15: oscilación de la grúa (puede operar con uno o más baldes) y cargue de baldes.

Nodo Queue 15: espera del balde lleno listo para vaciar.

Nodo Normal 19: retorno de la grúa.

Nodo Queue 17: nodo redundante, de espera, en caso de que se opere con más de un balde. Representa la disponibilidad de grúa.

Nodo Queue 20: espera de balde disponible antes de recibir más mezcla.

Finalmente, para culminar el proceso completo, se describe el ciclo de la cuadrilla:

Nodo Normal 21: Actividades de vaciado, vibrado y alistado del hormigón.

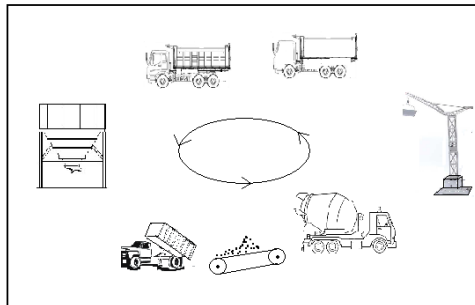
Nodo Accumulator 22: fin del ciclo.

Nodo Queue 23: Cuadrilla en espera.

Se puede ver entonces, como es posible representar de varias formas la cadena de suministro de los materiales de la obra. En la descripción anterior se detalló rigurosamente cada uno de los procesos inherentes a la actividad de vaciado, de hecho, con la simulación de operaciones se podrían estimar los valores más apropiados para el ciclo logístico completo, imprimiéndole valores de corte probabilístico a la programación y al presupuesto del proyecto. Cada punto de la cadena de suministros es susceptible de control; dependiendo de la estructura del MLP se podría evaluar cuál de esos puntos puede ser soportado por TIC. Un ejemplo útil para este esquema es el control y registro de materiales pétreos en el "nodo function 3" mediante TIC, integrando dicha información con el almacén de la planta de mezclas. Dicha información podría verificarse con los volúmenes históricos de las tolvas en donde se contiene dicho material.

En el llenado de los baldes también es posible controlar las cantidades de hormigón suministrado y comparar la información con los valores teóricos solicitados en la orden de compra inicial. Otra forma menos rigurosa de representar el ciclo general de esta actividad, se puede observar en la figura 26 Aunque dicha representación apenas sirve para comprender el proceso e identificar los roles en la cadena de suministro del material.

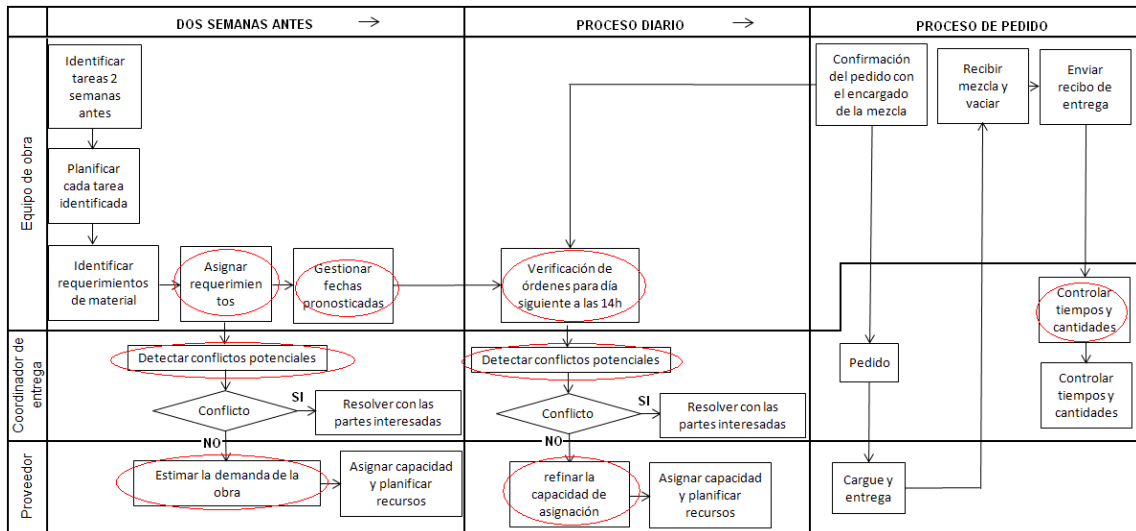
Figura 26. Representación gráfica del ciclo de vaciado



(Fuente: elaboración propia)

Por otro lado, O'Brien et al. (2009) identifica en la figura 26a los puntos del proceso de aprovisionamiento que pueden ser controlados en tiempo real, al mismo tiempo identifica tres grupos responsables del soporte logístico para la entrega en el sitio de construcción del material. De esta forma los proveedores, intermediarios, transportadores y constructores, sincronizan el *lead time* de pedido, inclusive con dos semanas de anticipación, aplicando principios de planificación intermedia.

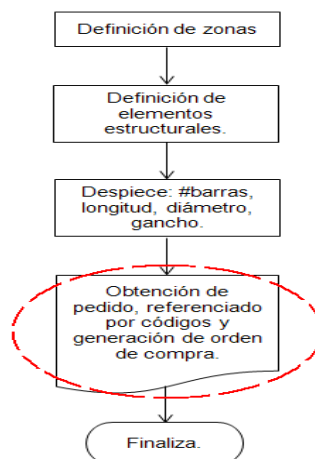
Figura 26a. Proceso de pedido del concreto



(Fuente: O'BRIAN et al. 2009:7-15)

4.3.3.3 Proceso de gestión del acero de refuerzo figurado. La logística en cuanto a la gestión de materiales como el acero figurado, implica un alto nivel de precisión dado las especificaciones, igualmente precisas, que se citan en los planos estructurales. Actualmente existen TIC especializadas para la gestión de estos pedidos, en donde la relación constructor – proveedor es directa y sin intermediarios. El procedimiento estándar para el trámite de un pedido sería como se describe en la figura 27.


Figura 27. Flujo para la generación de un pedido de acero de refuerzo figurado



(Fuente: elaboración propia)

El flujograma anterior implica el manejo de información muy detallada y que debe ser procesada de tal manera que no se generen inconsistencias en la asignación de los recursos en las diferentes zonas en donde se pretende usar el material. La estructura general de los formatos generados por un TIC de esta naturaleza se muestra a continuación:

Tabla 49. Estructura general de despiece

Esquema de la barra	Cantidad	Diámetro	Longitud	Elemento estructural
	9	5/8"	10,4m	Viga E-7

(Fuente: elaboración propia)

Tabla 50. Consolidación del pedido por peso y registro correspondiente

Referencia	diámetro	Fy (Mpa)	Longitud (m)	Peso (kg)
5432	5/8"	420	93,6	145,08

(Fuente: elaboración propia)

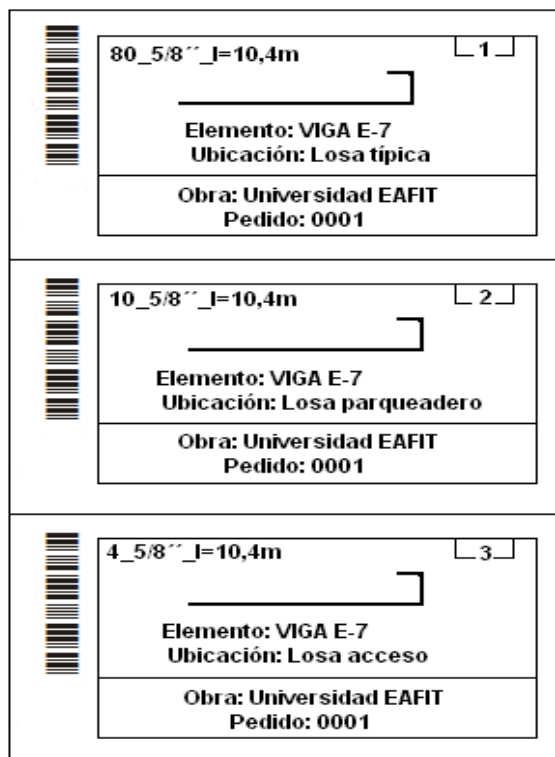
Tabla 51. Ubicación de elementos por zonas

Elemento / Zona	Losa típica	Losa Parqueadero	Losa piso acceso
Viga E-7	80	10	4

(Fuente: elaboración propia)

La sistematización anterior, genera pedidos que llegan a la obra con la siguiente identificación:

Figura 28. Control de inventario por código de barras



(Fuente: elaboración propia)

El registro con códigos de barras agiliza los procesos de control de inventarios en el almacén o en el centro de distribución, según sea el caso. Igual a como se plantea en la figura 28 se podría solicitar que por losa se genere un registro para el respectivo elemento estructural. Con este sistema es posible que desde el banco de acero de la obra se transmita la información directamente a la base de datos del almacén, encargado de llevar la contabilidad. Una TIC de esta naturaleza⁵⁰ también permite la interacción de los pedidos con la programación de obra, sincronizando los pedidos del acero por zonas con lo programado por la dirección.

Con la descripción de los procesos logísticos anteriores, se pretende establecer los criterios que permiten controlar y optimizar la cadena de suministro, en donde además del control del flujo logístico de materiales, también se tuvo en cuenta la organización de los procesos inherentes a las actividades de la obra, lo que implica involucrar los cuatro flujos logísticos restantes (personal, información y equipos).

⁵⁰ Se puede tomar como referencia el software DL-NET desarrollado por el ingeniero colombiano Oscar Betancurt Marín. Empresa: Diseño de soluciones E.U.

En el siguiente capítulo se abordará en forma más puntual las pautas iniciales para la implementación real de un software de logística interna que permita controlar el flujo de materiales en la obra, así como también asuma el control del personal que dispone de dichos recursos; se pretende, por ejemplo, que los procesos señalados con la línea roja punteada, sean procesos soportados por esta tecnología, lo que implica una serie de cambios en la mentalidad y en la organización de las empresas constructoras colombianas, escenario en donde se llevará a cabo la implementación del modelo.

4.3.4 Valoración y acople de software de logística interna y de software ERP (Planificadores de recursos empresariales) para el manejo de los flujos logísticos en obra.

En estas instancias es preciso buscar herramientas TIC que faciliten las labores de administración y control de cualquier estructura de MLP que se plantee al interior de la obra, por lo tanto se introducirán las características de un software idóneo para tal fin, y la posibilidad de acoplar dicha información a los planificadores de recursos empresariales.

4.3.4.1 Software de logística interna “Logística wi-fi”. Logística wi-fi es “un software especializado diseñado para realizar vales de consumo desde los distintos frentes de trabajo a la bodega de la obra, mediante el uso de dispositivos móviles (PDA) que se comunican con bodega a través de una red inalámbrica (wi-fi).” (Fuente: <http://www.logisticacdt.cl>)

La propuesta chilena, desarrollada por la CDT (Corporación de desarrollo tecnológico) es una TIC enfocada en los procesos logísticos de aprovisionamiento que se manejan en la relación frente de obra – almacén de obra, conformada por los siguientes procesos⁵¹:

- Planificación.
- Abastecimiento.
- Recepción.
- Salidas.
- Distribución.
- Administración.

Proceso de planificación: el sistema permite introducir la lista total de materiales a utilizar en el desarrollo de la obra, permitiendo modificaciones producto del replanteo de cantidades.

⁵¹ Ver: CDT, Proyecto logística wi-fi. (2006). “Informe situación nacional de la gestión logística en obras de construcción.”

Proceso de abastecimiento: se agiliza el proceso de orden de compra o solicitud de pedidos al almacén, utilizando dispositivos móviles (PDA) directamente desde el frente de obra y generando los registros en forma automática, una vez detectada la necesidad de material. Adicionalmente se puede conocer desde el sitio de trabajo la disponibilidad de stock, lo que facilita la programación de la cuadrilla.

Proceso de recepción: la información está disponible en línea desde el frente de trabajo, posibilitando verificar las existencias disponibles en tiempo real.

Proceso de salida: la salida de materiales se genera mediante el sistema wi-fi, lo que facilita el flujo de materiales, eliminando las esperas del pedido. El ajuste de inventario, una vez sale el material del almacén, es automático.

Proceso de distribución: con la generación inmediata de vales de salida se controla la distribución de materiales que salen del almacén; también se puede controlar la distribución de materiales acopiados fuera de este generando un registro previo antes de la utilización de dicho material.

Administración del almacén: automatiza la contabilidad del almacén, controlando entradas y salidas, así como también la verificación de existencias.

Los indicadores logísticos para logística wi-fi complementan lo expuesto en 4.2.4.2 en donde se hacía énfasis en la necesidad de introducir indicadores para medir el lead time y para medir el desempeño de la gestión de materiales. A continuación se citan uno a uno los indicadores.

Indicadores Logística wi-fi. (CDT,2010)

Pedidos de compra urgente:

$$\frac{\#Solicitudes\ de\ compra\ urgente}{\#Total\ de\ solicitudes\ de\ compra} \times 100\%$$

Pedido de compras rechazado:

$$\frac{\#Pedidos\ de\ compra\ rechazados}{\#Total\ de\ pedidos\ de\ compra\ emitidos} \times 100\%$$

Vales de consumos rechazados:

$$\frac{\#Vales\ de\ consumo\ rechazados}{\#Total\ de\ vales\ de\ consumo} \times 100\%$$

Sobreconsumo:

$$\frac{\#Vales\ de\ sobreconsumo\ aprobados}{\#Total\ de\ vales\ aprobados} \times 100\%$$

Consumo de recurso respecto a inventario:

$$\frac{Inventario\ en\ Almacén - Cantidad\ consumida}{Cantidad\ Consumida} \times 100\%$$

Rotura de Inventario:

$$\frac{\#Rotura\ de\ inventario + \#Entregas\ incompletas}{\#Total\ de\ entregas} \times 100\%$$

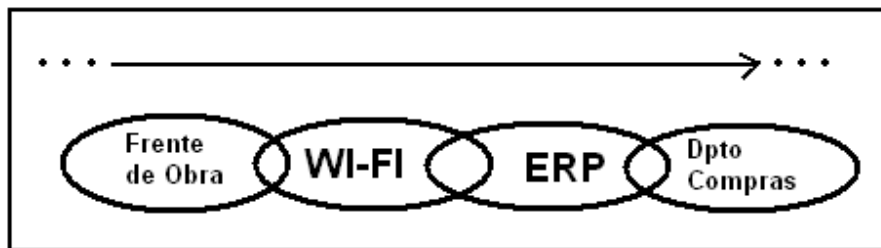
En el desarrollo del marco práctico se pretende implementar este sistema en una obra piloto en la ciudad de Medellín (Colombia); por lo tanto, más adelante se abordará en detalle el contenido de las herramientas que componen el software Logística wi-fi. La implementación de esta TIC deberá ir acompañada de mediciones de productividad que soporten la bondad de dicha herramienta; también deberá complementarse con el análisis de varias cadenas de suministro de diferentes materiales, al interior de la obra, y modeladas con tiempos de ciclo que deberán aproximarse a los tiempos logísticos estimados en la programación real.

4.3.4.2 Software ERP como complemento de la gestión logística en la obra. Los ERP (planificador de recursos empresariales) son paquetes de software que sirven para administrar los recursos de la obra, integrando las áreas de contabilidad, finanzas, logística, producción y calidad, entre otros. El nivel de interrelación entre estas dependencias lo define la gerencia de la empresa encargada de la ejecución del proyecto, dependiendo de las necesidades que se detecten desde la fase de planificación.

En Colombia, es muy común el uso de software como SINCO, SAO, OPUS, inclusive SAP (utilizado por grandes constructores) cuyo objetivo principal es el control de existencias en almacén y la generación de órdenes de compras y todo lo concerniente a facturación y registro de movimientos comerciales. Otra aplicación, igualmente importante, es el control de los pagos de la seguridad social de los trabajadores, y en general los parafiscales asociados, que son obligación del contratista.

Tal como se planteaba en los flujos logísticos expuestos anteriormente, la idea de consolidar la información a partir de TIC y de suprimir actividades de gestión logrando así la reducción del lead time-gap, se logra acoplando el software de gestión logística con el software ERP, de esta manera se puede garantizar que los pedidos se hagan en forma remota y sin la intermediación de varios agentes de control que redundan información y demoran las solicitudes de abastecimiento a la obra.

Figura 29. Estructura de acople logística wi-fi – ERP en la cadena de suministros



(Fuente: elaboración propia)

La figura 29 implica la introducción del concepto de almacén como un centro utilizado exclusivamente para la distribución. El almacén de la obra debe entenderse como un sitio para la entrada y salida constante de materiales o kit de materiales, de mínimo almacenamiento, procurando satisfacer las premisas esenciales planteadas en la filosofía JIT expuesta en el capítulo 4.1.4.

Sin el acople con el paquete ERP, “Logística wi-fi” no deja de ser una base de datos para la verificación de existencias, por lo tanto, su implementación es exitosa en la medida en que se complemente el sistema con la planificación semanal e intermedia (*Last Planner*) y con las demás dependencias contables y financieras del proyecto. El valor agregado de comunicación mediante dispositivos móviles (PDA) es efectivo si se puede garantizar una conexión con el ERP para generar registros y órdenes directamente desde el frente de obra.

Toda la teoría que hasta el momento se ha trabajado para la consolidación del marco de referencia, y como parte fundamental del estado del arte de la gestión logística en el sector de la construcción, se puede validar a partir de la experiencia registrada de distintas constructoras en proyectos exitosos que tuvieron como premisa la operación de sus procesos bajo conceptos de gestión logística. A continuación se citan casos de estudio a nivel mundial en donde se evidencian las bondades de la implementación y buenas prácticas del MLP y la utilización de tecnologías para soportar la planificación logística.

4.4 REFERENCIA INTERNACIONAL DE GESTIÓN LOGÍSTICA EN CONSTRUCCIÓN

La gestión logística en el sector de la construcción ha ido evolucionando a partir del desarrollo de los materiales que se manejan en las obras y las nuevas tecnologías que surgen para el desarrollo de los procesos constructivos; prueba de lo anterior es el aumento significativo de las tasas de producción soportadas en nuevas técnicas de planificación, y en general, producto de la aparición de nuevas tecnologías duras y blandas en pro del mejoramiento del sector.

Los países más desarrollados son quienes llevan la delantera en la implementación de planes logísticos eficientes que integran los conceptos que hasta el momento se han abordado. Países como Inglaterra, Estados Unidos, Finlandia, entre otros, han adoptado el modelo *LEAN CONSTRUCTION* para aumentar sus niveles de productividad. En Suramérica, Brasil y Chile son pioneros en el tema logístico.

A continuación se abordan varios casos de estudio en donde se exponen los resultados de implementación del plan logístico para el flujo de recursos en la obra.

4.4.1 Casos de aplicación en el Reino Unido. Se comenzará por describir los resultados de la aplicación del MLP en varias obras ejecutadas en el Reino Unido. Posteriormente se abordará en detalle un caso práctico en donde se puntualizará sobre los conceptos técnicos para la elaboración y puesta en marcha de un plan logístico para una obra de construcción de infraestructura (HARKER, 2007).

Nombre del proyecto: "Bow Bell House"

Ubicación: Lóndres, UK.

Periodo de construcción: 2005-2007

Valor: £ 55'000.000.00

Constructor: Bovis Lend Lease.⁵²

Diseño arquitectónico: David Walker Architects⁵³

Descripción: demolición y reconstrucción de edificio de 8 pisos para oficinas. Con un área total de 16.730m² construidos.

⁵² Véase <http://www.bovislendlease.com/>

⁵³ Véase <http://www.dwarchitects.co.uk/>

Características de la implementación del MLP.

- El plan logístico integral, que se implementó desde las fases de diseño, se pensó para que se cumpliera de forma obligatoria por todos los subcontratistas, bajo la modalidad de aprovisionamiento de materiales mediante CCC (centro de abastecimiento), excepto para el acero estructural. Lo anterior fue una solución a las restricciones de entrega que presentaba el sitio de obra; que se encontraba en pleno centro de la ciudad y con otra obra vecina.
- En cuanto a los desperdicios de material, se fijaron las siguientes metas (indicadores), las cuales se alcanzaron con éxito: reducción en un 30% del material de desperdicio respecto a proyectos anteriores basado en un punto de referencia de obtener menos de 10m³ de desperdicio por cada cien mil libras gastadas.
- Manejo de materiales por Kit, empacados y transportados por un tercero desde el CCC hasta el sitio de trabajo, en el frente de obra.
- Materiales cargados y puestos en sitio por la noche, para la actividad del día siguiente. (Lo cual implica una relación directa de cooperación industriales-construtores).
- Trabajo con piezas prefabricadas (herramienta logística) para el revestimiento con piedra portland.
- Dedicación exclusiva de un equipo de logística, pendiente de la NO acumulación de inventarios.
- Las buenas prácticas de ingeniería permitieron un ahorro de £1'000.000.00 respecto al presupuesto inicial.

Nombre del proyecto: "51 Lime Street" (The Willis tower)

Ubicación: Londres, UK.

Periodo de construcción: 2004-2007.

Valor: £130'000.000.00

Constructor: Mace Group.⁵⁴

Diseño arquitectónico: Sir Norman Foster. Foster + Partners⁵⁵

Diseño estructural: Ramboll Group

Descripción: torre comercial de 28 pisos (la cuarta edificación más alta de Londres) con capacidad para 2200 personas aproximadamente y un área construida de 128.000m².

⁵⁴ <http://www.macegroup.com/projects/project-library/51-lime-street>

⁵⁵ <http://www.fosterandpartners.com/Projects/1147/Default.aspx>

Características de la implementación del MLP.

- Entrada de materiales a través de un único punto de acceso.
- Todas las entregas de material corresponden a pre acuerdos con los proveedores y están previamente programadas en el plan logístico.
- Las áreas de trabajo se aprovisionan diariamente, por lo que el flujo de materiales es constante.
- Aseo diario de los puestos de trabajo, lo que facilita las labores de reciclaje. Que fueron superior hasta en un 50% respecto del promedio de reciclaje que maneja la empresa encargada de la construcción.

Nombre del proyecto: BAA Heathrow Terminal 5

Ubicación: Lóndres, UK.

Periodo de construcción: 2002-2008.

Valor: £ 4,3 Billones.

Constructor: Laing O'Rourke⁵⁶

Ingeniería civil: Arup⁵⁷ (en superficie), Mott MacDonald (subestructuras)

Diseño arquitectónico: Richard Rogers Partnership

Descripción: extensión del sistema de terminales áreas de Londres con un área total de 371.520m² construidos, de los cuales 353.020m² fueron destinados a zonas de embarque y 18.500m² a zonas comerciales.

Características de la implementación del MLP.

- Planificación de actividades con seis semanas de anticipación (Last planner)
- Se utilizó un único punto de contacto para la entrega de materiales (centro logístico de abastecimiento de "Colnbrook" en obra).
- Todos los contratistas y subcontratistas tenían acceso a la base de datos para verificar existencias de almacén, teniendo la posibilidad de conocer los proveedores, las cantidades y las fechas en que sería aprovisionado el centro logístico.
- Las entregas de material se hacen directamente al frente de trabajo.
- Todos los días se publica por la tarde un informe de seguridad.

⁵⁶ <http://www.laingorourke.com/Sectors/Pages/Home.aspx>

⁵⁷ http://www.arup.com/Projects/Heathrow_Terminal_5.aspx

- Todos los días se publica las entregas de material para el día siguiente.
- Se estima que el hecho de practicar este tipo programación, significó un ahorro del 2,5% del valor total inicialmente presupuestado.
- Las medidas JIT empleadas en la obra, aumentaron la productividad entre un 20% y un 25% respecto a la construcción tradicional de la región (benchmarking).

Nombre del proyecto: remodelación de “Unilever House”

Ubicación: Blackfriars, Londres, UK.

Periodo de construcción y rehabilitación: 2004-2007

Valor: £ 90'000.000.oo

Constructor: Kohn Pedersen Fox Associates.⁵⁸

Diseño arquitectónico: Sir John Burnet & Partners.

Descripción: construcción y rehabilitación de edificio histórico de la ciudad, destinado para salas de conferencias, oficinas y espacios públicos, para un total de 36.000m².

Características de la implementación del MLP.

- Utilización de un centro logístico para el abastecimiento de materiales (centro Bermondsey).
- Las políticas de ahorro de material, significaron la devolución de £ 200.000.oo al centro de abastecimiento.
- 76% del material de desperdicio, fue reciclado o reutilizado.
- Los materiales reciclados fueron llevados al centro de abastecimiento CCC.
- El equipo logístico entrenó con capacitaciones a los subcontratistas en el desarrollo de las obras.
- Se manejaba el principio de transparencia y todos los procedimientos del MLP eran públicos.
- Alistamiento de kits de materiales directamente en el frente de obra.

Nombre del proyecto: Project Hal

Ubicación: Broxbourne, UK.

Año de terminación: 2007

Valor: £ 190'000.000.oo

Constructor: Carillion plc.

⁵⁸ <http://www.kpf.com/project.asp?R=3&ID=62>

Descripción: construcción de un nuevo centro de impresión para la agencia “news international” de unos 87.000m² aproximadamente.

Características de la implementación del MLP.

- Estrategia logística para el acopio de materiales en un máximo de tres días, después de dicho plazo, se renueva el stock. Lo anterior permitió reducir al mínimo las áreas de almacenamiento.
- El equipo logístico contaba con un grupo especializado para mover el material que iba ingresando al proyecto, descargándolo directamente en el frente de obra.
- Reuniones diarias con los contactos de proveedores, para coordinar la entrega del día siguiente.

4.4.1.1 Estudio del caso “BAA Heathrow Terminal 5”.

Descripción de la infraestructura a desarrollar.

“BAA Heathrow Terminal 5” tuvo un valor de £ 4,3 Billones, planificado inicialmente para un periodo de 5 años de construcción, 60 plataformas para aviones, 2 edificios principales, una torre de control, 4000 nuevos sitios para parqueaderos, 600 habitaciones para un hotel al interior de la terminal, vías de acceso y conexión a la autopista M25, entre otras obras. (SULLIVAN et. al, 2010)

El concepto fundamental del MLP fue el manejo de recursos a partir de la centralización en el aprovisionamiento, es decir, la utilización de un CCC o centro de abastecimiento; en donde se programaron los materiales con una frecuencia diaria, controlando cantidades a enviar, transporte, destinatarios y zonas dentro del proyecto, así como la recepción del material. Lo anterior manipulado mediante TIC al alcance de los contratistas principales y subcontratistas.

Imagen 1. Obra “Heathrow Terminal 5”



(Fuente: SULLIVAN, et. Al, 2010)

Centro de abastecimiento de Londres (London Construction Consolidation Center, LCCC)

El LCCC nace a partir de 2005 como resultado de los adelantos en las obras de “BAA Heathrow Terminal 5” y un trabajo de consolidación conjunto de la firma de logística Wilson James, quien en adelante administraría el centro; y las empresas Transport for London, Stanhope y Bovis Lend Lease. Dicho centro de abastecimiento también fue determinante para el aprovisionamiento de tres proyectos claves que se venían adelantando en la ciudad de Londres.

Si se retoman los conceptos vistos en el numeral 4.1.2.3 sobre modelos de producción, se puede notar como el LCCC representa un sistema de producción *Pull* en donde la producción es jalonada por la programación diaria demandada por el cliente, lo cual evidentemente favorece la filosofía del JIT, puesto que con un modelo de aprovisionamiento diario en este tipo de proyectos, se pueden reducir notablemente la acumulación inoficiosa de inventarios.

Es importante mencionar, según lo cita HARKER (2007), las cifras significativas y las principales ventajas en la utilización del LCCC como herramienta logística del MLP del proyecto:

- Reducción de material de desperdicio en un 15%.
- Un 95% de efectividad en la entrega total de los materiales, es decir, entregas que solo se efectuaron una vez y no generaron reprocesos en transporte o devoluciones.
- Reciclaje de materiales con posibilidad de retorno al LCCC.
- En promedio, cada proveedor ahorró 2 horas de viaje, por viaje; por el solo hecho de proveer el LCCC en vez de ir directamente al sitio de construcción.
- Se redujo en un 30% la entrada de vehículos, a la ciudad de Londres, proveedores de insumos para la construcción; dado la magnitud de las obras que atendió el LCCC.
- Se redujo en un 75% las emisiones de CO2 en la obra.
- La manipulación de los materiales fue sistematizada, con procedimientos estándar por rutas y sitios específicos para el almacenamiento, equipos para carga especializados, entre otros, lo que permite que las devoluciones por rotura o imperfectos sean mínimas.
- Se reducen y/o eliminan tareas administrativas y de gestión que desvían los objetivos fundamentales de los contratistas principales y los subcontratistas.

Gestión logística para la construcción de Heathrow Terminal 5.

La recepción de los materiales se efectuó en un único punto logístico (Colnbrook Logistics Centre); sitio donde convergían las cuadrillas logísticas para el respectivo cargue y distribución a los frentes. Para evitar congestión en Colnbrook logistics centre, cada contratista contaba con acceso al software logístico para acceder a la información de horarios y cantidades con que se aprovisionaba el sitio, tal como se había mencionado con anterioridad. A continuación se citan las variables principales tenidas en cuenta para el desarrollo logístico de la obra:

- Sitios de acumulación de inventario temporal.
- Ubicación de equipos de carga (transporte vertical y horizontal).
- Ubicación de 40 zonas de descarga seguras.
- Programación de entrega de herramientas.
- Identificación de los puntos que requieren suministro temporal de energía eléctrica y evacuación de aguas residuales.
- Accesos temporales (andamios, escaleras fijas y móviles).

- Puntos clave para la señalización de seguridad industrial y ocupacional.
- Ubicación de puntos de atención de primeros auxilios.
- Rutas de evacuación y circulación de personas y materiales.
- Grupo logístico de 160 personas.
- Mediciones meteorológicas y monitoreo de la calidad del aire.

Es claro cómo se fijaron desde la etapa de planificación las variables del plan logístico. Lo anterior implicó incurrir en sobrecostos iniciales, pero que contribuyeron a disminuir la desviación del costo final del proyecto y redujeron sensiblemente los niveles de desperdicio que se tendrían en caso de no tener en cuenta dichas variables. Dada la magnitud de la obra, se hace más evidente la necesidad de utilizar herramientas para la programación de rutas y cantidades de inventario mediante la investigación de operaciones logísticas.

En cuanto a la gestión de materiales, la obra contaba con sistemas de administración de almacén (Warehouse management system⁵⁹, en adelante WMS) para estandarizar procesos y homogenizar los diferentes rubros en los diferentes centros de costos que se manejaron; lo anterior contribuía no solo a llevar la contabilidad de costos fijos y variables, sino también la interacción con la planificación intermedia, semanal y diaria y los destinos que cada material tendría al interior del proyecto. El resultado de la utilización de las herramientas WMS es la obtención de gráficas y estadísticas para medir el rendimiento y los procesos logísticos como entregas, tiempos empleados, etc.

Funciones principales de los WMS (ERP's y software de logística integral):

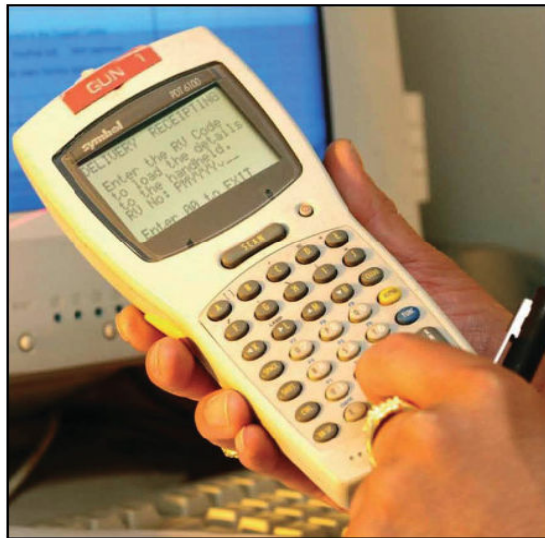
- Registros automatizados de flujos de entrada y salida.
- "Layout planning". Distribución optimizada en planta.
- Obtención de la capacidad volumétrica óptima para centros de distribución y acopio temporal.
- Ejecución del modelo ABC para la gestión de inventarios.
- Asignación de zonas de almacenamiento en función del tipo y la cantidad de material.
- Pronósticos de oferta y demanda según el nivel de aprovisionamiento del LCCC.
- Generación automáticas de órdenes de pedido u órdenes de compra, directamente desde el frente de obra o según lo vaya indicando la programación diaria.

La funcionalidad de los WMS dependerá de la magnitud del proyecto, y continúa siendo criterio de la dirección la selección de las herramientas más idóneas para la planificación y el control de la obra.

⁵⁹ Cualquier WMS, bien puede considerarse como una TIC

Según SULLIVAN (2010) en muchos proyectos solo bastaría una buena hoja de cálculo para llevar el control sin descuidar los conceptos de gestión logística, sin embargo, la complejidad de las obras de infraestructura y los megaproyectos en general, introducen problemas multivariados que se deben abordar con múltiples herramientas tecnológicas. Las tecnologías de códigos de barras y RFID, que son herramientas más costosas y elaboradas, fueron empleadas para el desarrollo de varios procesos en el centro de distribución LCCC y en el punto logístico de la obra (Colnbrook Logistics Centre).

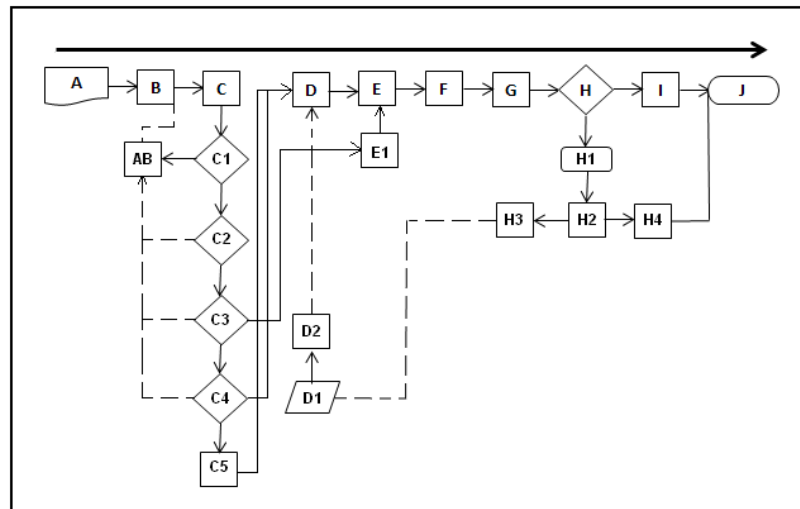
Imagen 2. Dispositivo para código de barras utilizado en Heathrow Consolidation Centre



(Fuente: SULLIVAN, et. Al, 2010)

Parte de la cadena de suministro (en la fase de aprovisionamiento) se aborda en la figura 30 donde se describen los procesos logísticos para el manejo del LCCC. Dicha estructura considerarse como un lead time de pedido y se acopla al concepto del ciclo logístico planteado anteriormente.

Figura 30. Proceso logístico para el envío de materiales desde el LCCC



(Fuente: SULLIVAN, et. Al, 2010 – pg. 197)

A: Solicitud del material mediante orden de salida del LCCC.

B: Evaluación de periodos de entrega.

A-B: Discusión de alternativas con el cliente (la obra).

C: Verificación de las siguientes variables por parte del LCCC.

C1: Disponibilidad de material o fecha de llegada de nuevos stocks.

C2: Fecha y tiempo de entrega disponible.

C3: Dirección del sitio de entrega, ok.

C4: Disponibilidad de recurso en el LCCC ok.

C5: Organización de los recursos, ok.

D: Proceder con el pedido programado.

D1: Nueva entrega, verificando disponibilidad de fecha y horario.

D2: Recurso disponible.

E: LCCC selecciona y prepara el material para su envío el material.

F: Carga y despacho del vehículo.

G: Contacto con el personal encargado de recepción en el sitio de construcción.

H: Chequeo de la ruta y la carga, ok.

H1: El material no accede al sitio de la obra.

H2: Se discuten alternativas respecto al material.

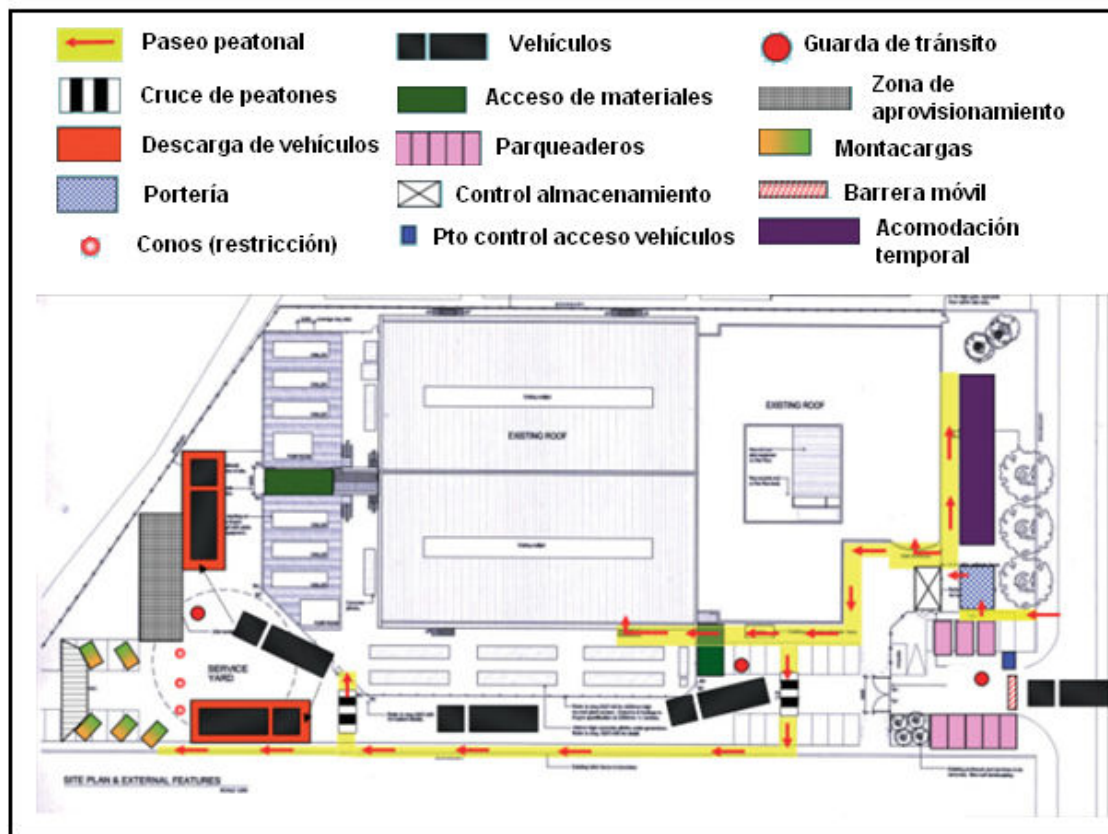
H3: Retorno del material al centro de abastecimiento.

H4: Encontrar un sitio alternativo para la descarga en acuerdo con el administrador de la obra.

I: Contacto con el cliente y obtención exacta de los puntos de ubicación final del material.

J: Finaliza el proceso de con la entrega del material en cada frente de obra.

Figura 31. Layout de la obra (logistics traffics and material handling project plan)



(Fuente: SULLIVAN et. al, 2010- pg 227)

4.4.2 Caso de aplicación en Brasil. En la ciudad de Sao Pablo se estudiaron las políticas implementadas por tres empresas constructoras (X,Y,Z) para la mejora de los sistemas de gestión de calidad y logística⁶⁰. Se estructuró la integración entre los actores internos y externos encargados del soporte de las actividades logísticas, en todas sus fases. De manera implícita, y/o parcial, se ejecutaron muchos de los conceptos de la filosofía JIT, apuntándole a los siguientes objetivos:

- Optimización de los procesos constructivos.
- Calidad en los sistemas de gestión.
- Aumento de la productividad.
- Reducción de pérdidas de materiales.

⁶⁰ Profundizar detalles del estudio en la fuente: (BORGES Y FERREIRA, 1999). Dicho estudio describe los conceptos de gestión logística aplicados en tres compañías de construcción brasileras.

La tres empresas (X,Y,Z) coincidieron en que la única forma de aumentar las ventajas competitivas era a través del uso de las herramientas logísticas y con el concepto claro de que la producción debía ser vista como actividades de conversión pero pensada como flujos controlados de materiales, según lo expuesto por KOSKELA en 1992.

La siguiente tabla se usó para la ponderación de los ítems de gestión logística que se emplearon en la valoración de cada una de las empresas.

Tabla 52. Aspectos analizados en los casos de estudio

	Aspectos observados y analizados	Fuentes y herramientas para la valoración
Políticas y procedimientos	Estrategias de competitividad y producción	Entrevista con directores y gerentes de las constructoras, encuestas empresariales, encuestas sobre flujo de material, entrevistas con ingenieros residentes, entrevistas con almacenistas, observación de los sitios de construcción.
	Relación con proveedores	
	Objetivos estratégicos y acciones	
	Indicadores de desempeño	
Organización logística y coordinación	Asignación de responsables	
	Responsable de decisiones logísticas	
	Momentos claves para toma de decisiones	
	Decisiones colectivas	
Gestión de suministros	Procesos	
	Compras centralizadas y descentralizadas	
	Plan de suministro	
	Gestión de almacenamiento	
"Layout Planning" y manipulación de materiales	Procedimientos para planificación de layout	
	preparación y planificación del sitio	
	Equipos principales para transporte interno	
	Definición de responsabilidades en procesos de transporte	
Gestión logística de la información	Documentos usados para capturar y procesar información	
	Disponibilidad de la información para la toma de decisiones	
	Velocidad en el procesamiento de la información	
	Canales de comunicación	

(Fuente: BORGES Y FERREIRA, 1999)

El resultado del diagnóstico para cada una de las empresas fue el siguiente:

Empresa X: Contratista para el sector de vivienda y comercial en la ciudad de Sao Pablo.

Política principal: mejora continua de las técnicas tradicionales de construcción y mejora de las condiciones de trabajo para los empleados a cargo. Los puntos fundamentales para el mejoramiento de la logística fueron:

- Definición de estrategias para tener relación directa y coordinación con proveedores.
- Layout Planning pensado por fases del proyecto.
- Definición de roles en tareas logísticas.
- Aumentar eficiencia en el flujo de la información.

Empresa Y: constructora dedicada a proyectos cooperativos de edificación, Sao Pablo.

Política principal: ejecución de actividades mediante figura de tercerización. Los puntos fundamentales para el mejoramiento de la logística fueron:

- Plan de suministro de materiales definido antes del inicio del proyecto.
- Procedimiento de adquisición de recursos definido.
- Aumento en la eficiencia del flujo de información.

Empresa Z: contratista general de edificación de vivienda, Sao Pablo.

Política principal: minimizar el número de operaciones en el sitio, y minimizar el número de materiales a utilizar. Los puntos fundamentales para el mejoramiento de la logística fueron:

- Integración de los proveedores al programa de obra.
- Implementación de EDE (electronic data Exchange) en vehículos.
- Definición de roles y responsabilidades en el plan logístico.

La comparación entre las tres empresas (X,Y,Z) se hizo en la gestión logística de suministros, gestión logística del sitio y la gestión logística para el flujo de información.

Gestión logística de suministros.

Solo la compañía Z contaba con la exclusividad del 90% de sus proveedores para efectos de entregas justo a tiempo, lo anterior implicó comprometer los pedidos con los proveedores antes de iniciar el proyecto, lo que requiere planificación intermedia y semanal. La compañía X solo contaba con la exclusividad de 2 de sus proveedores; en el caso de la compañía Y no se registró exclusividad con ningún proveedor.

Las herramientas operacionales para fortalecer la cadena de suministros fueron las especificaciones técnicas de los materiales, selección y calificación de proveedores, garantía de materiales, inspección de entrega y calidad de materiales.

Gestión logística del sitio.

Preparación del sitio. La empresa X buscó implementar una metodología de planificación del sitio de construcción en donde intervinieran todos los niveles de la organización y los contratistas, lo que se asimila a la metodología del último planificador; por otro lado, en la empresa Z el ingeniero residente es el encargado de elaborar dicho plan, que es sometido posteriormente a la revisión técnica del ingeniero de mayor experiencia.

Layout planning: en las tres compañías se evidenciaron deficiencias para prever situaciones eventuales que podrían presentarse y que no necesariamente pertenecen a las etapas preestablecidas para el proyecto.

“Checklist” para el control de las condiciones del sitio: la compañía Z desarrolló una lista detallada para el control logístico del sitio, con una periodicidad en el chequeo de un mes, efectuada por el ingeniero residente de obra. La lista permite evaluar el desempeño de los distintos frentes, así como también la identificación de errores en los diferentes procesos.

Diseño de procesos de producción. Las tres compañías desarrollaron metodologías para la ejecución de actividades.

Directrices generales para la mejora de la gestión logística en las compañías X,Y,Z.

Borges y Ferreira consideraron 3 niveles para la aplicación de las mejoras de la gestión logística en obras de construcción; los niveles estratégico, estructural y operativo. En el nivel estratégico las propuestas de mejoras parten de la búsqueda de la satisfacción de las necesidades del cliente en todos los aspectos (tiempos de cumplimiento, calidad, cantidad, etc.), la fijación de indicadores logísticos base para la definición de objetivos, y la necesidad de fortalecer la relación directa con los proveedores, quienes son parte fundamental del engranaje de la programación y el presupuesto. La empresa Z resultó ser el mejor exponente al lograr mejores resultados en la reducción del lead time gap, aunque favorecida también por la economía de escala que implementó en su funcionamiento (numerosos proyectos de características similares). En el nivel estructural se encontró que la asignación de responsabilidades y definición de roles; tal como se plantea en el numeral 4.2.2 en donde el modelo inglés expone esos dos conceptos en los pasos iniciales para la planificación del MLP, es una necesidad que implica la conformación de dos equipos: un equipo para la ejecución de actividades de construcción y otro para el soporte logístico interno y externo. Por otro lado, desde esa época ya se planteaba la utilización de herramientas que permitieran el acceso a la información del proyecto en tiempo real, lo que sin lugar a dudas hoy se conocen como herramientas TIC, las que a su vez automatizan los procesos de compras y registro de recursos; en dicho sentido, la empresa X fue quien más avances mostro en la implementación de nuevos sistemas que agilizaran sus procesos de gestión.

Otro aspecto en el nivel estructural, radica en los procesos de transparencia reflejados a partir de reuniones grupales entre los diferentes actores del proyecto, lo cual se hace en forma periódica en las compañías X y Y, la compañía Z no aplica para este principio.

A nivel operativo se concluyó la necesidad de identificar los materiales críticos (para lo cual se puede hacer uso del modelo ABC) para modelar los flujos que favorezcan más la caja del proyecto, lo que se puede complementar con planificación intermedia, semanal y diaria y la continua valoración del "Layout Plannig" como se mencionó anteriormente.

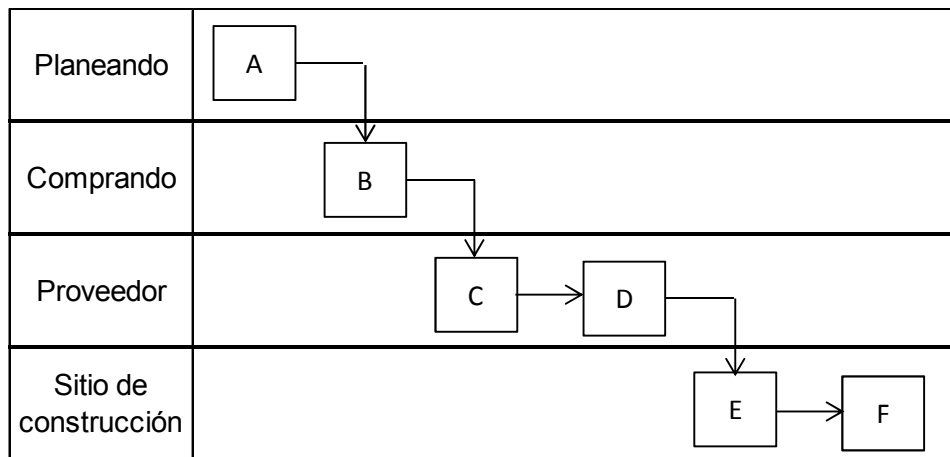
Las experiencias anteriores, correspondientes a proyectos ejecutados en el Reino Unido y Brasil; dos potencias económicas, constituyen un manual resumen de buenas prácticas para la aplicación de la gestión logística en la industria de la construcción, que debería de alguna forma adaptarse al contexto colombiano, en donde la mayoría de las empresas aún recurren al empirismo y a conceptos determinísticos para la ejecución de las obras. Sin embargo, también existen empresas han venido introduciendo herramientas de la filosofía Lean Construction, que se viene estudiando en Colombia desde hace diez años aproximadamente; logrando la estandarización y optimización de algunos de sus procesos y consolidando indicadores de productividad que les permita competir en el mercado. A continuación se cita un caso de estudio para Colombia en donde se perciben varios conceptos de gestión logística.

4.5 REFERENCIA LOCAL (COLOMBIA) DE GESTIÓN LOGÍSTICA EN CONSTRUCCIÓN

La construcción en Colombia no difiere sustancialmente de la construcción a nivel mundial; los procesos constructivos son similares y los materiales tradicionales utilizados son los mismos materiales utilizados en el mundo, sin embargo, la organización en cuanto a gestión logística de proyectos si es un tema que queda pendiente para el mejoramiento del sector, dado que implica un cambio en la mentalidad de la gerencia, la dirección y el personal operativo de las obras; también es importante reconocer que se requiere de una inversión inicial alta para poder introducir nuevas técnicas de planificación que se complementen con la introducción de nuevos materiales, sistemas constructivos y maquinaria de última generación.

La cadena de suministro en construcción para el caso colombiano puede entenderse como una estructura rígida que bien puede representarse con el esquema que define O'Brien et al. en el siguiente esquema.

Figura 32. Esquema tradicional de la gestión de materiales en construcción



(Fuente: O'BRIEN et al. 2009)

Donde A consiste en la elaboración del cronograma maestro y definitivo de materiales, B el proceso de compras basado en el cronograma maestro, muchas veces efectuando compras anticipadas, contribuyendo a la acumulación de inventario; en C se fabrican o se cargan existencias de fábrica por parte del proveedor para entregarlo en el sitio a través del proceso D; en E se almacena el material de acuerdo al espacio disponible para finalmente instalarlo en el proceso F.

El modelo anterior exhibe una estructura rígida, pues no da la posibilidad de contar con cierto grado de maniobra en caso de que un proveedor falle; lo que implica extender los cronogramas de obra, aumentando significativamente los tiempos que no agregan valor.

Otro factor que incide en el déficit que se tiene en la gestión logística de obras de construcción en Colombia es el inadecuado manejo de la figura de tercerización mediante subcontratación; lo anterior es porque no se definen en muchos casos desde un principio las políticas de operación de las cuadrillas subcontratadas, es decir, no hay asignación de roles definidos ni mucho menos responsabilidades definidas, ocasionando que la dirección de la obra no tenga incidencia directa sobre el funcionamiento de los frentes, lo cual implica:

- Elevados índices de desperdicio de material, al no involucrar al subcontratista de mano de obra en un plan logístico para la racionalización de materiales.
- Aumento de los tiempos que no agregan valor.
- Variabilidad en la calidad del producto terminado como consecuencia de la rotación del personal por parte del subcontratista.
- Variabilidad en los rendimientos de obra como consecuencia de la rotación del personal por parte del subcontratista.
- Competencia entre cuadrillas y/o frentes de diferentes subcontratistas.
- Desorganización e inconsistencias en los pedidos de material al almacén.

También es cierto, que la dirección de obra en muchas ocasiones delega la responsabilidad en el cumplimiento al subcontrato de la mano de obra, ignorando en muchas ocasiones la planificación intermedia, semanal y diaria, que es preciso manejar en pro de una adecuada gestión del proyecto.

No obstante, en Colombia existen empresas interesadas en el mejoramiento continuo de sus procesos constructivos y de gestión a partir de los conceptos expuestos en el desarrollo del presente informe. A continuación se abordará un caso de estudio de una constructora bogotana que implementó en una de sus obras una serie de medidas para disminuir el lead time en la actividad de mampostería.

4.5.1 Caso de estudio de implementación de conceptos de gestión logística en una constructora colombiana.

Descripción del proyecto.

Nombre del proyecto: Andalucía real.

Lugar: Bogotá, Colombia.

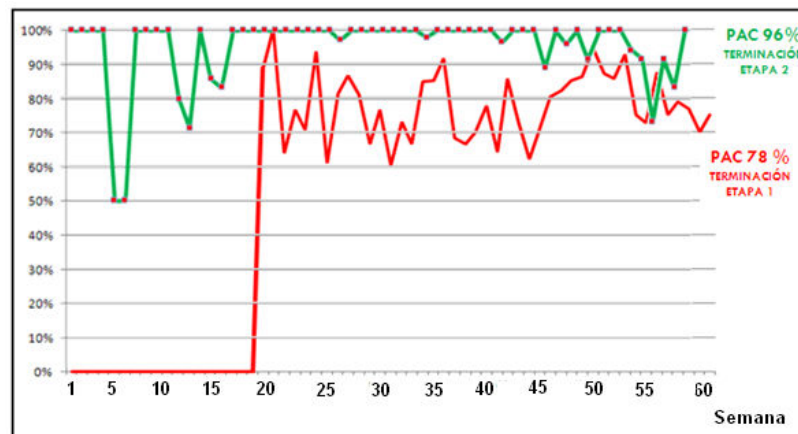
Constructor: Urbansa S.A.

Tiempo total de ejecución: 26 meses.

Descripción: 19 torres de seis pisos, con capacidad para 4 apartamentos por piso. Construidas por etapas (etapa 1 y etapa 2)

La evolución del porcentaje de actividades completadas, difieren en las dos etapas del proyecto, la figura 33 muestra la variación de ambas curvas, teniendo en cuenta que las medidas de mejoras y buenas prácticas logísticas se efectuaron en la etapa 2.

Figura 33. Evolución del PAC semanal

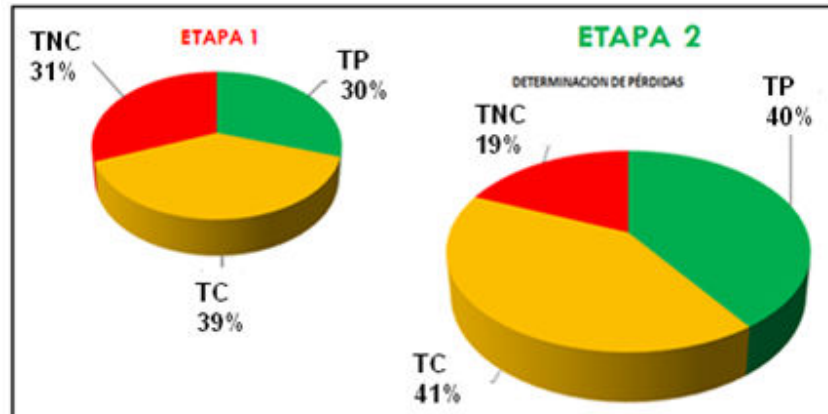


(Fuente: URBANSA, 2010)

En la figura 33 se puede observar que a pesar de requerir de aproximadamente 12 semanas para estabilizar el PAC en la etapa 2, los porcentajes iniciales superan por más de un 50% a los valores obtenidos en la etapa 1, quien además requiere de algo más de 17 semanas para llegar a porcentajes que en promedio oscilan alrededor de un 78%, respecto a un 96% en promedio de actividades completadas en la etapa 2.

Lo anterior se puede explicar con la distribución de los tiempos que agregan valor (productivo), de soporte (contributivos) y los que no agregan valor (no contributivos).

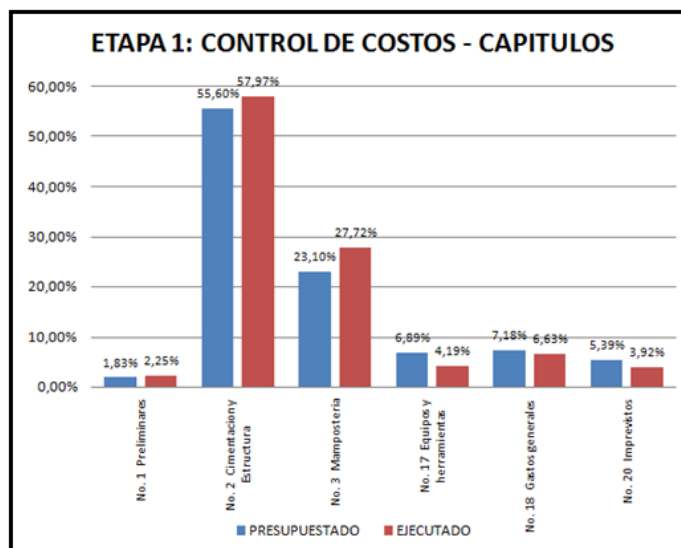
Figura 34. Utilización del tiempo por parte del personal



(Fuente: URBANSA, 2010)

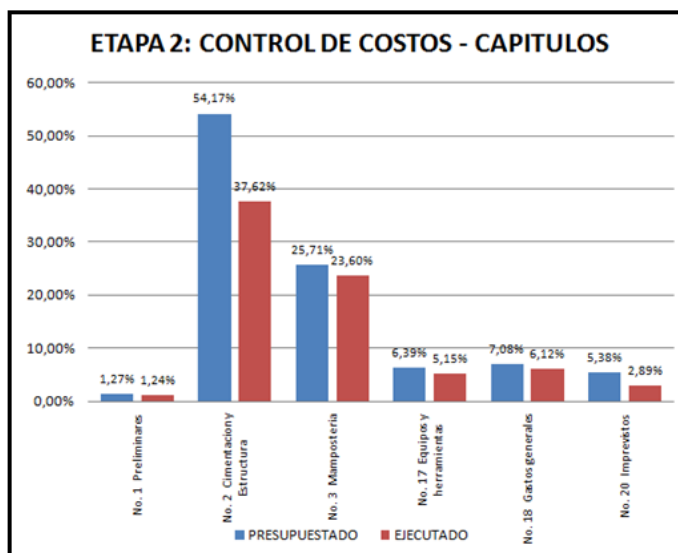
De esta forma se generó una desviación de costos diferente para cada una de las etapas, siendo menor el valor del presupuesto ejecutado que el programado en la etapa 2, respecto a la etapa 1.

Figura 35. Control de costos por capítulos etapa 1



(Fuente: URBANSA, 2010)

Figura 36. Control de costos por capítulos etapa 2



(Fuente: URBANSA, 2010)

La forma como se alcanzaron estos resultados fue a través de la reducción del tiempo de ciclo en las actividades, identificando los puntos más débiles de la cadena de suministro que presentaron inconvenientes logísticos en la etapa 1 y que sin lugar a dudas se tradujeron en pérdidas para el contratista.

Herramientas utilizadas:

- Sistema integrado de gestión.
- Optimización y estandarización de formatos y procesos.
- “Layout planning”.
- Seguimiento, control y actualización de datos.
- Programación con línea de balance (sin conflicto entre actividades)
- Calificación de contratistas (principio de transparencia)
- Benchmarking.

Figura 37. Comparativo de tiempos de ciclo en actividad de mampostería



(Fuente: URBANSA, 2010)

La reducción del tiempo de ciclo en aproximadamente un 42% se debe fundamentalmente a las siguientes acciones que se tomaron en el fortalecimiento logístico de la cadena de suministros para la actividad de mampostería:

- Utilización de dispositivos (plantillas) para la estandarización y agilidad en la construcción de las luces de la ventanería.

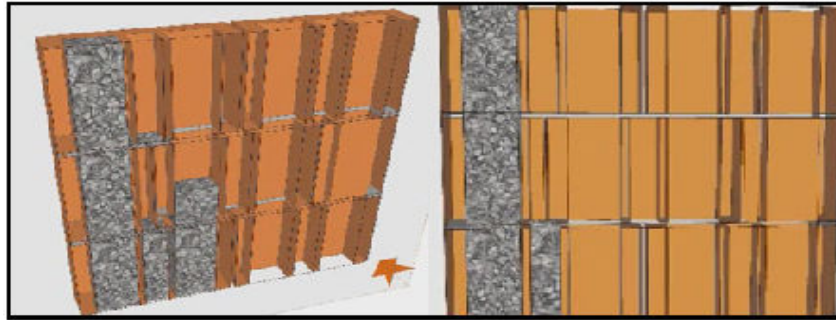
Imagen 3. Plantillas de ventanería



(Fuente: URBANSA, 2010)

- Rediseño del mortero de las dovelas, logrando una mayor fluidez y por lo tanto aumentado el rendimiento en el vaciado.

Imagen 4. Antes y después en vaciado de dovelas



(Fuente: URBANSA, 2010)

En la primera etapa se consumían $0,01875\text{m}^3$ de grouting por dovela, empleando 45s en el vaciado, para un total de 608 dovelas por piso que demoraban 7,6 horas; mientras que en la segunda etapa se consumían $0,01350\text{m}^3$ por dovela, empleando 32s en el vaciado. Para el mismo número de dovelas por piso el tiempo de ciclo se redujo a 5,4 horas.

- La modulación de la mampostería permitió disminuir los niveles de desperdicio; se definieron cantidad y tipo de corte y se despachaban en función de la producción diaria.

Imagen 5. Organización de mampostería por kits de pedido



(Fuente: URBANSA, 2010)

- La entrega de la mampostería modular se hacía directamente en el frente de obra, aplicando los criterios del JIT para la programación diaria de la actividad.

Imagen 6. Ubicación en el sitio de los kits de mampostería



(Fuente: URBANSA, 2010)

El soporte de estas mejoras se manifiesta en el control del flujo de materiales, de información y en la organización del sitio con diseños previos de Layout estático y dinámico. Las siguientes imágenes muestran detalles de la organización y las buenas prácticas de construcción.

Imagen 7. Definición de zonas específicas de descargue por torre



(Fuente: URBANSA, 2010)

Imagen 8. Definición de rutas seguras de movilidad de personal



(Fuente: URBANSA, 2010)

Imagen 9. Plataforma de descarga para material transportado con torre-grúa



(Fuente: URBANSA, 2010)

Imagen 10. Patio de clasificación de equipo de encofrado



(Fuente: URBANSA, 2010)

El ejemplo anterior constituye una recopilación de buenas prácticas en construcción que contribuyen al fortalecimiento de la cadena de suministros en la etapa de mampostería, lo cual incide directamente sobre la reducción del lead time o tiempo logístico de la obra. Los resultados se cuantificaron con indicadores de tiempo y costo y fueron referenciados respecto a la primera etapa del proyecto en cuestión. Es claro que la gestión logística es un problema multivariable cuyos resultados se pueden medir tanto en la escala cuantitativa, como en la escala valorativa, por lo tanto, es necesario tener indicadores de referencia del sector para poder establecer los objetivos y las estrategias de medición del plan de gestión logística.

5. MARCO PRÁCTICO

5.1 PERTINENCIA DE LA INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO DE GESTIÓN LOGÍSTICA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.

“Todas las industrias principales, excepto la construcción, utilizan la logística para el mejoramiento de sus resultados finales”. (SULLIVAN et al. 2010)

La gestión logística es una decisión que se debe tomar desde la dirección de las organizaciones pertenecientes al gremio de la construcción en Colombia. *¿Cómo suprimir, modificar, mejorar o fortalecer los procesos inherentes a la construcción en procura de la reducción de tiempos y costos, optimizando el flujo de materiales, personal, información y equipos, y manteniendo los estándares de calidad estipulados por las especificaciones técnicas y los requerimientos de los clientes?*

La pregunta anterior deja abierta la puerta para que la industria de la construcción colombiana se “replantee” tal y como lo hacen continuamente los demás sectores⁶¹; de hecho, una de las premisas de la filosofía Lean Construction⁶² es el mejoramiento continuo de los procesos con un enfoque generalizado que integra a todas las partes involucradas en la producción. Lo anterior implica comprender la cadena de suministros en la construcción en lo que respecta a la administración y al control de las transformaciones y los flujos; algo que sin duda se logra con la gestión logística de las operaciones. Es sin duda la gestión logística un soporte físico para la filosofía Lean Construction, y bien puede considerarse como el complemento fundamental de la herramienta *Last Planner* para la acertada consecución de los objetivos y metas de productividad en el área de la construcción.

⁶¹ En 1998 Sir John Egan publica el reporte “Rethinking Construction” con el objetivo de establecer las directrices a seguir para el mejoramiento de la industria de la construcción en el Reino Unido; encontrando que era prioridad el fortalecimiento y la modernización en I+D, salud ocupacional, y la formación de nuevos profesionales de la construcción con sólidas competencias técnicas y administrativas al mismo tiempo. Sir John Egan consideró que dicho fortalecimiento contribuiría en forma contundente a atender las solicitudes directas de los clientes de la época: Más innovación, menor costo, menor tiempo de ejecución, menor fragmentación en los proyectos, y sobre todo más presencia de nuevas tecnologías. Con las premisas anteriores, el sector de la construcción en el Reino Unido identificó los siguientes indicadores meta para la obtención de mejores resultados en la actividad: costo de capital, tiempo de construcción, “predictibilidad” entendida como el inverso de la desviación del costo presupuestado, defectos registrados, productividad, accidentes, ventas y ganancias. Fuente: (HOLROYD, 2003)
Es necesario entonces que en Colombia se plantee la posibilidad de replantear el sector a partir de indicadores ya establecidos que puedan medir el nivel de compromiso de las diferentes empresas involucradas en dicha referenciación.

⁶² Ver numeral 4.2.1.4 en donde se citan los principios Lean Construction como filosofía para el mejoramiento de la producción en construcción.

Las empresas constructoras en Colombia deben ir más allá de la obtención de los certificados de calidad; por lo que es preciso plantear modelos logísticos que sean validados a partir de la referenciación de proyectos (Benchmarking), mediciones de desempeño a través de indicadores, simulaciones, y la planificación a todo nivel.

El presente trabajo pretende establecer las bases para la implementación de la gestión logística en las obras de construcción; trabajo que estará respaldado por una herramienta TIC para el control logístico del flujo de materiales y de información; algo que implícitamente sugiere la intervención de los demás flujos logísticos; personal y equipo, respectivamente. Esta intención es válida en la medida en que las condiciones de trabajo en el sector de la construcción sean más eficientes y representen mayor utilidad para las empresas involucradas.

Teniendo claro los alcances que tiene la gestión logística en la industria de la construcción, surgen las siguientes preguntas que sirven de orientación para el desarrollo práctico de la investigación:

- Al implementar un sistema de gestión de calidad se cubre el concepto de gestión logística para el desarrollo de proyectos de construcción?
- La gestión logística en construcción se puede considerar como la optimización de la cadena de suministro?
- Es posible hablar de gestión logística sin herramientas tecnológicas de apoyo?
- La implementación de una TIC para el soporte de la gestión logística en la obra, contribuye necesariamente al aumento de la productividad?
- Cómo se podría llegar a establecer el o los beneficios de la implementación de una herramienta TIC para la gestión logística, valorada a partir de indicadores de desempeño?
- Qué cambios en los métodos de planificación y de producción implica la introducción de los conceptos de gestión logística, respaldados con herramientas TIC?

5.2 MEMORIA METODOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN

5.2.1 El proyecto de investigación desde un punto de vista descriptivo y con posibilidades de proyección y simulación de escenarios probables. Hasta el momento, en el marco de referencia se abordaron los conceptos de engranaje entre las generalidades de la gestión logística y su aplicabilidad en la industria de la construcción; levantando el estado del arte que permitió definir las herramientas necesarias para la implementación de dichos conceptos. El enfoque que tiene la investigación es entonces, poder reconocer, observar, diferenciar, proponer, y concluir sobre la estructura del manejo logístico en el sitio de construcción y evaluar las diferentes alternativas para la introducción de una herramienta de soporte TIC que contribuya a mejorar la eficiencia de los procesos asociados al flujo de materiales e información en tiempo real.

A partir de la valoración técnica de los procesos logísticos que se dan en las diferentes actividades de la obra, se pueden plantear modelos que sirvan para proyectar y/o simular tiempos de ciclo, lo que facilitará la planificación intermedia y semanal; inclusive, se puede llegar a hablar de programación diaria en caso de que se pueda refinar el cálculo de rendimientos probables y se pueda comprometer la provisión del punto de almacenamiento de la obra, o del centro de abastecimiento, en caso de que se maneje dicha figura.

De esta manera es como a partir de la comprensión de los procesos logísticos y de su interrelación, es decir, a partir de la comprensión de la cadena de suministros, el investigador reúne las condiciones iniciales para el planteamiento del problema, cuyas premisas principales son:

- Identificación de los puntos débiles de la cadena de suministro (pérdidas y reprocesos).
- Disminución del lead time gap.
- Disponibilidad de información en tiempo real, para efectos de fortalecimiento de la planificación de actividades.

Cabe anotar, que las encuestas en gestión logística que se hicieron a constructoras grandes, medianas y pequeñas; las visitas a sitios de obra para el levantamiento de procesos y las pruebas piloto con la herramienta TIC, además de los conceptos técnicos del personal idóneo perteneciente a la alianza estratégica EAFIT-CIDICO⁶³, contribuyeron al investigador a establecer la ruta principal para trabajar en forma sistemática la aplicación del marco teórico en proyectos reales. Adicionalmente, estos factores reafirman la necesidad de mejoramiento continuo de la gestión logística en los proyectos de construcción aplicando herramientas tecnológicas.

⁶³ Centro de investigación y desarrollo para la industria de la construcción, CIDICO.

5.2.2 Momentos del proceso de investigación.

La investigación se compone de tres fases principales, de las que se desprenden actividades secundarias que justifican el esquema general. El estado del arte, la definición de la herramienta TIC a utilizar y el diagnóstico de la gestión logística en la construcción se programaron bajo el siguiente cronograma.

Tabla 53. Cronograma de actividades del proceso de investigación

Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11
ESTADO DEL ARTE										
Gestión logística		Gestión logística de la construcción								
DEFINICIÓN DE LA HERRAMIENTA TIC										
Evaluación de propuestas de software para el desarrollo del estudio				Selección y adquisición del software		Prueba piloto			Validación de la herramienta y análisis de resultados	
DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN LOGÍSTICA EN CONSTRUCCIÓN										
		Casos de estudio a nivel mundial			Encuesta local en constructoras		Levantamiento de procesos en el sitio de construcción			
Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11

(Fuente: elaboración propia)

El investigador tiene previsto la profundización sobre el estado del arte hasta el final del periodo concebido para la investigación. Una de las razones es que en las actividades finales del marco práctico, surge la necesidad de reafirmar definiciones y conceptos producto de las pruebas diagnósticas desarrolladas en obra. Es importante tener en cuenta que el fondo de la base teórica se sustenta en los modelos desarrollados en el Reino Unido por diferentes autores pertenecientes al IGLC⁶⁴. La idea de extrapolar muchos de los conceptos de la manufactura a la industria de la construcción, es con la intención de estandarizar los procesos, logrando el aumento de la productividad, lo que sin lugar a dudas es conveniente para todos los actores del gremio.

⁶⁴ *International group for lean construction, IGLC.*

En cuanto a la definición de la herramienta TIC, se tuvo en cuenta desde el principio la necesidad de un soporte tecnológico para la gestión logística en obra, con el objetivo de complementar la plataforma tecnológica para construcción⁶⁵ que está a cargo de la alianza estratégica EAFIT-CIDICO. Dentro del periodo que comprende la evaluación de propuestas de software para el desarrollo del estudio, selección y adquisición del software, los directores de la alianza adelantaron una misión tecnológica⁶⁶ a Europa (España, Italia y Suiza) en donde se conocieron los métodos de registro de recursos mediante códigos de barras y tecnología RFID, lo cual se comparó con las experiencias de viajes que se efectuaron a Chile en el pasado con el objetivo adelantar transferencias tecnológicas con la CDT. Se encontró que la propuesta que mejor se acomodó al contexto colombiano fue la propuesta chilena para el manejo de la logística interna mediante la tecnología wi-fi que se introdujo en el numeral 4.3.4.1. La tecnología empleada en Europa se dificulta en Colombia debido a que las obras no se manejan por centros de abastecimientos (CCC) lo que impide que en la totalidad de las veces se estandarice la emisión de chips y/o códigos de barra para la identificación de los materiales.

Adquirida la herramienta, el investigador da comienzo a las pruebas piloto, acompañado de la asesoría profesional de integrantes de la CDT como parte de la garantía que supone la compra del software. A la par con esta actividad se efectúa el levantamiento de procesos en obra para validar el resultado de la encuesta que se le hizo a las empresas constructoras que se interesaron en el proyecto. En el levantamiento de procesos se adelantaron las siguientes actividades:

- Reconocimiento del sitio de construcción, previa explicación de los planos de Layout que se tengan disponibles.
- Organigrama de la obra.
- Estructura del almacén y reconocimiento de los sistemas de entradas y salidas de recursos.
- Protocolos para la gestión de compras y o pedidos de material para el aprovisionamiento del almacén.
- Reconocimiento de la programación de actividades para dicha semana.
- Observación de las actividades típicas que se estén desarrollando (obtención de PAC, o datos recientes de PAC)
- Observación sobre la conformación de las cuadrillas en los diferentes frentes de obra.
- Mecanismos de comunicación al interior de la obra.
- Mecanismos de transporte vertical y horizontal.

⁶⁵ Ver <http://www.gestionconstruccion.com.co/>

⁶⁶ CIDICO, Centro de investigación y desarrollo tecnológico para la industria de la construcción. Plan de fortalecimiento institucional a la unidad de negocios en TIC aplicada a la construcción, fortalecimiento CIDICO. Medellín, Colombia, EAFIT-CIDICO, 2010. 41p.

De esta forma se configura el marco práctico de la investigación. En los anexos se podrá encontrar información respecto a los formatos utilizados para las pruebas diagnósticas y piloto, así como también las respectivas memorias obtenidas de los estudios en el sitio de construcción. A continuación, en los capítulos siguientes, se puntualizará sobre las actividades prácticas descritas en la Tabla 53.

5.3 ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DE LA LOGÍSTICA EN CONSTRUCTORAS COLOMBIANAS (MEDELLÍN, BOGOTÁ Y MANIZALES)

El presente capítulo se desarrolla en consecuencia con la tabla 53 en donde se definen las actividades referentes al diagnóstico de la gestión logística en la fase práctica, es decir, el diagnóstico por encuestas y el levantamiento de procesos en el sitio de construcción.

En este proceso participaron reconocidas empresas constructoras colombianas, quienes facilitaron información para el diligenciamiento de la encuesta y para el levantamiento de procesos en el sitio. Se seleccionó el sector vivienda para adelantar los trabajos pertinentes para el desarrollo de la investigación, sin embargo, el investigador considera que los conceptos en gestión logística aplican para cualquier sub sector en la construcción⁶⁷, bien sea obras de infraestructura, comerciales, institucionales, etc.

5.3.1 Encuesta General GESLOG 2010.

5.3.1.1 Estructura de la encuesta. De acuerdo con los flujos de la gestión logística en construcción definidos en el numeral 4.2.1.2, se formularon cuatro áreas de consulta que fueron: logística de materiales, logística de Personal, logística de información y logística de equipos. Para cada una de las áreas se tuvieron en cuenta las distintas fases del proyecto, segmentadas en la fase de presupuestación, preconstrucción y construcción, respectivamente. El público objetivo de la encuesta fueron los Ingenieros residentes e ingenieros directores de obra, responsables de la ejecución, la administración y el control del proyecto.

Cada uno de los datos registrados en las estadísticas de la encuesta, representa un evento que posiblemente puede darse en cualquier momento del proyecto de construcción en desarrollo. La modalidad de las preguntas son del tipo si-no y preguntas de selección múltiple con múltiple respuesta. En muchas de las preguntas se dio la posibilidad de que la persona encargada del diligenciamiento emitiera un concepto diferente a las opciones ofrecidas como posible respuesta.

⁶⁷ Referirse al capítulo 4.4 en donde se estudian los casos a nivel mundial, abordando casos de estudio de obras de infraestructura y comerciales.

Tabla 54. Empresas constructoras encuestadas

EMPRESA	NOMBRE DEL PROYECTO	DESCRIPCIÓN	CIUDAD
Pranha	Ciudad Jardín	Construcción de 30 casas de dos niveles	Manizales
Ok construcciones	Montevento	Urbanización multifamiliar en altura.	Envigado
Marval	Metropolitan Bussines Park	233 Oficinas y 12 locales comerciales en sistema aporticado, a construir por etapas	Bogotá
Conconcreto	Arvore	2 Torres de apartamentos en sistema aporticado de 14 pisos cada una	Medellín
Casa	Alpes Plaza	Torre de apartamentos en sistema de muros vaciados de 26 pisos y mall comercial	Medellín
Capital	Sol Naciente	5 Torres de apartamentos de 22 pisos	Medellín
Arquitectura y concreto	Akacia	Construcción de 50 casas de dos niveles	Envigado
Construcciones Felipe Calderón	Bosques de Canaan	construcción de 60 casas de dos niveles	Pereira
	San Juan de la Sierra	6 Torres de apartamentos de 5 pisos	Pereira

(Fuente: elaboración propia)

5.3.1.2. Análisis de resultados de la encuesta. El análisis de los resultados arrojados por la encuesta general GESLOG 2010, se desarrolla siguiendo el orden propuesto en el formato original, el cual se puede consultar en los documentos anexos.

Logística de materiales.

Fase de presupuestación.

En esta fase se observaron fortalezas en cuanto al planteamiento teórico de cantidades de materiales y la definición de proveedores, sin embargo, los planes de contingencia en caso de afrontar escasez de material solo están presentes en un poco más de la mitad de las obras consultadas. Los resultados obtenidos fueron:

- En el 100% de los proyectos consultados, se conocía con anterioridad a la construcción las cantidades exactas (teóricas) de los materiales que demandaba la obra, así como también tenores de cantidades para el control presupuestal, teniendo estimado en la totalidad de los casos una proyección de la cantidad de desperdicio para cada material. Lo anterior indica que hay conciencia en el gremio de que la palabra “pérdida” es algo inherente a la actividad.

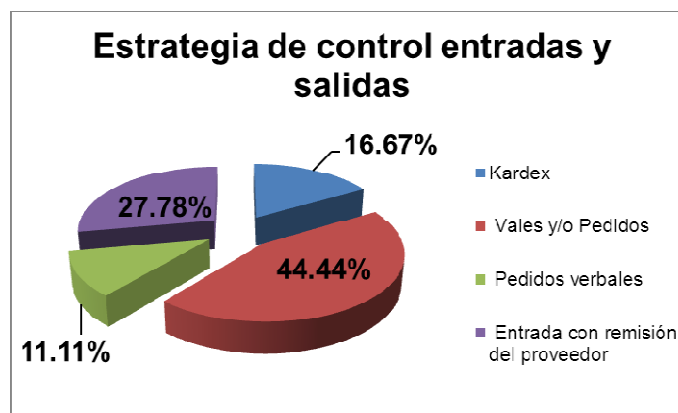
- En cuanto a la especificación técnica de los materiales, solo el 66,67% de los proyectos cuenta con dicha información para cada uno de los productos a instalar. Este déficit de información implica incertidumbre para la empresa en lo que respecta a las pérdidas proyectadas por reclamaciones posventa; además, implica un sinnúmero de reprocesos que alargan el lead time del proyecto.
- El 100% de las obras tenían plenamente identificados los proveedores titulares, sin embargo, un 22,22% de las veces no se tuvo en cuenta la identificación de proveedores sustitutos en caso de que los titulares fallaran, porcentaje que coincide con el porcentaje de proyectos que NO programaron recursos.
- La previsión de inventarios de seguridad solo se da en un 66,67% de las obras, lo que puede evidenciar faltantes de programación intermedia y semanal en casi la mitad de los proyectos consultados.

Fase de preconstrucción.

Para esta fase del proyecto se preguntó sobre la circulación de los diferentes flujos logísticos y los controles que se tienen previstos sobre la entrada y salida de materiales. Los siguientes fueron los resultados obtenidos:

- En un 88,9% de las veces, las empresas constructoras efectúan el diseño y la planificación de Layout para la ubicación y distribución de materiales. Aunque hay que mencionar que este diseño por lo general se efectúa una sola vez, por lo que la planificación en planta es estática en la mayoría de los proyectos. A partir de lo anterior se confirmó que solo un 77,78% de los proyectos tienen definidas las respectivas rutas de entrada y salida para la movilización de materiales y personas a lo largo de todo el desarrollo del proyecto.
- Para describir la distribución de las estrategias empleadas para el control de entradas y salidas de material del sitio de almacén, se tiene la siguiente figura:

Figura 38. Estrategias de control para entradas y salidas



(Fuente: elaboración propia)

Los vales y/o pedidos que se manejan a nivel interno, representan el 44,44% de la muestra. Muchas de las veces dichos vales se ingresan al sistema y son controlados por el respectivo ERP, sin embargo, en determinadas ocasiones son muchos los filtros para la solicitud de material, por lo que se acuden a solicitudes verbales, las cuales representan un 11,11%, una cifra no despreciable que deberá tenerse en cuenta a la hora hacer el control de los costos directos e indirectos en cuanto a gestión de materiales. Los pedidos verbales se dan precisamente por la ausencia de sistematización inmediata para un determinado requerimiento. Los Kardex se encuentran en el tercer lugar de uso, con un 16,67%, cifra que también es considerable e indica deficiencias en herramientas tecnológicas para control de inventarios. Las entradas con remisión del proveedor, que representan un 27,78%, son la segunda estrategia más utilizada para el control de existencias y puede servir de condición inicial para controlar las existencias en forma remota desde el proceso de entrega y descargue de material.

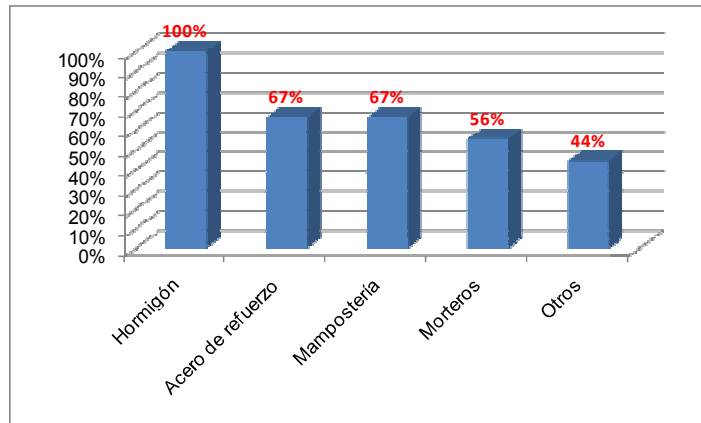
- El 88,89% de los proyectos tienen destinado estratégicamente un sitio para darle destino al material de desperdicio, aunque solo un 77,78% clasifica dichos residuos.

Fase de construcción.

En la fase de construcción se hizo énfasis sobre el control de calidad en materiales y la periodicidad de control de inventarios, observando que el 100% de las empresas efectúan ambos controles; adicionalmente, también se preguntó sobre el nivel de cumplimiento de los proveedores. Las variables anteriormente mencionadas inciden directamente en la logística de la obra, pues de presentarse una falla en cualquiera de ellas, implicaría necesariamente el alargue del lead time de la obra. Los siguientes fueron los resultados obtenidos:

- Para los ensayos de calidad aplicados a los materiales típicos, se encontró la siguiente frecuencia.

Figura 39. Frecuencia de ensayos

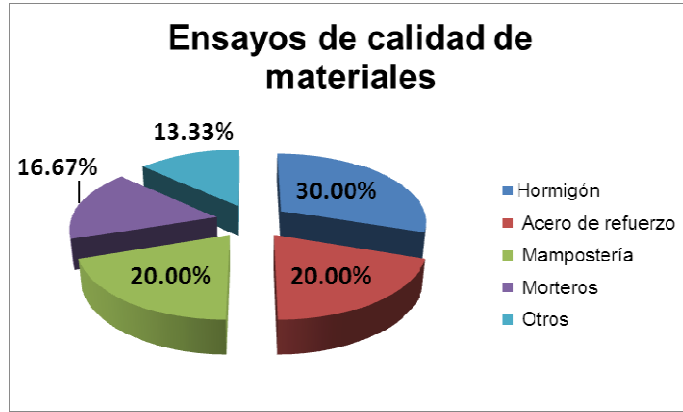


(Fuente: elaboración propia)

El hormigón se ensaya en todas las obras, mientras que el acero de refuerzo y la mampostería solo se ensaya en un 66,67% de las veces, seguido de los morteros con un 55,56%. Entre los otros materiales que se ensayan, están los pisos cerámicos y los porcelanatos, en menor medida que las tuberías de presión.

- A partir de la distribución anterior también se pudo concluir, que para la totalidad de los ensayos que se realizan en obra, un 30% corresponde a ensayos de la mezcla de hormigón, un 20% de los ensayos corresponden a los que se hacen sobre el acero de refuerzo y la mampostería, respectivamente; un 16,67% sobre los morteros y finalmente un 13,33% se encargan de los demás materiales.

Figura 40. Tipos de ensayos de calidad realizados en obra

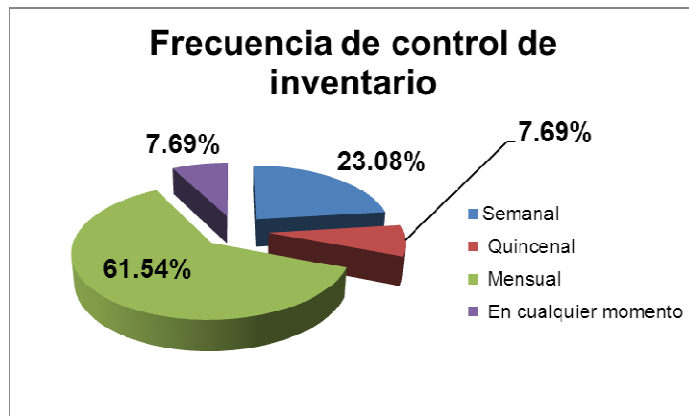


(Fuente: elaboración propia)

La figura anterior puede indicar el por qué las reclamaciones posventas en edificación son en su mayoría por acabados. Se puede ver que los ensayos sobre otros materiales, diferentes a los materiales típicos mencionados, representan una minoría del 13,33%. Nuevamente, se contribuye a alargar el lead time gap del proyecto por falta de especificaciones técnicas en materiales tipo B o C. Por lo que es necesario definir una política de calidad seria en la elaboración del MLP, para dicho tipo de materiales; cuyas reclamaciones repercuten en la disminución de la utilidad para el contratista principal.

- Pasando al tema de control sobre inventarios, se obtuvo la siguiente distribución en cuanto a la frecuencia con que se lleva a cabo el conteo de materiales, por diferentes sistemas.

Figura 41. Frecuencia en control de inventarios

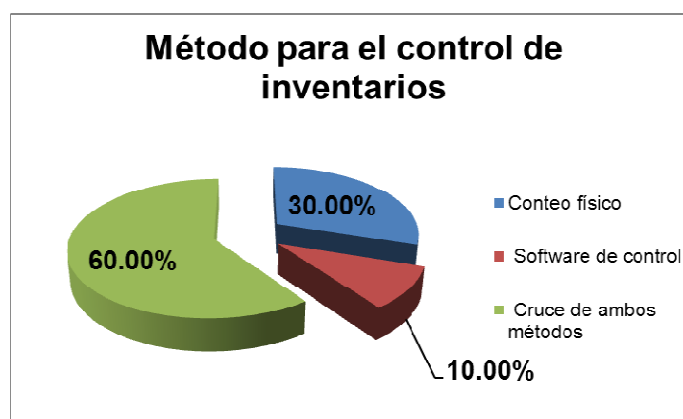


(Fuente: elaboración propia)

El control mensual, con un 61,54%, no es un buen indicador sobre un control presupuestal más acertado. Lo anterior se da por lo dispendioso de los procedimientos de conteo, por lo tanto, se acude a la practicidad para extrapolar información en muchas de las veces en donde la información no se puede obtener en forma remota. Si lo ideal es la planificación semanal, lo más acertado es hacer el control semanal, tal y como sucede en el 23,08% de las veces.

- La metodología para el control de inventario se da a partir de tres posibilidades; por conteo físico, a través de un software de control y por el cruce de ambos métodos.

Figura 42. Metodología empleada para el control de inventario de recursos

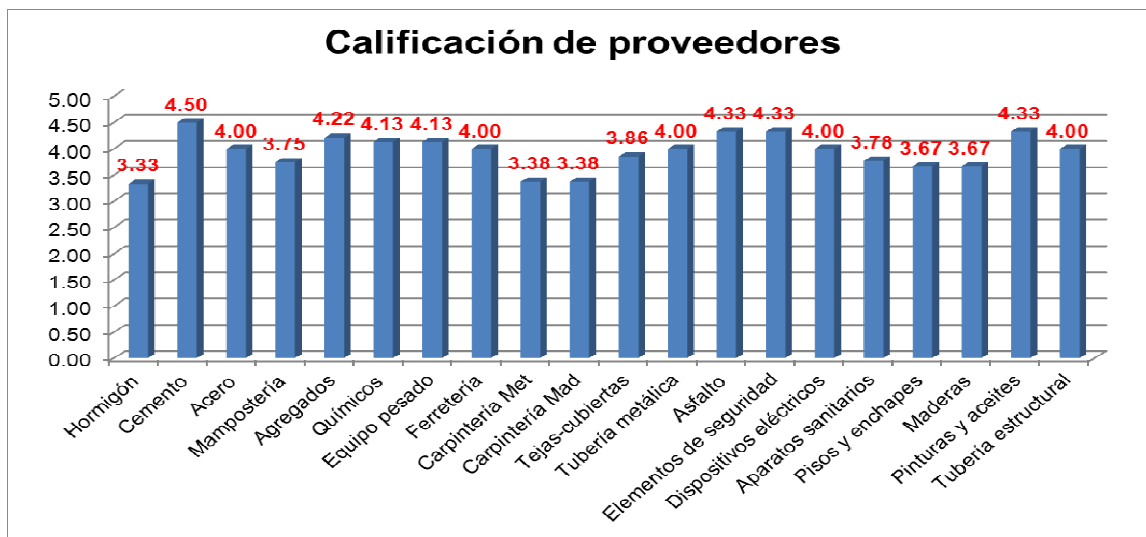


(Fuente: elaboración propia)

Los porcentajes anteriores no denotan el porcentaje de proyectos que utilizan dichos métodos, sino, la proporción en que cada uno de estos métodos es utilizado en los diferentes proyectos. La mayoría de las constructoras (seis de las nueve empresas) utilizan la combinación de ambos métodos, conteo físico y utilización de software de control, respectivamente.

Otro componente que se evaluó fue la percepción de cumplimiento que los constructores tienen sobre los proveedores de materiales y herramientas. Este diagnóstico es fundamental para proyectar el nivel de compromiso que los proveedores pueden adquirir en caso de que se llegue a una programación con fechas definidas desde el comienzo de la obra, en donde se fijen las cantidades a entregar por parte de los proveedores. Evidentemente existirán holguras de tiempo en alguno de los casos en donde el requerimiento no sea inmediato. La siguiente figura muestra la calificación de cada uno de los proveedores en escala 1-5, siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta.

Figura 43. Calificación de proveedores en obras de edificación



(Fuente: elaboración propia)

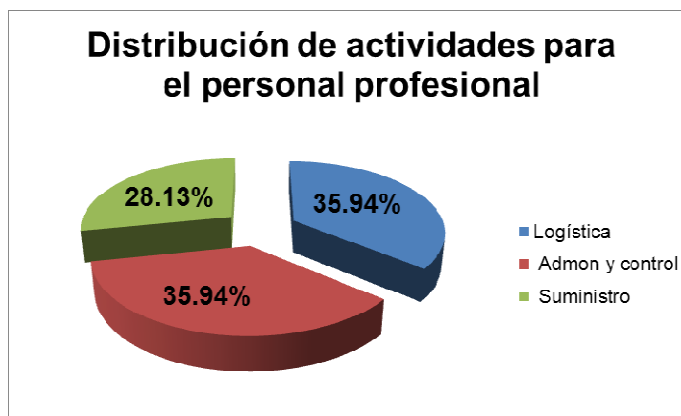
La nota promedio para los proveedores fue de 3,94 sobre 5 con una desviación estándar de 0,34. Las notas muestran calificaciones muy bajas para los proveedores de hormigón premezclado, con un 3,33 sobre 5. Si se tiene en cuenta que muchas veces la estructura representa una actividad crítica, dicha calificación no favorece a la programación y por lo tanto alarga el lead time del proyecto. Existen otros proveedores, como los de carpintería metálica y de madera, con un 3,38 sobre 5, que bien pueden representar un inconveniente en caso de que no se programen con anticipación a seis semanas o más, caso similar con los pisos y enchapes con un 3,67 sobre 5. Por lo tanto es conveniente una planificación táctica rigurosa que permita tener alternativas de provisión con holguras razonables, en caso de que estas se puedan admitir para dicho proveedor.

Logística de personal.

Fase de presupuestación.

En la fase de presupuestación se comienza por conformar los equipos de trabajo y la respectiva definición de roles. Un dato muy contundente es que no se utilizan profesionales exclusivamente para controlar actividades técnicas, lo que implica que los profesionales en obra a parte de atender las labores de construcción, necesariamente deben atender al mismo tiempo los asuntos administrativos, logísticos y de suministro de recursos a la obra.

Figura 44. Destino de ocupación de personal profesional para las distintas actividades en las obras de construcción de edificación



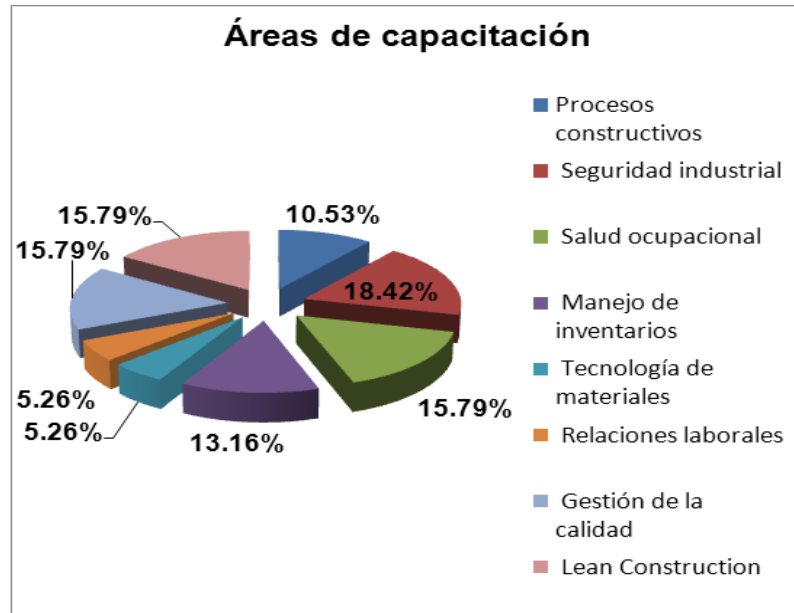
(Fuente: elaboración propia)

Fase de preconstrucción.

La planificación de las estrategias para lograr una buena comunicación con todo el personal de la obra se define en la fase de preconstrucción, así como también las jornadas de capacitación en aspectos técnicos o de organización; aunque también esto puede formar parte de unas políticas claramente establecidas por la empresa. En el resultado de la encuesta, se encontró que el 77,78% de los proyectos tienen previstas jornadas de esta naturaleza. Los siguientes fueron los resultados obtenidos:

- Las capacitaciones en seguridad industrial representan el primer lugar, significando esto, que en el 18,42% de los casos en que las empresas deciden capacitar el personal, se hace en esta área. Curiosamente Lean Construction comparte el segundo lugar con salud ocupacional y gestión de la calidad con un 15,79%, lo que da muestra del creciente interés de las empresas constructoras por reducir sus niveles de desperdicio. Seguidamente, se encuentran las capacitaciones sobre manejo de inventarios con un 13,16%, procesos constructivos con un 10,53%, y tecnología de materiales compartiendo el último lugar con el tema de relaciones laborales con un 5,26%, descuidando la componente de formación en relaciones humanas en cuanto a capacitación del personal de la obra.

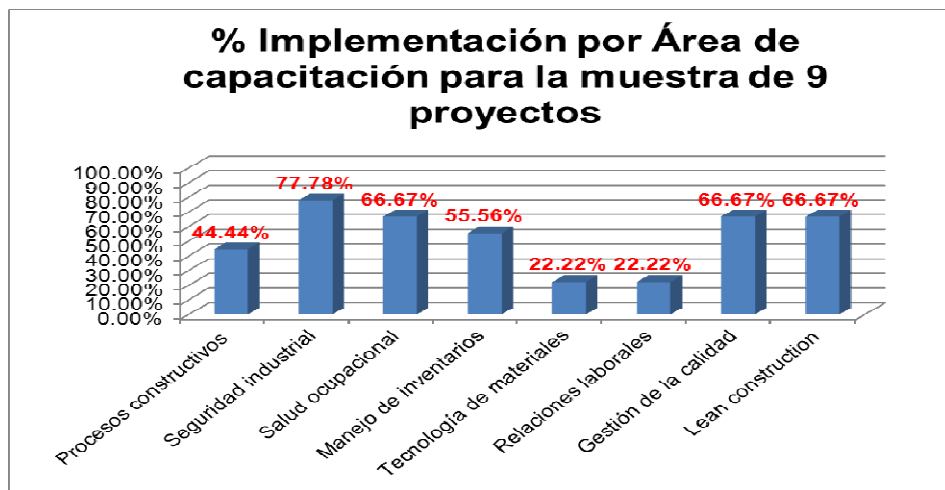
Figura 45. Áreas de capacitación del personal de la construcción



(Fuente: elaboración propia)

La información anterior también se puede visualizar por frecuencia de implementación para los nueve proyectos, así:

Figura 46. Porcentaje de implementación de capacitaciones temáticas para el personal de la construcción

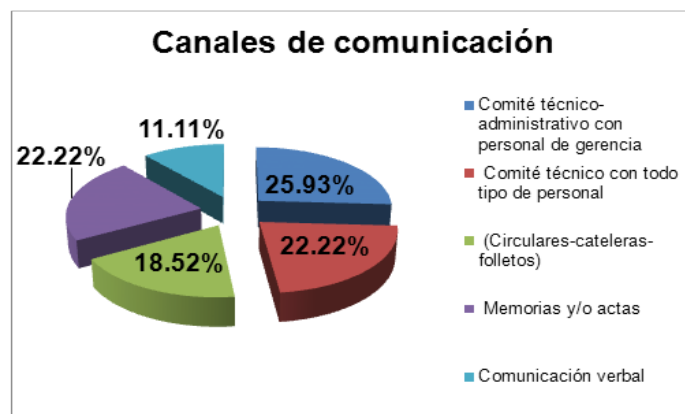


(Fuente: elaboración propia)

Claramente la figura anterior indica que en el 77,78% de los proyectos se dictaron capacitaciones sobre seguridad industrial.

- Los canales de comunicación que se definen en la fase de preconstrucción, corresponden a las reuniones técnico-administrativas que se van a llevar a cabo a lo largo del desarrollo del proyecto. Dichas reuniones se efectúan con personal calificado y no calificado, en las siguientes proporciones.

Figura 47. Utilización de los canales de comunicación



(Fuente: elaboración propia)

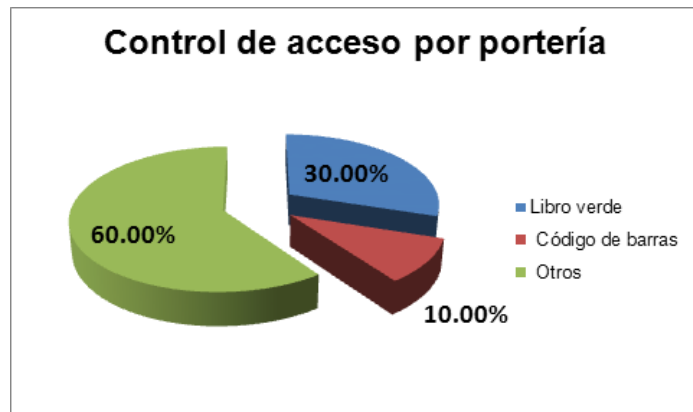
El 25,93% de la veces, se dan en los proyectos reuniones de carácter técnico-administrativo con personal de la gerencia, lo que da muestras que la planificación estratégica para la construcción de edificación domina los criterios para dirección de los mismos. En segundo lugar se le da paso a la planificación táctica y operacional, con reuniones de carácter técnico que se hacen con todo tipo de personal y que se dan el 22,22% y el 18,52% de las veces, respectivamente.

Fase de construcción.

Esta es quizá, la componente que más se involucra con el manejo logístico de materiales. Se evaluaron aspectos en cuanto a la conformación de cuadrillas y el control sobre las mismas, obteniendo los siguientes resultados:

- El 100% de los proyectos, controla en forma diaria el ingreso y la salida de personal. A parte de los métodos de control por “libro verde” y por código de barras, que representan el 40% de los métodos utilizados, otros métodos menos formales, como el llamado a lista representan el 60% de los métodos para el control de personal.

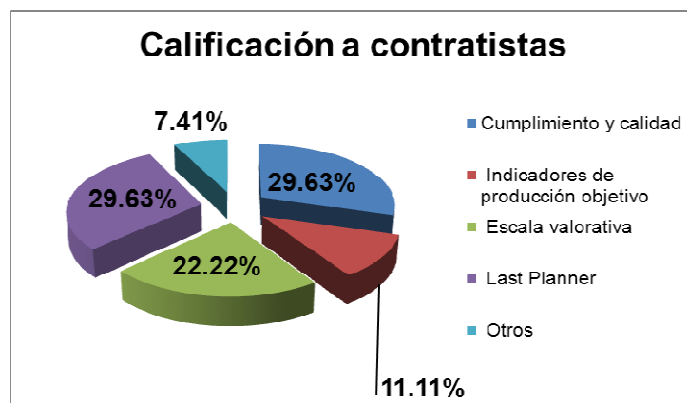
Figura 48. Métodos de control de acceso de personal en portería



(Fuente: elaboración propia)

- El sistema *Last Planner* y los plazos convenidos por cumplimiento y calidad ocupan el primer lugar en la selección de herramientas para la calificación de contratistas, con un 29,63% sobre la totalidad de posibles herramientas para el desarrollo de este ítem.

Figura 49. Distribución de las herramientas utilizadas para la evaluación de contratistas

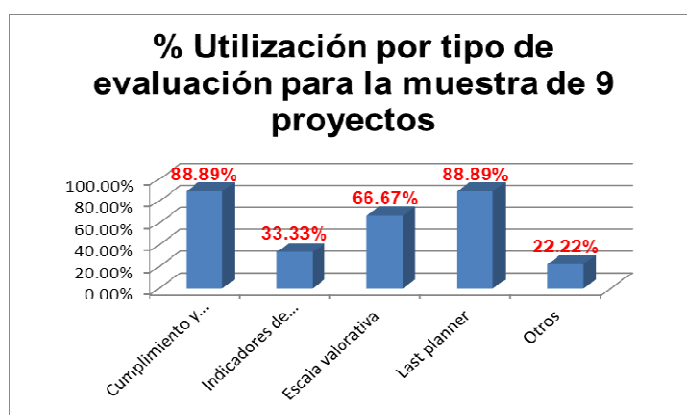


(Fuente: elaboración propia)

La escala valorativa puede corresponder a calificaciones cualitativas o de percepción sobre la imagen y el desempeño de los subcontratistas, y por lo general se somete al principio de transparencia, es decir, dichas calificaciones son conocidas por todos los entes involucrados en proyecto.

La información anterior también se puede visualizar por frecuencia de utilización en los nueve proyectos, así:

Figura 50. Porcentaje de utilización por tipo de herramienta de evaluación para subcontratistas del sector de la construcción



(Fuente: elaboración propia)

La diferencia entre los plazos por cumplimiento y calidad y el sistema *Last Planner*, radica en el nivel de compromiso que adquiere cada subcontratista con un porcentaje de actividades completadas (PAC) obtenido en forma parcial en cada periodo de corte.

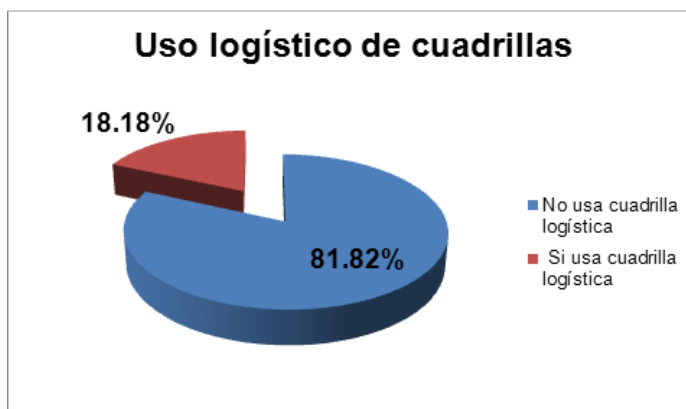
- Se evaluó el medio a través del cual una cuadrilla tiene acceso al aprovisionamiento de su frente de obra, dándose que en un 60% de las veces, el pedido mediante vale de consumo (orden de salida) solicitado al almacén, es el procedimiento más típico, seguido por el pedido mediante vale al maestro encargado con un 30% y de los pedidos verbales al almacén con el 10% restante. Lo anterior indica claramente los inconvenientes logísticos para la movilización de recursos al interior de la obra, pues cada cuadrilla requiere emplear tiempo no contributivo, o que no agrega valor, para el desplazamiento hacia el almacén. Esta situación se valida con la evidencia de la NO utilización de cuadrillas logísticas de soporte.

Figura 51. Metodología de acceso a materiales para abastecimiento del frente de obra



(Fuente: elaboración propia)

Figura 52. Porcentaje de utilización de cuadrilla logística para actividades de soporte

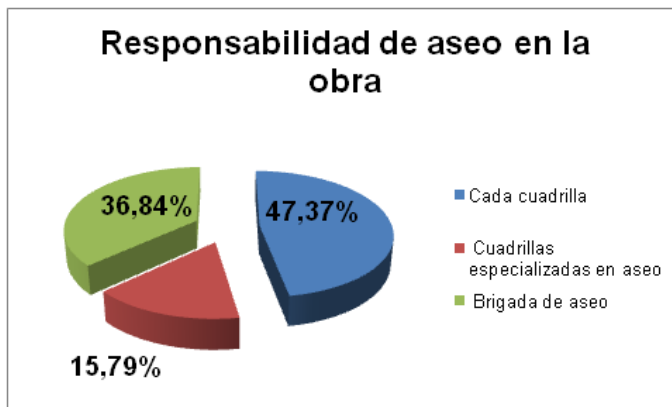


(Fuente: elaboración propia)

La figura 52 puede explicar el porqué de los elevados tiempos de soporte y de los tiempos que no agregan valor en la construcción de edificación. La ausencia de cuadrillas logísticas en un 81,82% de los proyectos consultados muestra deficiencias en la conformación de cuadrillas logísticas, en parte porque no se tienen previstas en el MLP, y en parte porque en muchos casos la figura de subcontratación pone las condiciones para la movilización y distribución de la gente en el frente de obra. Una vez más, es un tema para abordar en las reuniones de planificación táctica y operacional, en donde se comprometan los subcontratistas de mano de obra a respetar los procedimientos y disposiciones logísticas que se establezcan en el plan logístico desde la fase de preconstrucción.

Un aspecto relacionado con el apoyo logístico de cuadrillas es el tema de la definición de responsabilidades en cuanto al aseo de los diferentes frentes de obra y de los sitios comunes. La siguiente figura muestra la proporción en los proyectos a la hora de definir las actividades de limpieza.

Figura 53. Estrategia empleada para la limpieza en la obra



(Fuente: elaboración propia)

La distribución anterior es coherente con la distribución de la figuras 52. Las actividades de soporte le quitan tiempo a las actividades que agregan valor, haciendo que el tiempo logístico para la ejecución de las tas tareas se alargue, debilitando la cadena de suministros sobre todo en aspectos de abastecimiento, preparación del sitio de trabajo y comunicación con el almacén.

Logística de información.

En este flujo se preguntó esencialmente sobre la relación que las empresas tienen con los proveedores y subcontratistas, y el manejo de las tecnologías de comunicación.

Fase de presupuestación.

Desde la fase de presupuestación se definen las herramientas tecnológicas (software) para la planificación del proyecto, encontrando que el 100% de las empresas emplearon software para la programación de actividades, aunque el software para el control de presupuestos y el control de materiales solo se utilizó en un 88,9% de los proyectos, sin embargo, solo el 55,56% de las empresas consideran que dichas herramientas son apropiadas para el manejo logístico de la obra, lo que deja la puerta abierta a

herramientas integradoras de la gestión de proyectos de construcción que puedan concatenar la información financiera, contable, administrativa, etc.

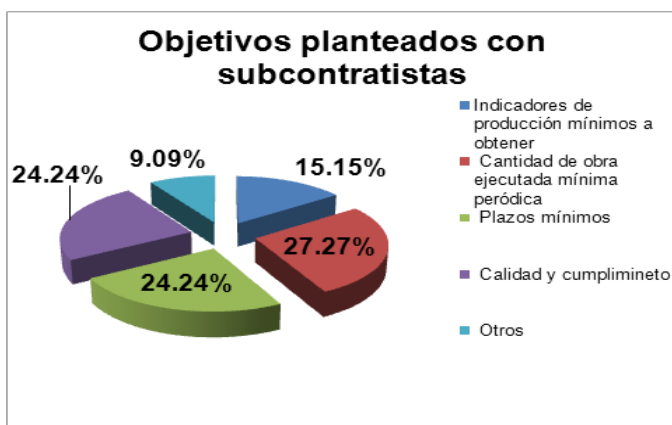
El software para programación que dominó en todos los casos, fue MS Project; en el caso de presupuestos y control, se encontraron diversas herramientas como Sap, Sinco, Opus, entre otras. Como herramienta integrada de gestión, Gico fue el único elemento tenido en cuenta por las empresas constructoras consultadas.

Fase de preconstrucción.

El flujo de información se refirió a la comunicación que el constructor o contratista principal tiene con proveedores y con subcontratistas de mano de obra. Respecto al contacto con proveedores, se maneja una relación centralizada desde las oficinas de la empresa, en un 38,46% de las veces; mientras que el contacto directo desde la obra con el proveedor de confianza se presenta en un 61,54% de las veces. Claramente el esquema de manejo centralizado de materiales no predomina en el gremio, lo que hace distante la posibilidad de manejar las obras por centro de abastecimientos CCC. Lo anterior no debe representar una excusa para no tener un flujo continuo de materiales; bien se puede hacer una superposición del centro de abastecimiento a partir de los principios expuestos en los capítulos anteriores, y aplicarlo en el almacén de la obra.

La relación con los subcontratistas es un tema que se está consolidando cada vez con mayor fuerza. El 100% de los proyectos consultados efectúan reuniones de planificación que incluyen la presencia de los subcontratistas, donde los temas fundamentales de la reunión se pueden dividir, según se muestra en la siguiente figura.

Figura 54. Temas abordados con subcontratistas en reuniones de planificación



(Fuente: elaboración propia)

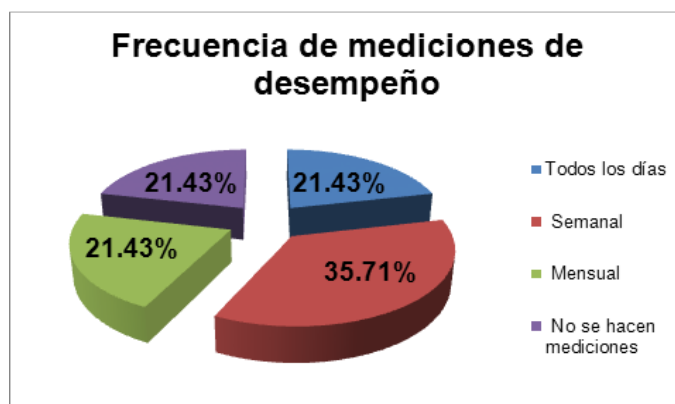
Los objetivos típicos de plazo, calidad, cantidad y cumplimiento conforman los temas de prioridad en la planificación de los diferentes frentes, sin embargo también se plantean objetivos de indicadores de producción y seguridad industrial, en menor medida.

Fase de construcción.

El flujo de información en la obra, no solo se refiere a los canales de comunicación empleados, sino también, a indicadores de desempeño que sirven como radiografía del proyecto. En el proceso de encuesta se evaluaron tres aspectos fundamentales: periodicidad de medición de indicadores clave de desempeño, herramientas para la comunicación y el cruce de información en la obra, y la caracterización del proceso de compras. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

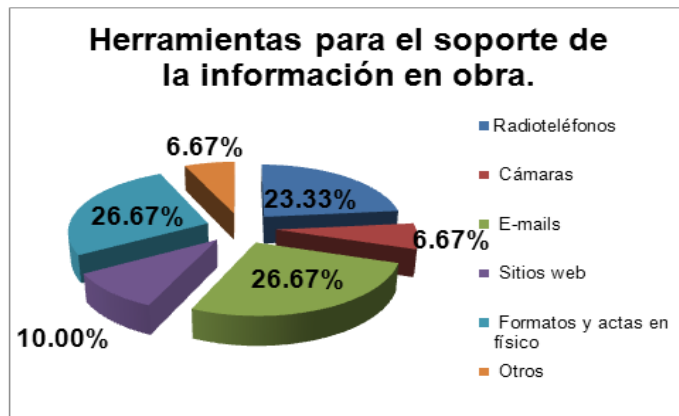
- Las mediciones se hacen con una frecuencia diaria, semanal y mensual. Cabe mencionar que hay proyectos en donde este tipo de mediciones no se efectúan.
- Las herramientas más utilizadas para el soporte de la comunicación son los e-mails, las actas y formatos, seguido del uso de radioteléfonos para solicitudes verbales.

Figura 55. Frecuencia de mediciones de desempeño en obra



(Fuente: elaboración propia)

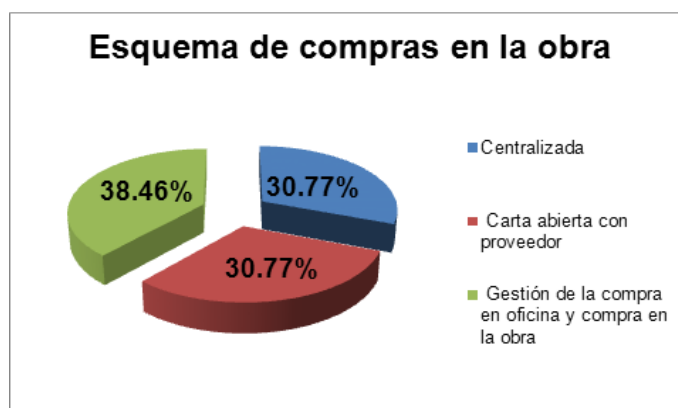
Figura 56. Utilización de herramientas de soporte para la comunicación



(Fuente: elaboración propia)

En cuanto al protocolo de compras desde la obra se obtuvo la siguiente información:

Figura 57. Protocolo de compra de material en la obra



(Fuente: elaboración propia)

Logística de equipos.

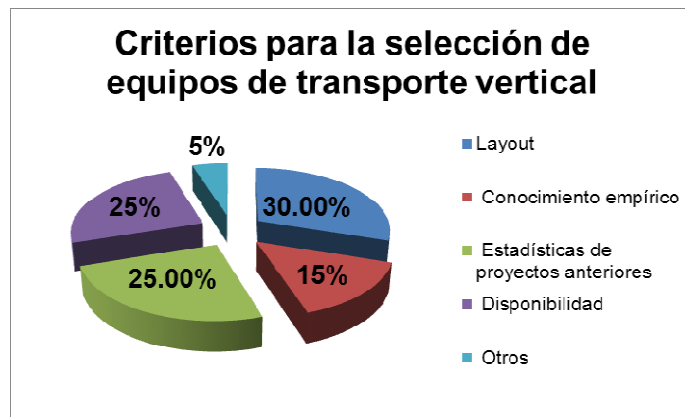
Para el desarrollo del proyecto, la maquinaria puede marcar la diferencia entre un proyecto eficiente y otro que no. La selección del equipos para transporte vertical y horizontal son factores que inciden directamente en los rendimientos de la mano de obra y obviamente también inciden en el lead time del proyecto. Un buen diseño de layout combinado con métodos heurísticos, pueden definir el éxito de la escogencia de la maquinaria, lo cual se debe tener claro desde la conformación del MLP.

Fase de presupuestación.

En esta fase se consultó sobre los criterios más importantes a tener en cuenta para la selección del equipo, obteniendo los siguientes resultados:

- El layout de obra, el conocimiento empírico, las estadísticas de proyectos anteriores y la disponibilidad de equipo, son los criterios que utilizan más a menudo las empresas constructoras seleccionadas para la muestra. La siguiente es la distribución de los porcentajes de utilización de dichos criterios.

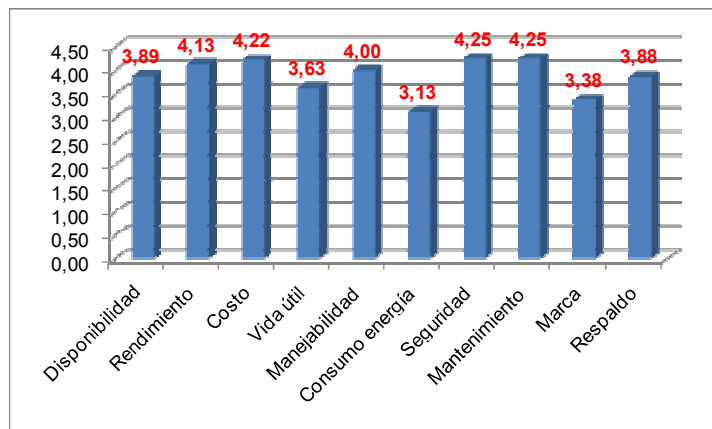
Figura 58. Criterios empleados para la escogencia de equipo pesado en la obra



(Fuente: elaboración propia)

En la figura 58 como criterio principal, imperan los resultados del estudio de layout, sin embargo se hace uso de variables como la disponibilidad de equipo y estadísticas de proyectos anteriores; luego la decisión puede estar sustentada en aspectos circunstanciales como la disponibilidad en el mercado de maquinaria, o bien, en aspectos probabilísticos que pueden acomodarse mejor a las restricciones que exhibe la planificación en planta. Las variables de decisión para la escogencia del equipo fueron calificadas por cada uno de las empresas, obteniendo los siguientes valores en escala de uno a cinco, siendo uno la calificación más baja y cinco la calificación más alta.

Figura 59. Calificación de variables de decisión para la escogencia del equipo



(Fuente: elaboración propia)

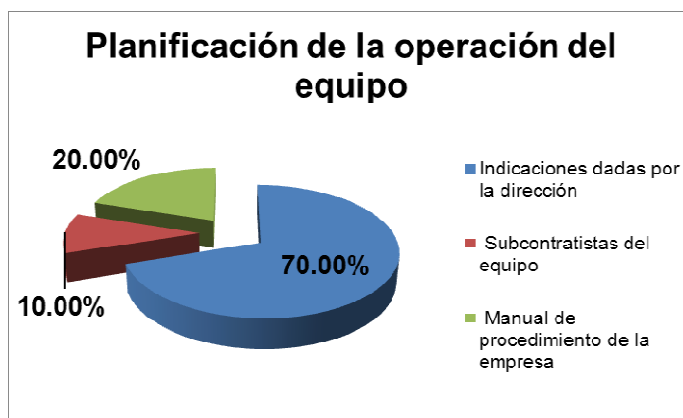
Como dato adicional para estas dos primeras fases, en solo el 66,67% de los proyectos se programaron los equipos a la par con el cronograma de actividades.

Fase de preconstrucción y construcción.

En estas dos fases se consultó sobre la planificación de la operación y el mantenimiento, obteniendo los siguientes resultados:

- La planificación de operación de maquinaria es un tema asumido en un 70% de las veces por la dirección del proyecto; en un 20% se acude a manuales de procedimiento estandarizados que maneja la empresa y solo en un 10% de las veces los dueños de la maquinaria programan sus actividades.

Figura 60. Nivel de responsabilidad en la planificación de maquinaria pesada en la obra



(Fuente: elaboración propia)

- El mantenimiento preventivo se programa según las especificaciones del fabricante en un 60% de las veces; según la experiencia de la dirección, en un 30%; y según la experiencia del operario, en un 10% de las veces. Las especificaciones dadas por el fabricante deben ser la principal herramienta para determinar los periodos de mantenimiento de los equipos, dado que estos son probados en condiciones extremas y cercanas a la falla, sin embargo, la información estadística producto de proyectos anteriores deberá complementarse con dicha información.

Figura 61. Criterio para planificación de mantenimiento preventivo



(Fuente: elaboración propia)

En el 66,67% de los proyectos se cuenta con una cuadrilla de apoyo logístico para el soporte del mantenimiento de la maquinaria. Por lo general es personal contratado por el outsourcing del equipo.

De esta forma fue como se detectaron parcialmente las fortalezas y debilidades del sector de la construcción en Colombia. El investigador considera que las empresas encuestadas son una muestra representativa del mercado, pues corresponden a constructoras pequeñas, medianas y grandes, con muchos años de experiencia en diferentes tipos de obra; como infraestructura vial y energética, vivienda, obras públicas, comercial, institucional, entre otras; lo que da luz verde para seleccionar tres empresas para la inspección diagnóstica de los procesos logísticos y de esta forma valorar la posibilidad de implementar una herramienta TIC para el fortalecimiento de la logística interna de sus respectivos proyectos, en por lo menos una de las obras.

5.3.2 LEVANTAMIENTO DE PROCESOS EN EL SITIO DE OBRA. Previo a la implementación del software de logística interna, es necesario hacer el reconocimiento del sitio de trabajo. Se seleccionaron tres empresas constructoras de la ciudad de Medellín catalogadas en cámara de comercio como grandes empresas; en adelante se conocerán como las empresas constructoras A, B y C, variables con las cuales también se diferenciarán sus respectivas obras. Las actividades realizadas fueron:

- Reconocimiento del sitio.
- Layout de obra.
- Organigrama de la obra.
- Reconocimiento de la estructura del almacén y los sistemas de entradas y salidas de recursos.
- Actividades realizadas y responsables de la ejecución.
- Observación sobre conformación de cuadrillas en los diferentes frentes.
- Valoración de los mecanismos de comunicación al interior de la obra.
- Valoración de los mecanismos de transporte vertical y horizontal.

5.3.2.1 Empresa constructora A. La obra A se ubica en la ciudad de Medellín y corresponde a un proyecto inmobiliario de edificación para uso residencial. El día de la visita a la obra, se contabilizaron 210 trabajadores en el sitio de construcción, distribuidos en los frentes de urbanismo, obra civil, cimentación profunda, estructura, y acabados.

Imagen 11. Obra A



(Fuente: elaboración propia)

Dadas estas condiciones, se considera que la obra es un escenario propicio para la implementación de la herramienta logística, pues se cuenta con un flujo considerable de materiales, personal, información y equipos. Luego el proyecto es compatible con los objetivos metodológicos para la introducción de los conceptos que soportarán el buen uso del software logística wi-fi.

La estructura de la planificación en la obra A se hace mediante la programación de capítulos y actividades en el largo plazo, sin embargo, se maneja programación intermedia y semanal soportada en formatos y actas de compromiso con los subcontratistas en las diferentes reuniones que se hacen con una periodicidad semanal. El grupo directivo de la obra se compone de un ingeniero director y un ingeniero residente quienes toman las decisiones en la parte logística, administrativa y técnica de la obra. De los 210 trabajadores en el sitio de construcción, 50 son por administración, es decir, son contratados directamente por la empresa constructora para que apoyen las actividades que adelantan los diferentes subcontratistas; siendo este un concepto que lleva implícito la asignación de roles en el área logística del proyecto.

Un aspecto por destacar es la clara diferenciación de las zonas de acopio de materiales, diferentes al almacén, con las zonas de producción y circulación, lo cual facilita las labores de control. Sin embargo, las distancias entre dichas zonas y cada una de las torres es considerable (150m a 200m aprox).

Se observó acumulación de inventario en materiales como bloques de arcilla y acero de refuerzo, lo cual contribuye al deterioro por ataque de agentes patógenos como la corrosión, en el caso del acero. La siguiente tabla describe el estado de la logística de la obra, basado en el ciclo logístico para la conformación del plan logístico de materiales (MLP) propuesto en 4.2.2.1.

Tabla 55. Descripción general de la logística en la obra de la empresa constructora A

Tipología de la obra	Obra vertical	Observaciones: recién se comienza a implementar el sistema Last Planner. En cuanto a la programación semanal, se hacen reuniones los Jueves con los distintos subcontratistas.			
Repetitividad	SI				
Área construida (sin contar Urbanismo)	29000 m2 Aprox				
Sistema estructural	Sistema combinado de muros vaciados y mampostería estructural				
Roles		Medios de Comunicación e información	Requerimiento de materiales	Recepción y almacenamiento	Subcontratistas
Equipo Construcción	1 Ingeniero residente, 1 Maestro General, 3 Maestros segundos, 1 Técnico de concretos, 150 Trabajadores de obra	Radioteléfono y comunicación verbal	Mediante solicitud verbal al almacén, con la aprobación del director y/o el residente de obra. En caso de aprobación del pedido, el almacén expide un recibo de salida	Entrada con remisión del proveedor y acopio aleatorio en el sitio de almacén en el caso de los materiales tipo B y C. Para los materiales tipo A se tienen patios de material claramente definidos en la obra	Estructura: 120 Personas; Pintura: 12 personas; Enchapadores: 2 personas; Plomeros: 6 personas; Eléctricos: 5 personas
Equipo Logístico	1 Ingeniero director, 1 Ingeniero residente, 50 Trabajadores de obra	Radioteléfono y comunicación verbal			
Equipo Administrativo	1 Ingeniero director, 1 Ingeniero residente	Comunicación verbal, excel, project, y correo electrónico			
Equipo de Suministro	1 Almacenista, 1 Herramientero	Comunicación verbal, radioteléfono, y excel			

(Fuente: elaboración propia)

Imagen 12. Oficinas obra A

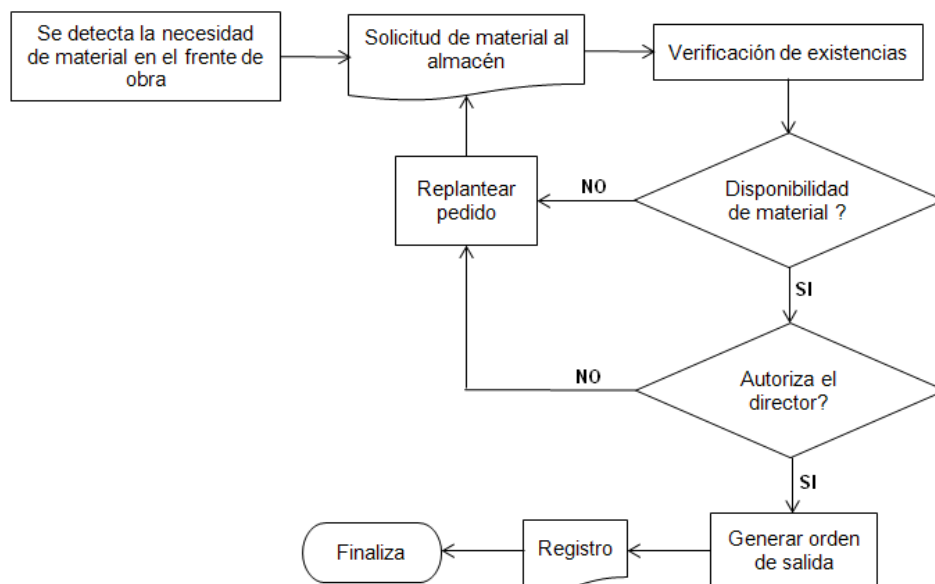


(Fuente: elaboración propia)

La gestión del almacén en cuanto al flujo de materiales, se describe en la figura 62 y exhibe una estructura jerárquica⁶⁸, que consume gran cantidad de tiempo logístico. A continuación se citan los tiempos empleados para este procedimiento.

⁶⁸ Primero se detecta la necesidad de aprovisionamiento por parte de los trabajadores de obra; luego, se le comunica la inquietud al maestro de obra o al encargado, posteriormente se le hace la solicitud verbal al almacenista. El almacenista chequea la disponibilidad del recurso y en caso tal de tener acceso al material solicita un permiso a la dirección para hacer entrega del mismo a los trabajadores del frente de obra. Esta estructura se puede considerar como una cadena de suministros con jerarquías en la toma de decisiones, lo cual contribuye al alargue del lead time. Cabe anotar, que si se cuenta con un MLP bien estructurado, y la posibilidad de tener información remota sobre la disponibilidad de existencias, necesariamente se acorta la cadena de suministro y se evitan este tipo de desgastes administrativos al interior de la obra. Obviamente para los materiales tipo C, la solicitud del material se hace directamente al almacenista. Sin embargo, para muchos de los materiales tipo B y para la totalidad de los materiales tipo A, el filtro de los ingenieros está presente en el trámite del pedido.

Figura 62. Diagrama de flujo para la gestión de pedidos en almacén de materiales tipo B y C. En la obra A



(Fuente: elaboración propia)

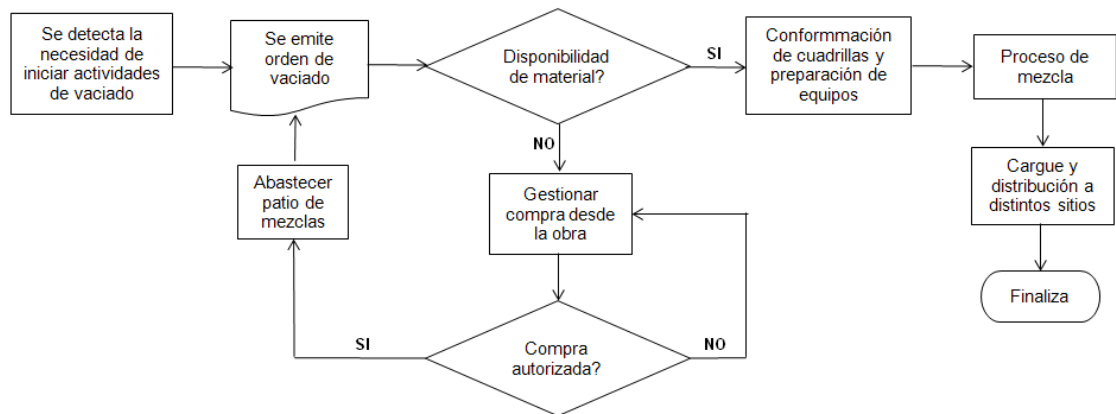
Los tiempos identificados, empleados para el trámite del pedido en desarrollo de una actividad que se adelante bajo el esquema de la figura 62 son:

- Tiempo empleado para que un trabajador del frente de obra contacte al maestro o al encargado de solicitar el pedido.
- Tiempo empleado por el maestro o encargado para solicitar el pedido.
- Tiempo empleado por el almacenista para verificar existencias.
- Tiempo empleado por la dirección para autorizar el pedido.
- Tiempo empleado por el almacenista para generar la orden y replantear cantidades existentes.
- Tiempo empleado para registrar la salida de material.
- Tiempo empleado por un trabajador del frente de obra para desplazarse al sitio de almacén para diligenciar la orden de pedido.

Lo anterior refleja lo compleja que se vuelve la cadena de suministros para una estructura de pedidos, aparentemente sencilla, tal como se muestra en la figura 62. Es importante considerar que todos estos tiempos al totalizarse para todos los materiales que se manejan por almacén, representan tiempos que no agregan valor. Cabe anotar que dichos tiempos no son uniformes y varían según las condiciones de la obra.

La gestión de materiales tipo A, como el hormigón mezclado en la obra, se efectúa bajo el siguiente esquema.

Figura 63. Diagrama de flujo para la gestión en patios de materiales tipo A. En la obra A



(Fuente: elaboración propia)

El esquema que expone la figura 63 funciona en forma continua si los diferentes frentes de vaciado pueden garantizar una producción igualmente continua para la jornada en que se programen dichas actividades. El manejo de este tipo de materiales no es tan dispendioso como el de los materiales tipo B y C, dándose en forma más explícita siempre y cuando no haya deficiencias en el aprovisionamiento de los patios. Por lo general, este tipo de materiales corresponden a actividades que pertenecen a la ruta crítica, luego se deben garantizar inventarios de seguridad que aseguren la disponibilidad de los recursos.

En cuanto a la logística para el funcionamiento de equipos de transporte vertical y horizontal, la obra cuenta con el siguiente inventario: Una torre grúa, 3 malacates ubicados en sendas torres de apartamentos, un plumacate para apoyar actividades de acabados y una pluma sencilla. La siguiente tabla resume las características del inventario de equipos.

Tabla 56. Inventario de equipos de transporte vertical y horizontal en la obra A

Equipo	Cantidad	Distancia mínima recorrida (m)	Distancia máxima recorrida (m)	Velocidad Promedio (m/min)
Torre grua	1	NA	NA	NA
Malacate	3	2,5	53	90
Plumacate	1			70-80
Pluma	1			70-80
Minicargadores	2	NA	NA	300

(Fuente: elaboración propia)

La información anterior es indispensable para la conformación de un modelo de simulación o la representación de un tiempo de ciclo para actividades típicas que se estén desarrollando en el momento.

5.3.2.2 Empresa constructora B. La obra B se ubica en la ciudad de Medellín y corresponde a un proyecto inmobiliario de edificación para uso residencial. En el momento de la primera visita a la obra, recién se terminaba la parte correspondiente a la estructura y se daba inicio a las actividades de mampostería, resanes y estuco, plomería e instalaciones eléctricas. Se contabilizó un total de 63 personas trabajando en los diferentes frentes de obra.

Imagen 13. Obra B



(Fuente: elaboración propia)

La obra se presta para la implementación del software de logística interna, “logística wi-fi”. Una de sus características principales es la organización contable y financiera que se lleva en la obra, lo cual facilita la gestión de recursos en el almacén.

Adicionalmente se cuenta con la posibilidad de tener una base de datos actualizada y confiable, producto de la operación de un ERP como SAP. La empresa constructora B cuenta con sistema de gestión de calidad que garantiza homogeneidad en la metodología de muchos de sus procesos y adicionalmente se tienen claramente definidos los roles para la ejecución de las operaciones logísticas que se presentan. De común acuerdo entre la dirección de la obra y el investigador, se utilizará la aplicación logística en forma metódica y llevando registros paralelos con la mecánica de trabajo convencional utilizada en la obra para las actividades de enchapes de pared y pisos, y estuco.

El equipo directivo de la obra lo componen un ingeniero director, un ingeniero residente y un ingeniero para el manejo administrativo. Como personal de apoyo, la obra cuenta con un profesional en gestión humana, encargado de los temas de seguridad industrial y salud ocupacional, y un maestro general. El equipo directivo comparte labores tanto en la parte técnica como en la gestión misma de la obra.

La modalidad de contratación de la mano de obra se hace por tercerización para cada una de las diferentes actividades programadas por la dirección.

Para la implementación de la herramienta logística, la dirección de la obra pone a disposición una cuadrilla logística para la distribución y entrega de recursos directamente al frente de obra, lo que sin dudas facilita un escenario más propicio para la introducción de los conceptos de gestión logística.

En cuanto al acopio de materiales, no es evidente la acumulación de inventarios, salvo en el recurso de mampostería, en donde se acumulan varios viajes de ladrillo común, adyacente a la zona de mezclas. El inventario del almacén es fácilmente diferenciable y cada insumo tiene su respectivo código en SAP, configurándose diferentes centros de costos. Los pedidos al almacén se hacen mediante vales escritos, los cuales son emitidos en la mayoría de las veces por el maestro de la obra. Muchas veces los vales son rechazados por el personal del almacén debido a que no hay existencias en el inventario disponible. La siguiente tabla describe el estado de la logística de la obra, basado en el ciclo de planificación logística para la conformación del plan logístico de materiales (MLP) propuesto en 4.2.2.1.

Tabla 57. Descripción general de la logística en la obra de la empresa constructora B

Tipología de la obra	Obra vertical	Observaciones: La constructora B tiene implementado Last Planner en varias de sus obras. Para el caso de la obra B, no se tiene implementada dicha herramienta.			
Repetitividad	SI				
Area construida (sin contar Urbanismo)	4500 m2 Aprox				
Sistema estructural	Muros vaciados en concreto				
Roles		Medios de Comunicación e información	Requerimiento de materiales	Recepción y almacenamiento	Subcontratistas
Equipo Construcción	1 Ingeniero Residente, 1 Profesional en gestión humana, 1 Maestro de obra, un Auxiliar encargado, 63 Trabajadores de obra	Radioteléfono y comunicación verbal	Desde el frente de obra se hace la solicitud directa al maestro, quien en el sitio elabora un vale de pedido (orden de salida). Posteriormente, el responsable del pedido se dirige al almacén por el pedido (sin verificar existencias)	Entrada al almacén con remisión del proveedor y posterior registro al ERP. Para los materiales tipo A y B se tienen definidas las áreas de acuerdo con el layout de la obra. Los materiales tipo C se acopian en el sistemáticamente en el almacén	Estructura: 15, Mampostería: 12, Estuco: 2, Resanes: 12, Plomeros: 8, Eléctricos: 10, Pisos: 4
Equipo Logístico	1 Ingeniero Director, 1 Ingeniero Residente	Radioteléfono y comunicación verbal			
Equipo Administrativo	1 Ingeniero Director, 1 Ingeniero Residente	SAP, Excel			
Equipo de Suministro	1 Almacenista, 1 Auxiliar de almacén	SAP, Excel			

(Fuente: elaboración propia)

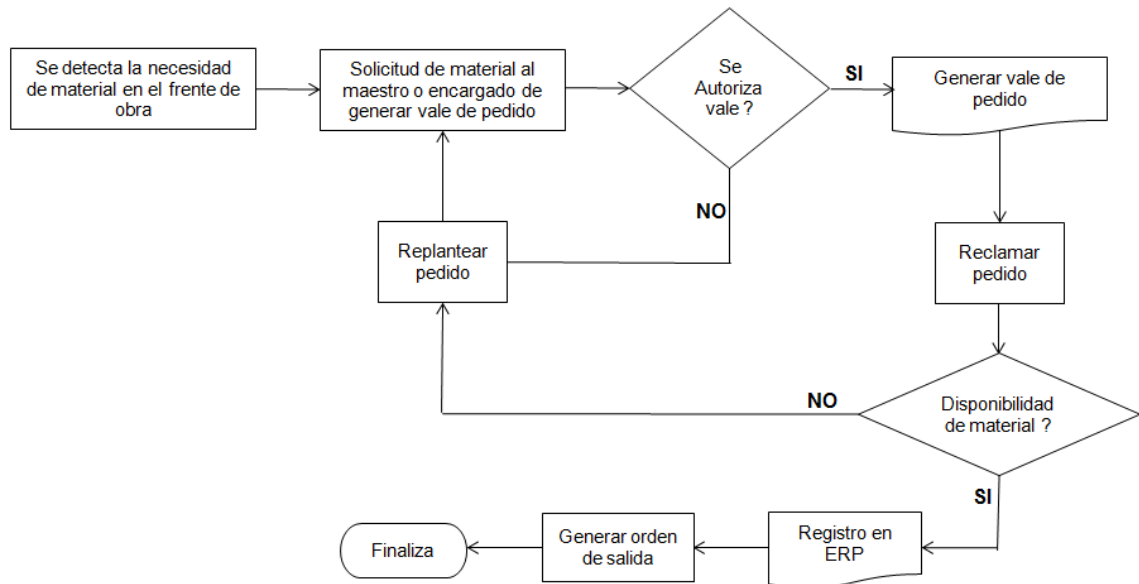
La gestión del almacén se describe en la figura 64 y corresponde a una descripción resumida sobre el trámite al interior de la obra para el flujo de materiales.

Imagen 14. Oficina del almacén en obra B



(Fuente: elaboración propia)

Figura 64. Diagrama de flujo para la gestión de pedidos en almacén de materiales tipo B y C. En la obra B



(Fuente: elaboración propia)

Es evidente que hay dos eventos para la toma de decisiones; el primero para la autorización del vale de pedido, y el segundo para la verificación de existencias. Sin duda esto implica una serie de reprocesos una vez que se replantee el pedido. Lo anterior puede suceder con frecuencia por el desconocimiento real del inventario, que el maestro o el encargado de generar el vale, tengan en el momento de generar dicho documento.

Esto hace que muchos de los desplazamientos hacia el almacén se conviertan en pérdidas. Otro elemento a tener en cuenta es la acumulación excesiva de papelería (vales de pedido), los cuales deben ser ingresados al sistema manualmente.

5.3.2.3 Empresa constructora C. La obra C se ubica en la ciudad de Medellín y corresponde a un proyecto inmobiliario de edificación para uso residencial. El proyecto se encuentra en el inicio de las actividades de acabados, con la particularidad de que el cliente tiene carta abierta en cualquier momento de esta fase de la obra, para el cambio de las especificaciones en los materiales, por lo que no es posible asignar uniformemente los recursos a cada uno de los destinos. En el momento de la primera inspección se contabilizaron 78 trabajadores en el frente de obra, de los cuales 20 están vinculados laboralmente con la constructora C, y contribuyen para el soporte logístico de las actividades efectuadas por los diferentes subcontratistas.

Las actividades corresponden a labores de mampostería, divisiones, pisos, enchapes, carpintería metálica y de madera, estuco y pintura, drywall, instalación de ascensores, revoque, Estructura metálica, instalaciones eléctricas, plomería, urbanismo y aseo.

Imagen 15. Obra C



(Fuente: elaboración propia)

Se considera que la obra es un buen escenario para la implementación de “logística wi-fi” por la diversidad de actividades, lo que permite un flujo de materiales considerable desde el almacén. Adicionalmente la organización de la obra en cuanto a la definición precisa de los roles de trabajo es una garantía para estructurar el ejercicio de implementación de la herramienta logística. El control contable y financiero se hace a través del ERP SINCO, lo que permite un mayor nivel de precisión a la hora de obtener los registros de inventarios, condición necesaria para la correcta operación del sistema que se piensa implementar.

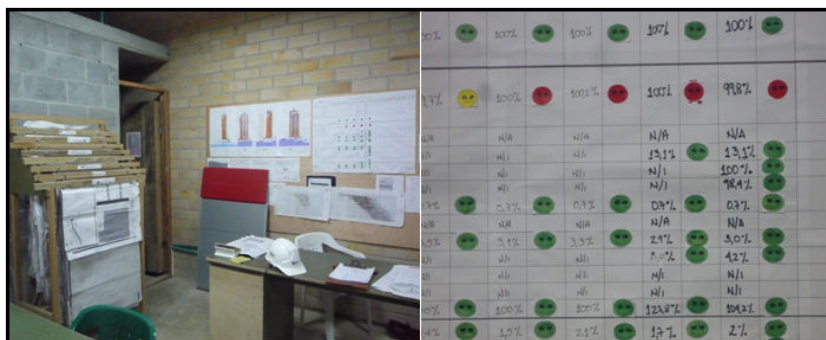
La dirección del proyecto se compone de un coordinador de obra quien inspecciona el proyecto en forma itinerante, un director de obra para la administración y el control financiero y técnico, dos ingenieros residentes de obra para supervisión técnica y control de recursos. Como personal de apoyo se cuenta con un inspector para seguridad industrial y salud ocupacional, un maestro de obra y un almacenista. El esquema de compras en la constructora C es centralizado con la previa generación de una orden de compra que autoriza el director o el coordinador. Para las órdenes de salida, la autorización la da el maestro de obra, sin embargo, para materiales como el piso, son los ingenieros residentes quienes autorizan la salida de almacén. La siguiente tabla describe el estado de la logística de la obra, basado en el ciclo logístico para la conformación del plan logístico de materiales (MLP) propuesto en 4.2.2.1.

Tabla 58. Descripción general de la logística en la obra de la empresa constructora C

Tipología de la obra	Obra vertical	Observaciones: Hay calificación cualitativa a contratistas, y se puede decir que cada uno se compromete con cierta cantidad semanal, sin embargo no se tiene un registro histórico de porcentajes de actividades completadas o indicadores de productividad.			
Repetitividad	SI				
Area construida (sin contar Urbanismo)	5000 m2 Aprox				
Sistema estructural	Pórticos en concreto				
Roles		Medios de Comunicación e información	Requerimiento de materiales	Recepción y almacenamiento	Subcontratistas
Equipo Construcción	2 Ingenieros Residentes, 1 Inspector siso, 1 Maestro de obra, 58 Trabajadores de obra	Radioteléfono, carteleras informativas y comunicación verbal	Una vez se detecta la necesidad, el maestro mediante vale da la orden de salida del almacén; en caso de ser materiales como pisos y enchapes, la orden la dan los ingenieros residentes.	El almacén es abastecido directamente por el proveedor. La compra es centralizada y el trámite de facturación se maneja desde la oficina principal de la constructora.	Divisiones: 2, Mampostería: 9, Enchapes: 8, Carpintería: 1, Pintura y estuco: 3, Drywall: 5, Ascensores: 4, Revoques: 9, Estructura metálica: 3, Eléctricas: 5, Plomeros: 3, Urbanismo: 3, Aseo: 3
Equipo Logístico	1 Ingeniero director, 2 Ingenieros residentes, 20 Trabajadores de obra	Radioteléfono y comunicación verbal			
Equipo Administrativo	1 Coordinador, 1 Ingeniero director, 2 Ingenieros residentes	SINCO, Excel			
Equipo de Suministro	1 Almacenista	SINCO, Excel			

(Fuente: elaboración propia)

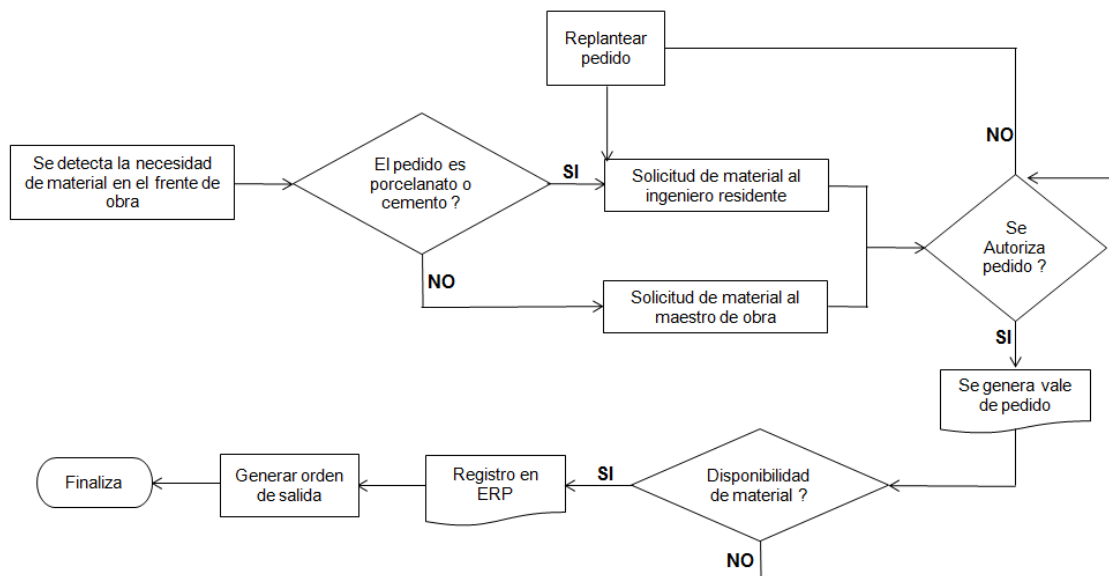
Imagen 16. Planificación en obra C



(Fuente: elaboración propia)

La gestión del almacén se describe en la figura 65 y corresponde a una descripción resumida sobre el trámite al interior de la obra para el flujo de materiales.

Figura 65. Diagrama de flujo para la gestión de pedidos en almacén de materiales tipo B y C. En la obra C



(Fuente: elaboración propia)

La estructura anterior tiene similitudes con la obra B, en cuanto a los reprocesos. Una vez más los vales de pedido son aceptados sin chequear la disponibilidad de inventarios en el almacén, lo que genera acumulación física de vales de pedido por anular. Pero no solo la disponibilidad de inventario es la variable fundamental por resolver, sino también la disminución de los trámites para la adquisición de determinados materiales y posibilidad de evaluar existencias directamente desde el frente de obra, evitando desplazamientos ociosos por parte del personal del subcontratista o de la administración.

Un punto por destacar en la obra C es la programación de los pedidos de compra, los cuales se efectúan únicamente entre miércoles y jueves desde la obra, procesándose en la oficina central y generando la respectiva orden de compra al proveedor, quien se encarga de abastecer el almacén de la obra. Lo anterior es coherente con la planificación semanal que se efectúa los días martes, y en donde los diferentes subcontratistas se comprometen con determinadas cantidades y plazos.

5.4 MODELO DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA TIC PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA LOGÍSTICA EN EL SITIO DE CONSTRUCCIÓN.

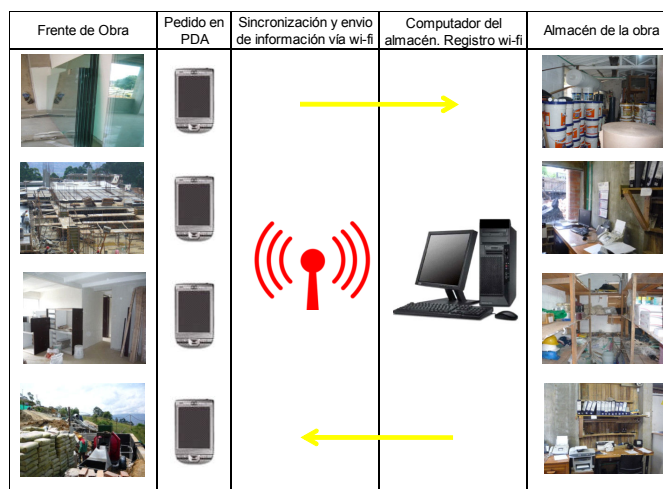
Detectadas las dificultades en comunicación y manejo de información, obtenidas a partir del diagnóstico de las obras de las constructoras A, B y C, se prosigue con la implementación de la herramienta TIC seleccionada según las características expuestas en 4.3.4.1 y como respuesta a la necesidad de EAFIT-CIDICO, de comenzar a observar la construcción como un fenómeno en donde convergen flujos logísticos de materiales, personal, información y equipos que deben ser controlados mediante planificación logística para la obtención del objetivo fundamental del sector, que es la transformación de materiales según los requerimientos específicos del cliente y en el menor tiempo posible. La herramienta TIC propuesta para el siguiente trabajo brindará un soporte para el manejo de recursos en el almacén de las diferentes obras, sin pretender que este sea un suplemento del ERP, sino, un complemento que a futuro brinde la posibilidad de lograr una interface Software de logística-ERP propuesta en la figura 29 del numeral 4.3.4.2.

Los pasos a seguir en la implementación de logística wi-fi se resumen en los siguientes puntos:

- Reunión informativa con la dirección del proyecto.
- Requerimientos tecnológicos para la instalación.
- Instalación del software en el computador del almacén.
- Configuración y asignación de las PDA.
- Alimentación del sistema con la información de la obra.
- Definición de operaciones con el sistema (selección de materiales y responsables).
- Seguimiento a la operación del sistema.
- Obtención de datos.

5.4.1 Funcionamiento de logística wi-fi. El funcionamiento básico del software logística wi-fi se comprende fácilmente a partir de la figura 66.

Figura 66. Esquema de funcionamiento del software logística wi-fi



(Fuente: elaboración propia)

De manera general no es más que la detección de necesidades de material en el frente de obra, desde donde se verifica su disponibilidad de inventario en el almacén y se generan vales de pedido desde el dispositivo PDA; la señal wi-fi sirve de puente para sincronizar dicha información con el computador del almacenista, quien hace las veces de servidor. Una vez la información se recibe en el computador del almacenista, se procede con la aceptación o el rechazo del vale de pedido; en caso de que sea aprobado dicho vale, se programa la fecha y hora tentativa para el envío de dicho material, o bien, para la entrega en la puerta del almacén a la persona responsable. El estado del pedido puede ser revisado en forma remota por el usuario del dispositivo PDA. Por lo tanto, se puede decir que las dos partes, emisor y receptor del vale, en forma recíproca, tienen acceso a determinada información referente a las órdenes de pedido emitidas desde el frente obra. La metodología anterior implica la eliminación de vales de pedido en físico y la actualización del Kardex de la obra en tiempo real.

La forma más eficiente como se puede operar el sistema dependerá de la organización al interior de la obra, las rutas internas para la movilización, los sistemas de aprovisionamiento del almacén y la definición de roles según lo previsto en el plan logístico. En adelante se pretende exponer las propiedades del sistema en forma paralela con los procedimientos necesarios para la implementación de la herramienta en la obra⁶⁹.

⁶⁹ Esto no pretende reproducir los manuales de operación del software, los cuales se adjuntan en los respectivos anexos, sino, aprovechar las características de la herramienta para la introducción y el repaso de conceptos de logística ya mencionados en el presente trabajo.

5.4.1.1 Datos de entrada para el software logística wi-fi. Los datos de entrada se importan directamente desde Excel®, en donde se configuran unas planillas con la siguiente información.

Destinos: corresponden a los espacios físicos de la obra a donde se envían los recursos (materiales, equipos o herramientas) desde el almacén o desde el acopio donde se disponga dicho envío. Los destinos se podrán segmentar de acuerdo con la complejidad de la obra, o bien, de acuerdo con el nivel de detalle que quiera asumir la dirección para el control de consumo de recursos desde los diferentes frentes, por ejemplo: para determinado proyecto de apartamentos la segmentación de los destinos puede ser:

- +Torre 1.
 - Piso 1.
 - Apartamento 1.
 - Alcoba1.
 - Alcoba2.
 - Sala-comedor.
 - +Apartamento 2.
 - +Piso 2.
 - +Piso 3.
 - .
 - .
 - .
 - +Piso n.

La segmentación de los destinos es una herramienta útil de control siempre y cuando se tengan muy bien definidas las cantidades exactas (teóricas) que se consumen cada uno de los respectivos destinos, según se expone en la conformación del ciclo logístico de planificación expuesto en 4.2.2.1, lo cual hace parte también del esquema MLP propuesto en los apartados anteriores. Esta posibilidad de control permite detectar pérdidas y/o imprevistos de obra e identificar los responsables, previo al registro personalizado que se efectúa desde la elaboración del vale de pedido.

Etapas (capítulos): las etapas o capítulos corresponden a los diferentes momentos de la obra a los cuales se les puede asociar distintas actividades, por ejemplo, capítulo de cimentación de viga corrida, capítulo de pisos, capítulo de losa aligerada de entrepiso, capítulo de carpintería metálica, capítulo de pavimentación, etc. Las etapas siempre tendrán mayor jerarquía que las partidas (actividades).

Partidas (actividades): las partidas o actividades corresponden a labores específicas compuestas por múltiples tareas, y que se asocian siempre a una etapa o capítulo, y guardando una jerarquía menor; por ejemplo: actividad de figuración y amarre de acero de refuerzo para viga corrida, actividad de colocación de porcelanato, actividad de suministro e instalación de aligerante en poliestireno expandido, actividad de instalación de marcos de aluminio para ventanas, actividad de imprimación y riego de liga, etc.

Recursos: son todos los materiales que se puedan controlar desde el almacén con el respectivo código o ID (idéntico al del ERP), la descripción, unidad de medida para el control, valor unitario, inventario disponible en el almacén y el inventario crítico según el criterio de la dirección. Los materiales de playa, el cemento en silo, entre otros, se pueden controlar asociando cantidades teóricas a elementos que tengan salida de almacén y que necesariamente requieran de estos para su instalación, por ejemplo: a la salida de un metro cuadrado de tableta de fachada se le pueden asociar determinada cantidad de metros cúbicos de mortero, teniendo como datos iniciales la dosificación de la mezcla para dicho mortero de pega. Otra posibilidad de introducir grupos de materiales, es a partir de la conformación de “kit” de materiales.

Trabajadores: los trabajadores que se introducen en la base de datos del programa, son todos aquellos que tienen la autorización de retirar materiales o herramientas del almacén. El reconocimiento se hace a partir de la cédula de ciudadanía, apellidos, nombre y cargo al interior de la obra. Al igual que la variable destinos, se puede segmentar dicha información a través de la conformación de grupos que representen los diferentes subcontratistas, al igual que las cuadrillas de los diferentes frentes.

Unidades: corresponden a las abreviaturas de las unidades de medida con que se controlen los recursos. Dichas unidades no necesariamente se deben someter a la nomenclatura del sistema internacional de unidades, sin embargo se recomienda homogeneidad en su uso, para los diferentes centros de costos u obras.

Centro de costos: dependiendo del criterio de la dirección, puede ser un lugar físico o una fase del proyecto, al que se le asignan todos los movimientos de los recursos asociados al centro, los cuales tiene asignados los respectivos costos unitarios.

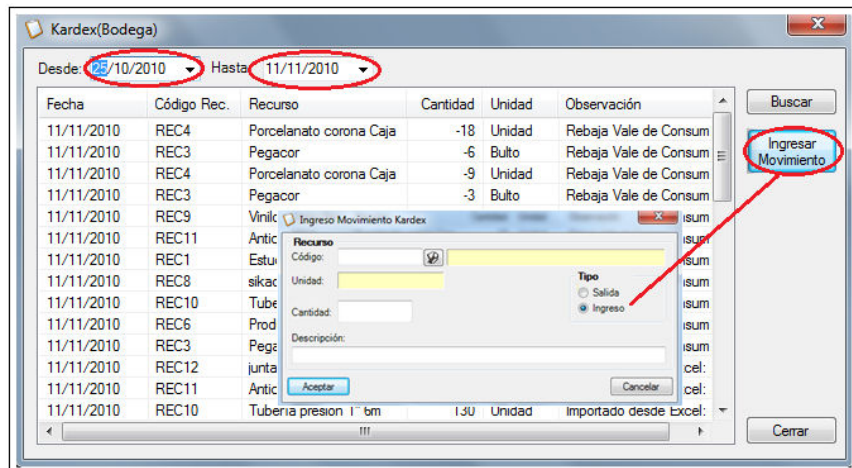
5.4.1.2 Usuarios del software logística wi-fi. Existen dos tipos de usuario: los usuarios PC y los usuarios PDA. Los usuarios PC tienen facultades de actualizar la información del inventario, aprobar o rechazar vales, retirar material del inventario para la posterior distribución en la obra, etc. Lo ideal es que el sistema solo sea controlado por el almacenista, quien es por lo general el responsable directo de la actualización del inventario y a quien se le da el distintivo de administrador del sistema, lo que significa que tiene también facultades para la creación de nuevos usuarios, tanto PC, como PDA.

Los usuarios PDA, son las personas que tienen la autorización de emitir vales de pedido para el posterior retiro del almacén; dependiendo del tamaño de la obra se tendrán varios usuarios PDA, quienes por lo general corresponden a maestros de obra e ingenieros de frente de obra, según la estructura general del organigrama y la asignación de los roles de las empresas constructoras evaluadas, quienes representan una muestra significativa del sector. Lo anterior obedece al esquema de la figura 66 en donde se muestra el esquema de funcionamiento del software logística wi-fi diferenciándose claramente los dos escenarios de funcionamiento; los distintos frentes de obra, y el almacén de la obra.

5.4.1.3. Manejo del software logística wi-fi desde el almacén de la obra. La operación o manejo del software tiene dos alcances fundamentales: la recepción de vales de pedido, bien sea para recursos o listas de recursos, kits o lista de kits; y la aprobación, rechazo o modificación de dichos vales; lo anterior, implícitamente supone el control del inventario en forma automática, teniendo en cuenta que el kardex puede alimentarse de nueva información el cualquier momento.

Actualización del kardex y el inventario: el kardex se actualiza, bien sea por la introducción de una nueva lista de recursos importada desde Excel, o por la modificación manual para registrar entradas de almacén esporádicas o frecuentes que se dan en determinado intervalo de tiempo. El sistema permite filtrar la información por fechas.

Figura 67. Visualización del kardex de la obra y actualización de existencias



(Fuente: software Logística wi-fi)

Esta información permite visualizar el flujo de materiales en la obra, en tiempo real, y conlleva a la obtención actualizada del inventario de almacén, con el que se puede modelar flujos valorizados respecto a la adquisición de recursos, dicha información puede ser útil para detectar inventarios inoficiosos y tomar las medidas de contingencia para mitigar dicha pérdida.

Tabla 59. Inventario actualizado exportado a tabla de Excel®

LOGISTICA WIFI					
INVENTARIO DE RECURSOS(STOCK)					
					Fecha: 11/11/2010 16:40
					Pag: 1/1
CodigoRecurso	Codigo I.C.	NombreRecurso	Unidad	Stock C.	Stock B.
REC11		Anticorrosivo	Galon	0,00	172,00
REC7		Cemento blanco	Bulto	0,00	200,00
REC1		Estucor	Bulto	0,00	265,00
REC12		junta dilatación 3m	Unidad	0,00	45,00
REC3		Pegacor	Bulto	0,00	546,00
REC4		Porcelanato corona Caja	Unidad	0,00	443,00
REC5		Producto sika 1	Bulto	0,00	271,00
REC6		Producto sika 2	Bulto	0,00	275,00
REC8		sikadur 32	Galon	0,00	78,00
REC10		Tubería presión 1" 6m	Unidad	0,00	120,00
REC9		Vinilo Amarillo	Galon	0,00	390,00
REC2		Vinilo Verde	Galon	0,00	505,00

(Fuente: software Logística wi-fi)

Para efectos prácticos, no se tienen en cuenta cantidades de inventario crítico, en este ejemplo.

Está claro que la posibilidad de obtener datos crudos en Excel, facilita la exportación de datos al ERP en una forma eficiente, siempre y cuando las unidades y los códigos de los recursos se conserven en los dos sistemas.

La posibilidad de tener actualizado el inventario representa una ventaja en el control presupuestal de la obra y permite cruzar información de consumo de materiales con cortes de obra autorizados, teniendo la posibilidad de detectar inconsistencias o sobreconsumos en las tareas ejecutadas por cada uno de los contratistas. Por ejemplo, supóngase que para la semana correspondiente al 11 de noviembre de 2010, se efectuó el respectivo corte de obra al contratista del porcelanato, autorizándole un acta de cobro por 220 metros cuadrados, teniendo en cuenta que una unidad (caja) de material sirve para instalar un metro cuadrado. Surgen entonces las siguientes preguntas:

- En el plan logístico de materiales se consideró un umbral máximo para desperdicio de porcelanato?
- En la etapa de preconstrucción se concertó con el subcontratista las cantidades máximas de desperdicio admitidas?
- La cantidad de recursos consumidos por el subcontratista, hasta la fecha de corte, corresponden a la cantidad aprobada en el acta?

La situación anterior puede resolverse comparando los recursos consumidos hasta la fecha de corte a través de logística wi-fi observando el historial del movimiento del recurso porcelanato entre las fechas que corresponden al acta de cobro que está por aprobarse.

Tabla 60. Informe de consumo por recurso exportado a Excel®

LOGISTICA WIFI						
AVANCE DE CONSUMO DE RECURSOS						
DESD: 01/11/2010 HASTA: 11/11/2010						Fecha: 11/11/2010 17:56
RECURSO REC4 Porcelanato corona Caja						Pag: 1/1
Fecha	Nº	Tipo de Vale	Partida	NombreDestino	NombreTrab	Cantida
04/11/2010 17:05:09	16	Vale Consumo	PORCELANATO	TORRE 1PISO 4VAPARTAMENTO 3VALCOBA 3	CALLUPIL JORQUERA JORGE	120,00
08/11/2010 10:11:17	21	Vale Consumo	PORCELANATO	TORRE 1PISO 5VAPARTAMENTO 3VALCOBA 2	MELLA MELLA JOSEPH	100,00
08/11/2010 09:06:33	18	Vale Consumo	PORCELANATO	TORRE 1PISO 4VAPARTAMENTO 2VALCOBA 2	MELLA MELLA JOSEPH	10,00
11/11/2010 15:12:36	3	Vale Consumo Kit	PORCELANATO	TORRE 1PISO 1VAPARTAMENTO 2VALCOBA 1	MELLA MELLA JOSEPH	9,00
11/11/2010 15:29:35	4	Vale Consumo Kit	PORCELANATO	TORRE 1PISO 4VAPARTAMENTO 3VALCOBA 2	ARAYA CABRERA HECTOR	18,00
TOTAL::						257,00

(Fuente: software Logística wi-fi)

Evidentemente la tabla muestra un sobreconsumo registrado de 37 metros cuadrados, lo que exige del subcontratista la respectiva justificación por dicho excedente, que indujo una pérdida de un 14,4% respecto al insumo utilizado, según el indicador para desperdicio de materiales expuesto en 4.2.4.2.

Asignación de kits de materiales a diferentes destinos: desde el almacén también se pueden controlar los envíos de material a cada zona. La conformación de un kit se da cuando un grupo de materiales son enviados al mismo tiempo para atender la misma actividad; por ejemplo, para la actividad de piso en porcelanato en determinada zona, el kit de materiales puede estar conformado por x cajas de porcelanato y z bultos de material cementicio para la conformación del mortero de pega.

Tabla 61. Control de consumo de kit por destino

LOGISTICA WIFI INFORME DE KITS				
				Fecha: 16/11/2010 11:36
				Pag: 1/3
Nº KIT	NOMBRE KIT	PARTIDA	Unidad	Cantidad
1	Pintura tipoA	PINTURA		
CODIGO	RECURSO		Unidad	Cantidad
REC9	Vinilo Amarillo		Galon	10,0
REC1	Estucor		Bulto	5,0
REC11	Anticorrosivo		Galon	2,0
DESTINO		CONSUMIDO		
PISO 5		NO		
TORRE 1\PISO 5		NO		
TORRE 1\PISO 5\APARTAMENTO 4\SALA - COMEDOR		SI		
TORRE 1\PISO 5\APARTAMENTO 4\COCINA		NO		
TORRE 1\PISO 5\APARTAMENTO 4\ALCOBA 1		NO		
TORRE 1\PISO 5\APARTAMENTO 4\ALCOBA 2		NO		

(Fuente: software Logística wi-fi)

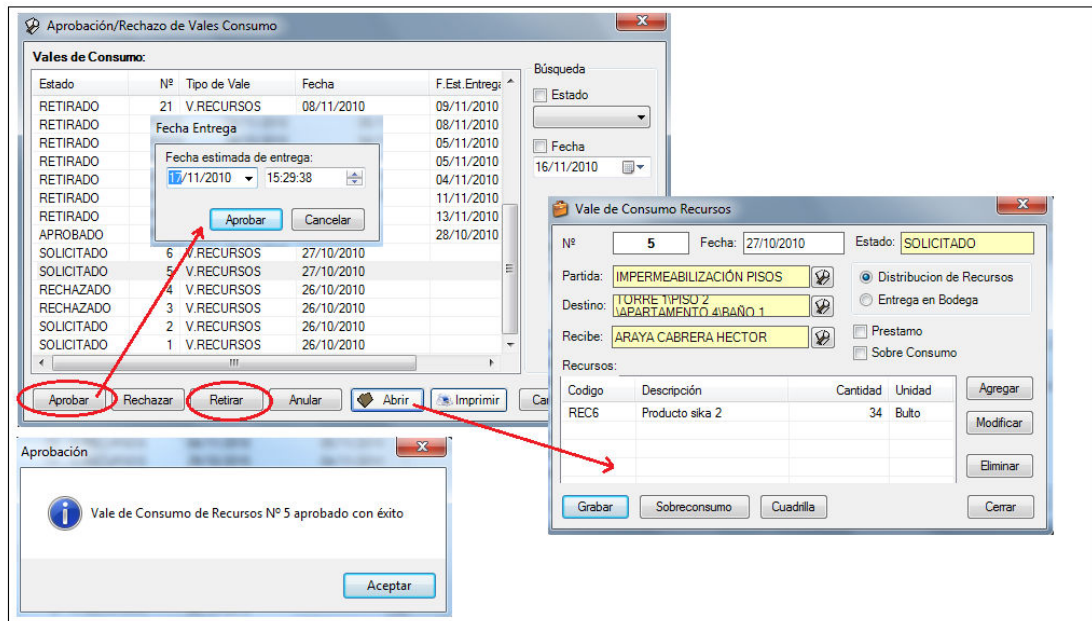
Con los controles anteriores, el equipo “supply chain” o de abastecimiento, tiene las herramientas necesarias para transferir al equipo administrativo la contabilidad del almacén, el estado de los inventarios actualizados, los flujos de caja asociados a los costos directos e indirectos de los materiales y las cantidades consumidas por cada uno de los frentes de obra. Esta información se compara con el avance de las actividades programadas y el flujo de caja que se obtiene de la carta de Gantt para el avance real, o bien, de la línea de balance que se tenga prevista para el control. El cruce de las dos fuentes de información da elementos de juicios valorativos y cuantitativos para calificar los diferentes flujos logísticos de la obra.

Aprobación o rechazo de vales (o kits) de consumo: el almacenista, previo a la elaboración de un plan logístico de materiales, o como mínimo, de una política para el manejo de almacén, es quien tiene la potestad para la aprobación o el rechazo de los vales o pedidos que se hacen desde los diferentes frentes de obra. Los parámetros que gobiernan la decisión de aprobar o no una salida de almacén son fundamentalmente los siguientes puntos:

- Programación semanal: bien sea que se maneje o no la figura de planificación mediante la herramienta Last Planner, la dirección debe identificar las actividades que se adelantarán en la obra la semana próxima, para la preparación del inventario del almacén y la respectiva programación de recursos.
- Inventario disponible: la actualización constante del kardex permite que “logística wi-fi” detecte insuficiencias en la disponibilidad del inventario, y avise oportuna y automáticamente las existencias disponibles para la aprobación o el rechazo del vale.

- Cantidades permitidas por destino: cada destino tiene asociado determinada cantidad de materiales; la herramienta tecnológica permite hacer este control dependiendo de cuan discretizados estén los datos de entrada, según se mencionó anteriormente.

Figura 68. Visualización y aprobación de vales de consumo



(Fuente: software Logística wi-fi)

En caso de que el almacenista quiera constancia escrita del retiro de materiales de almacén, “logística wi-fi” permite la exportación de dichos vales de pedido (consumo) a formato Excel, aunque la idea es eliminar la acumulación de papelería que complique el manejo administrativo de la obra. La posibilidad de un manejo de datos crudos en Excel facilita la interacción manual con el ERP.

Tabla62. Vales exportados a formato Excel®

LOGISTICA WIFI						
ENTREGA DE VALES DE CONSUMO RECURSOS						
						Fecha: 16/11/2010 15:50
DESDE: 01/11/2010			HASTA: 13/11/2010		Pag: 1/3	
Nº Vale	Trabajador	F.Emisión		F.Entrega		Destino
12	JOSEPH MELLA MELLA	04/11/2010	16:16:24	04/11/2010	16:20:55	TORRE 1ºPISO 1ºAPARTAMENTO 2ºALCOBA 1
Tipo Vale:	DISTRIBUCION DE RECURSOS					
Código	Nombre Recurso			Cantidad	Unidad	
REC2	Vinilo Verde			45,00	Galon	
						FIRMA

(Fuente: software Logística wi-fi)

Inicialmente la obra piloto en donde se introduce la herramienta “logística wi-fi” conserva su respectiva estructura tradicional para el manejo de recursos en almacén, a la par con la utilización de la herramienta, esperando la *proyección* de indicadores que validen la utilización del software en el sistema de funcionamiento del almacén.

5.4.1.4 Manejo del software logística wi-fi desde los frentes de obra. La operación o manejo del software tiene dos alcances fundamentales: la elaboración de vales de consumo y la verificación del estado de pedidos, y la cantidad de stock disponible. El responsable de asignar vales de consumo a determinado trabajador o subcontratista, debe tener los mismos lineamientos que se manejan en el almacén para la operación del software. La operación de la PDA se indica en los respectivos manuales, sin embargo, a continuación se describen brevemente las propiedades fundamentales del usuario PDA.

Elaboración de vales de pedido (consumo): la estructura del vale, es idéntica a la estructura que conforma la tabla 62. La introducción de los datos del pedido se hace a partir de la sincronización de la PDA con el equipo del almacén, lo que también sirve para actualizar el inventario disponible por PDA, para la posterior consulta del stock disponible.

La elaboración de pedidos al almacén de la obra mediante vales de consumo vía PDA, se hace según la planificación operacional dispuesta para dicha semana. Es viable la elaboración de vales para recursos del siguiente día para ir programando las entregas con hora tentativa en el almacén, o bien, un flujo continuo de materiales en donde el tiempo entre la solicitud y el retiro del inventario sea lo más constante posible; contribuyendo con esta serie de medidas al funcionamiento bajo la modalidad JIT. Luego un objetivo principal para los operadores de PDA, será procurar por agotar cuanto antes las existencias de almacén sin que ello implique la disminución en la calidad del producto terminado o transformado; es por esto que el estado de los vales (solicitado, aprobado, rechazado, anulado) debe ser verificado constantemente con la finalidad de no parar la producción en los diferentes frentes de obra.

Figura 69. Estructura del vale de consumo

Codigo	Descripción	Cantidad	Unidad
REC11	Anticorrosivo	10	Galon

(Fuente: software Logística wi-fi)

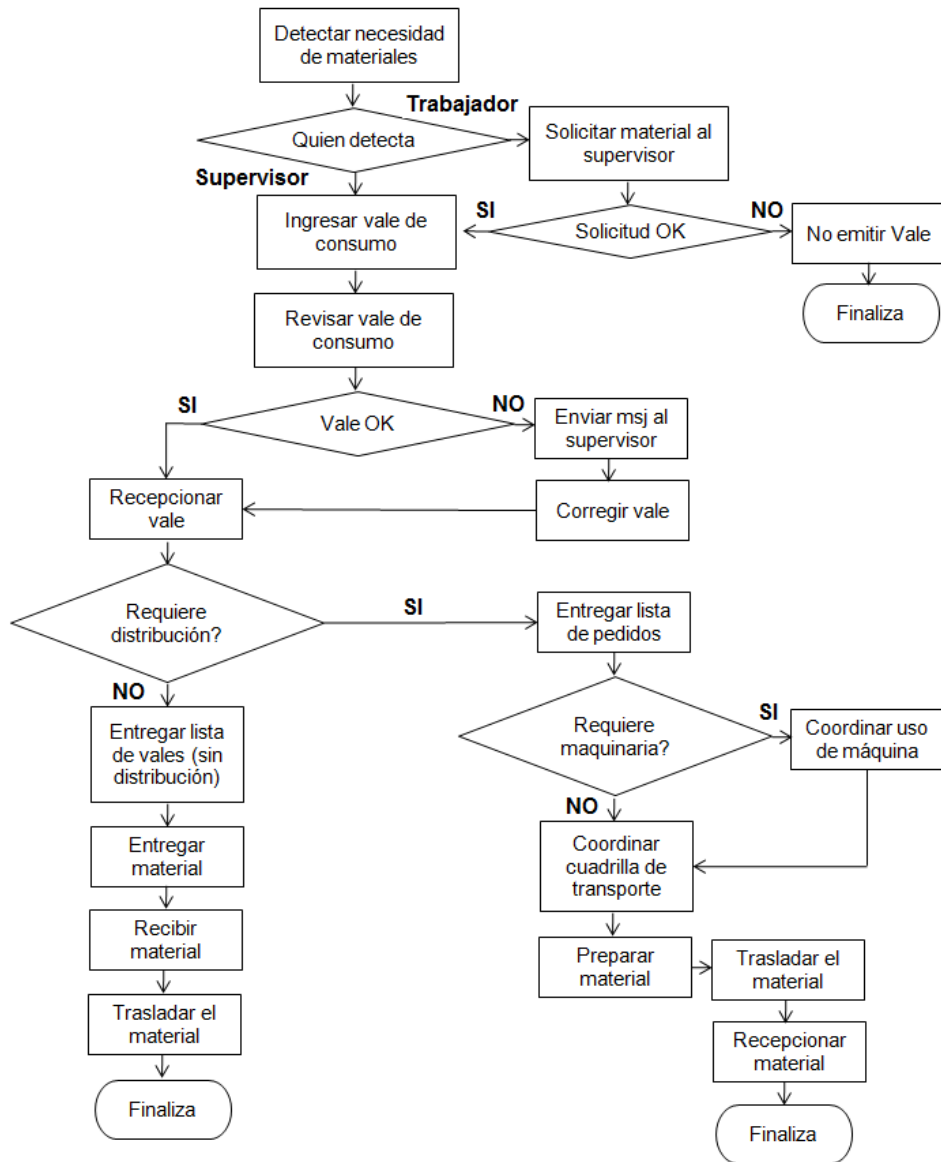
5.4.2 Optimización del modelo de operación de logística wi-fi en obra. Los desarrolladores del sistema de logística wi-fi encontraron un algoritmo óptimo representado a partir de diagramas de flujo para la optimización de la operación de la herramienta según lo observado en la figura 70; Sin embargo, en la práctica no es factible hacer que todas las empresas constructoras que se apropien de la aplicación converjan en un único modelo de uso, pues sus sistemas de gestión de calidad son diferentes, al tener alcances y objetivos diferentes en el sector, tal como se determinó en el levantamiento y diagnóstico de la logística de las constructoras A,B y C en el capítulo 5.3; aunque se encontraron los siguientes objetivos comunes, o bien, expectativas respecto al proceso de implementación:

- Eliminación de la papelería de las órdenes de salida de almacén.
- Verificación del inventario desde el frente de obra.
- Actualización inmediata del kardex y el inventario, una vez se retire el material del almacén.

Obviamente el alcance de “logística wi-fi” va más allá de facilitar la labor del almacenamiento y procesamiento de datos, por lo que se espera que las constructoras de las obras piloto en donde se implemente el software se apropien de la herramienta para que mas allá de una base de datos sofisticada, se utilice como un soporte para el control interno de la logística en sus fases de aprovisionamiento de almacén, recepción y

distribución de insumos; todo bajo los parámetros de planificación intermedia y semanal, y respaldados por una adecuada gestión.

Figura70. Proceso de entrega y distribución optimizado a partir de pruebas piloto efectuadas por la CDT



(Fuente: CDT, Centro de desarrollo tecnológico de Chile. Guía de resultados para la optimización de la logística interna en obras de construcción. Santiago de Chile, CDT, 2006. P 51)

Definido el software de “logística wi-fi” como la herramienta tecnológica de información y comunicación que se implementará en el presente trabajo, se procede con la instalación y operación en la obra B.

5.4.3 Implementación de la herramienta TIC en la obra B. La obra B se considera un escenario ideal para la implementación de “logística wi-fi”, básicamente por el sistema de gestión de calidad con el que cuenta la constructora B, y por el ERP utilizado para la planificación, el control y la administración de recursos y personas; lo que permite contar con información actualizada de la obra en cualquier momento de la semana o del periodo de análisis. Esto sin duda favorece la operación del software, pues garantiza que la base de datos arroje indicadores más ajustados a la realidad de la logística interna del proyecto. La siguiente tabla muestra la estructura del grupo de trabajo que conforma el equipo logístico para esta primera prueba piloto.

Tabla 63. Conformación del grupo logístico en prueba piloto para la obra B

Cargo	Empresa	Tipo de Usuario		Perfil	
		PC	PDA	administrador	privilegios
Almacenista	Constructora B	x		x	
Auxiliar de almacén	Constructora B	x			x
Maestro de obra	Constructora B		x	x	
Ingeniero residente	Constructora B	x	x	x	
Ingeniero asesor	CIDICO	x	x	x	x
Ayudante 1 cuadrilla logística	Constructora B	NA	NA		
Ayudante 2 cuadrilla logística	Constructora B	NA	NA		

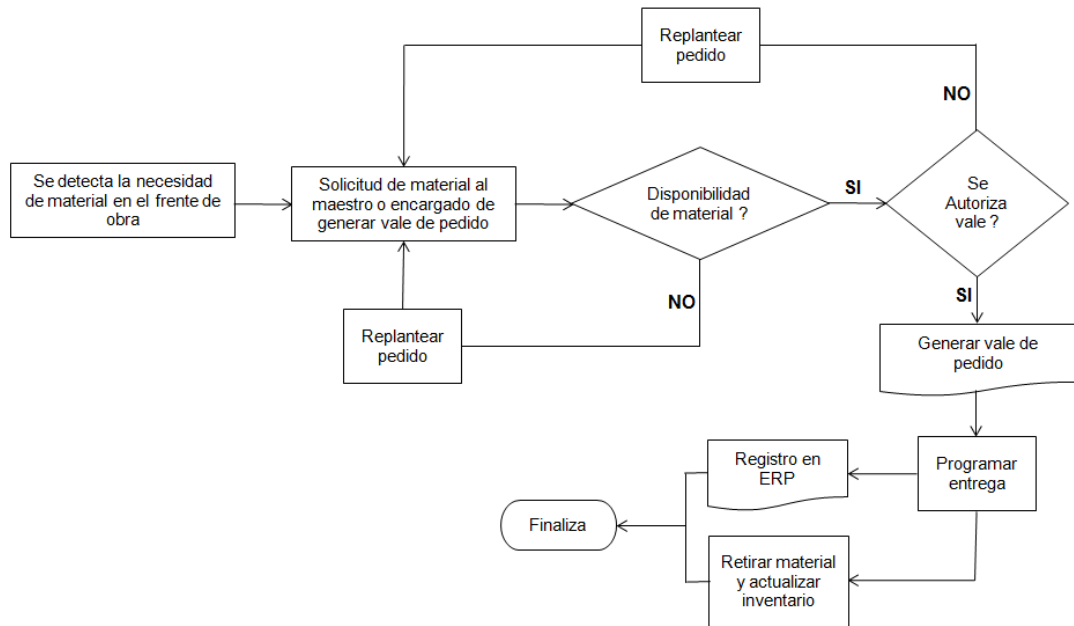
(Fuente: elaboración propia)

La estructura para la gestión de pedidos con la operación del software “logística wi-fi” se modifica según lo expuesto en la figura 71.

Se detecta la necesidad de materiales desde el frente de obra. El responsable de hacer la solicitud de material al maestro se identifica con su nombre y apellido, la actividad que está realizando, el material y la cantidad de material a solicitar y el sitio físico de la obra (destino) en donde se trabajará el material; el maestro de obra registra dicha información en la PDA, donde configura el vale de pedido y lo sincroniza vía wi-fi con el PC del almacenista. En el almacén, se revisa frecuentemente el estado de los vales de consumo solicitados desde el frente de obra y se aprueba o se rechaza la solicitud. Una vez aprobado, se programa la fecha y la hora tentativa de entrega y se determina si dicha entrega requiere del apoyo de la cuadrilla logística.

Una vez se retira el material del inventario, se hace el respectivo registro en el ERP, y de esta forma se configura la orden de salida. Dependiendo de la disponibilidad del personal, se hace uso de la respectiva cuadrilla de apoyo logístico.

Figura 71. Diagrama de flujo para la gestión de pedidos en almacén de materiales tipo B y C. En la obra B, bajo la operación de “logística wi-fi”



(Fuente: elaboración propia)

La tabla 64 muestra un comparativo de protocolos necesarios en la ejecución de dichas operaciones, similar a como se planteaba en la tabla 48 del numeral 4.3.3.1. En donde se comparaba descriptivamente el modelo tradicional de abastecimiento y el abastecimiento mediante CCC. La siguiente tabla compara los procesos expuestos entre las figuras 64 y 71.

Tabla 64. Comparación descriptiva entre el modelo de operación sin y con logística wi-fi en la obra B

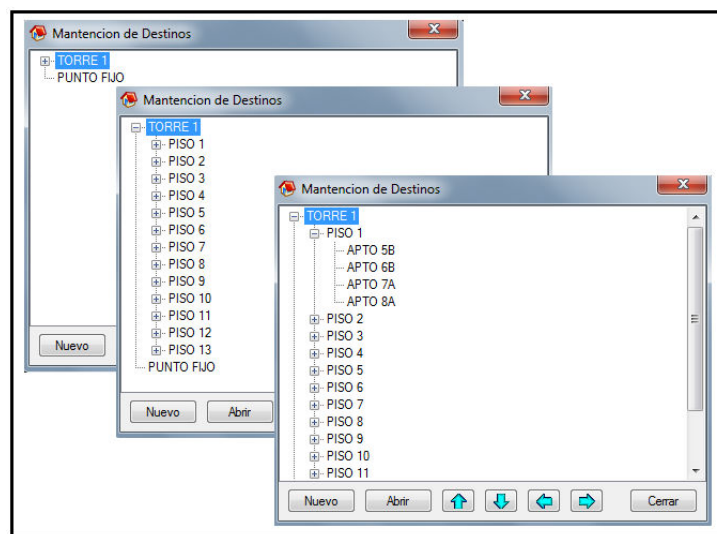
ITEMS	Sin logística wi-fi	Con logística wi-fi
Procesos	4	3
Documentos	2	1
Toma de decisiones	2	1
Posibles reprocesos	2	1

(Fuente: elaboración propia)

5.4.3.1 Datos de entrada para el software logística wi-fi, en la obra B. Similar a como se estructuró la información en el numeral 5.4.1.1. Se citan a continuación los datos iniciales, necesarios para la operación inicial de la herramienta logística.

Destinos: el edificio consta de 15 niveles, sin embargo los últimos dos son atípicos (dúplex), por lo que solo se considera para el ejercicio piloto los primeros 13 niveles. El nivel de detalle para la asignación de destino solo llega hasta la numeración del apartamento en cada uno de los niveles.

Figura 72. Asignación de destinos de material en la obra B



(Fuente: elaboración propia)

Etapas y partidas: los capítulos y actividades asociadas a dichos capítulos son:

Tabla 65. Capítulos y actividades trabajadas en la obra B

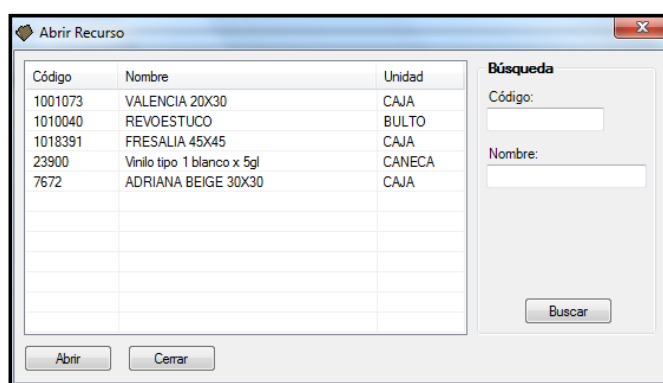
LOGISTICA WIFI INFORME DE ETAPAS Y PARTIDAS			
Fecha: 12/12/2010 20:08 Pag: 1/1			
ETAPA	CODIGO	F.CREACION	RESPONSABLE
ESTUCO	1	28/10/2010 11:21:46	USUARIO ADMIN
PARTIDA	CODIGO	F.CREACION	RESPONSABLE
ESTUCO MUROS Y TECHO	1	28/10/2010 11:33:55	USUARIO ADMIN
ETAPA	CODIGO	F.CREACION	RESPONSABLE
ENCHAPE	2	28/10/2010 11:21:46	USUARIO ADMIN
PARTIDA	CODIGO	F.CREACION	RESPONSABLE
ENCHAPE DE PISOS	2	28/10/2010 11:34:12	USUARIO ADMIN
ENCHAPE BAÑOS PISO	3	28/10/2010 11:34:12	USUARIO ADMIN
ENCHAPE BAÑOS PARED	4	28/10/2010 11:34:12	USUARIO ADMIN

(Fuente: elaboración propia)

La creación de capítulos y actividades se le puede asignar un código para efectos de manejo contable en el ERP, adicionalmente cada actividad se le puede asignar un responsable.

Recursos: los recursos asociados a los capítulos y actividades anteriormente mencionados, son:

Figura 73. Lista de recursos utilizados para la prueba piloto en la obra B



(Fuente: elaboración propia)

Trabajadores: para efectos prácticos, solo el ingeniero residente y el almacenista, que hace las veces de administrador del sistema de logística, son los responsables por cada uno de los trabajadores mencionados en la tabla 66.

Tabla 66. Listado de trabajadores en la obra B

LOGISTICA WIFI INFORME DE TRABAJADORES						
						Fecha: 12/12/2010 20:22
Nombre	CC	Cod.Trabajador	SubContrato	Cargo	Fecha	Pag: 1/1 U.Responsable
WILMER JEHOVAN GIL ARIAS	71.760.120-0	ENCHAP 1		ENCHAPE	16/11/2010 8:40:21	CRISTIAN B
NORBIEY RESTREPO RAVE	71.229.809-0	ENCHAP 2		ENCHAPE	16/11/2010 8:40:21	CRISTIAN B
ADRIAN ROMERO MONTOYA	1.128.472.93 1-0	ENCHAP 3		ENCHAPE	16/11/2010 8:40:21	CRISTIAN B
DEYRON ZAPATA VIANA	1.128.392.70 0-0	ENCHAP 4		ENCHAPE	16/11/2010 8:40:21	CRISTIAN B
FABIO ZAPATA ZAPATA	71.720.929-0	ENCHAP 5		ENCHAPE	16/11/2010 8:40:21	CRISTIAN B
DADIS MANUEL DIAZ DIAZ	73.240.734-0	PINT 1		PINTOR	28/10/2010 11:23:24	ADMIN
JORGE ENRIQUE TORRES NT	71.642.112-0	PINT 10		PINTOR	16/11/2010 8:40:21	CRISTIAN B
EDGAR ARTURO VALENCIA NT	16.739.505-0	PINT 11		PINTOR	16/11/2010 8:40:21	CRISTIAN B
EFRAIN JOSE DIAZ SALAZAR	19.871.927-0	PINT 2		PINTOR	28/10/2010 11:23:24	ADMIN
HUGO ARMANDO QUIROZ MUÑOZ	71.217.375-0	PINT 3		PINTOR	28/10/2010 11:23:24	ADMIN
FABIAN ROJAS YEPES	98.583.404-0	PINT 4		PINTOR	28/10/2010 11:23:24	ADMIN
FRANCISCO VELA SQUEZ FRANCO	71.650.191-0	PINT 5		PINTOR	28/10/2010 11:23:24	ADMIN
JUAN CAMILO GALLEGO MARIN	71.218.994-0	PINT 6		PINTOR	12/11/2010 12:11:22	CRISTIAN B
GIOVANNY ANTONIO GIRALDO VALENCIA	1.020.422.35 0-0	PINT 7		PINTOR	12/11/2010 12:11:22	CRISTIAN B
IVAN DARIO JIMENEZ NT	71.609.012-0	PINT 8		PINTOR	16/11/2010 8:40:20	CRISTIAN B
LUIS EDUARDO ROJAS GOMEZ	70.107.650-0	PINT 9		PINTOR	16/11/2010 8:40:21	CRISTIAN B

(Fuente: elaboración propia)

El centro de costos se definió como la obra misma, por lo tanto toda la información presupuestal se carga a nombre del proyecto en general.

5.4.3.2 Operaciones logísticas y de producción en el ejercicio de estudio de la prueba piloto en la obra B. En este numeral se pretende mirar las operaciones que involucran las actividades de enchape de pisos y estuco en la obra de la constructora B. La idea es poder conformar un diagrama de red que se aproxime a un modelo preliminar de lo que sería la cadena de suministros asociada a dichas actividades, con esta información se podrán identificar los procesos que pueden ser fortalecidos mediante TIC (en este caso “logística wi-fi”). Las operaciones más representativas para dichas actividades, son:

Actividad de enchape de piso:

- Medición de áreas y nivelación del piso acabado.
- Cálculo de las cantidades reales de insumos.
- Requerimiento al almacén de la obra de los insumos.
- Requerimiento del almacén de la obra al almacén central de la constructora B (Adquisiciones y logística).
- Recepción y almacenamiento de los insumos.
- Preparación y limpieza de la superficie de contacto.
- Colocación del mortero de nivelación.
- Solicitud de material al maestro de obra.
- Verificación de la cantidad de stock disponible.
- Elaboración de la orden de salida.
- Programación de la entrega.
- Registro y actualización del inventario.
- Entrega y distribución de los recursos hasta el frente de obra.
- Instalación del piso.
- Lechada del piso.
- Protección del piso.
- Comparación de cantidades reales ejecutadas vs cantidades teóricas.

Actividad de enchape de estuco:

- Medición de áreas y plomado de muros.
- Cálculo de las cantidades reales de insumos.
- Requerimiento al almacén de la obra de los insumos.
- Requerimiento del almacén de la obra al almacén central de la constructora B (Adquisiciones y logística).
- Recepción y almacenamiento de los insumos.
- Masillado de muros.
- Colocación del mortero de nivelación.
- Solicitud de material al maestro de obra.
- Verificación de la cantidad de stock disponible.
- Elaboración de la orden de salida.
- Programación de la entrega.
- Registro y actualización del inventario.
- Entrega y distribución de los recursos hasta el frente de obra.
- “Revoestucar”.
- Comparación de cantidades reales ejecutadas vs cantidades teóricas.

Para efectos prácticos se analizará la actividad de enchape de piso, que es la actividad que más involucra materiales en el inventario controlado por “logística wi-fi”.

Se comenzará por estructurar los procesos correspondientes en una tabla en donde se analicen los tiempos de cada actividad, similar a como se ejemplificaba el tiempo de ciclo para una actividad productiva⁷⁰.

Tabla 67. Análisis de ciclo para la actividad de enchape de piso en la obra B

Análisis de ciclo para 247 metros cuadrados de enchape en la obra B							
ACT	ID	Duración (min)					Clasificación de tiempo
		Determinístico, obtenido en obra			Promedio Fn triangular (15ciclos)	Tiempo medio esperado	
		Mínima	Promedio	Máxima			
Medición de áreas y nivelación	1	60	120	90	85,6	105,00	S
Cálculo de cantidades reales	2	10	30	60	36,21	31,67	S
Requerimiento al almacén de la obra	3	10	15	20	15,61	15,00	S
Requerimiento al almacén central	4	10	15	20	15,02	15,00	S
Preparación de la superficie de contacto	5	270	540	1080	673,03	585,00	NAV
Colocación del mortero de nivelación	6	540	820	1080	841,28	816,67	AV
Solicitud de material de enchape al maestro de obra	7	3	5	10	5,72	5,50	NAV
Desplazamiento desde el frente de obra al almacén	8	3	10	15	9,68	9,67	NAV
Distribución de material de enchape	9	150	250	500	85,6	275,00	S
Instalación de piso	10	540	820	1080	786,45	816,67	AV
Cálculo de pérdidas de material	10a	10	20	30	19,93	20,00	S
lechada de piso	11	270	540	820	536,26	541,67	AV
Protección de piso	12	45	60	120	75,93	67,50	S
					Fn triangular	cpm-pert	Análisis de tiempo logístico
Duración total calculada por simulación del sistema Arena versión 12 (min)	3186,32	Agrega valor		AV	2163,99	2175,00	PERT-CPM
		Soporte		S	333,90	529,17	T logístico por piso
		No agrega valor		NAV	688,43	600,17	
Duración total calculada por método cpm-pert en MSProject07 (min)	2764,8	%Agrega valor		%AV	67,92%	78,67%	T logístico de los 15 pisos
		%Soporte		%S	10,48%	19,14%	
		%No agrega valor		%NAV	21,61%	21,71%	

(Fuente: elaboración propia)

Por el análisis mediante el software de simulación Arena v.12 se obtuvo un tiempo de 3186 minutos para la duración promedio de un ciclo (enchape de piso de un solo nivel), mientras que por un análisis pert-cpm ejecutado a través de MSProject 07 se obtuvo una duración total de 2765 minutos, de los cuales 477 minutos se consideran como tiempo logístico, es decir, el 17,25% del tiempo de ciclo para el enchape del primer piso se emplea en operaciones en alguno de los cuatro flujos logísticos; mientras que para el resto de la obra, osea, los catorce pisos restantes, el tiempo logístico representa el 13% del tiempo de ciclo. Las actividades que conforman el tiempo logístico son todas las actividades de soporte (exceptuando la protección del piso) más la solicitud de material de enchape al maestro de obra, más los desplazamientos desde el frente de obra hacia el almacén de la obra.

⁷⁰ Ver tabla 20 del numeral 4.2.2.

Cabe anotar, que la tabla 67 tiene una suposición ideal sobre la actividad de colocación del mortero, al considerarla netamente como una actividad que agrega valor, sabiendo que al interior de esta actividad se desprenden un sinnúmero de actividades que también a su vez arrojan tiempos de soporte y tiempos que no agregan valor, por lo tanto, es posible que el tiempo logístico se aumente, haciendo que esta variable sea aun más sensible para la administración y el control eficiente de la obra.

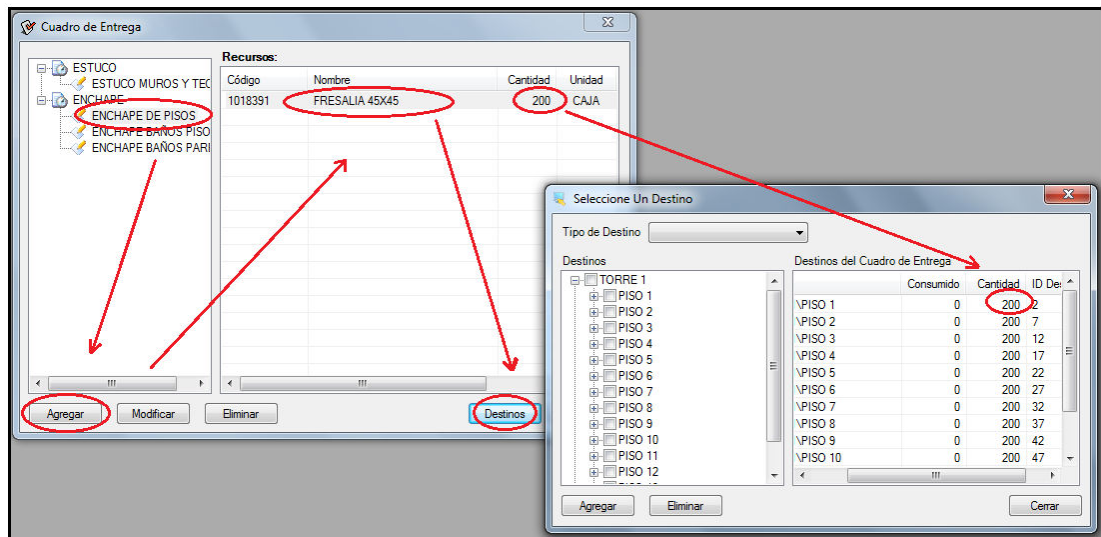
La razón principal por la que no se discretizó la actividad de colocación del mortero de nivelación fue por la mecánica de trabajo empleada por el subcontratista de pisos, la cual resultaba muy dispendioso medir puesto que no consistía en una actividad cíclica. Para este caso, en la obra B, los materiales para la colocación del mortero de nivelación se arrumaban piso por piso y a diferentes horas del día, lo que sin duda alteraba las condiciones de inicio para el análisis de esta actividad. Sin embargo, el tiempo logístico estimado amerita un análisis si se tiene en cuenta que representa aproximadamente la quinta parte del tiempo total empleado para la terminación de la actividad; y esto solo tratándose del análisis para un solo material.

Actividades del enchape de piso que conforman el tiempo logístico.

Medición de áreas y nivelación (actividad de soporte): una vez conformada la estructura del edificio, esta es una actividad que solo se ejecuta una sola vez, aunque no es una actividad logística como tal, representa una información necesaria para proceder con el resto de actividades del MLP dispuesto para dicha actividad.

Cálculo de cantidades reales (actividad de soporte): las cantidades reales surgen del chequeo o replanteo que se hace con la actividad de medición de áreas y nivelación, es algo que se conoce en Chile como la “recubicación” de materiales y reasignación de cantidades de material a determinadas áreas; en la figura 74 se muestra la forma como se pueden asignar dichos recursos.

Figura 74. Asignación de cantidad real de recursos a diferentes destinos en obra B



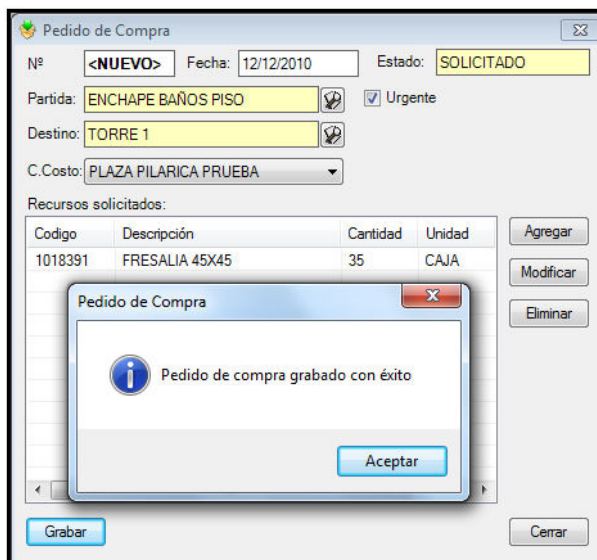
(Fuente: software Logística wi-fi)

La figura 74 muestra la forma de controlar cantidades por destino, en este caso solo se llega a nivel de pisos, pero también se pueden controlar cantidades por apartamento, o inclusive por alcoba, tal como se mencionaba en 5.4.1.1. en donde se detallaban los datos de entrada al software "logística wi-fi".

Con esta mecánica de trabajo se puede mejorar sustancialmente la "predictabilidad" sobre futuros pedidos que se hagan al almacén de la obra, desde los diferentes frentes de obra en los respectivos destinos previstos para la edificación.

Requerimiento al almacén de la obra: el material se puede solicitar en tiempo real al almacén de la obra, a partir de la utilización de la herramienta TIC destinada para este fin; logística wi-fi permite a los usuarios PDA ejecutar dicha solicitud de orden de compra, similar a como se explicaba la metodología para diligenciar un vale de consumo de recurso tal como se observaba en la figura 69 (orden de salida o vale de pedido).

Figura 75. Solicitud de pedido de compra desde el frente de obra



(Fuente: software Logística wi-fi)

Requerimiento al almacén central: la figura 75 puede servir de interfase para conectar dicha información con el ERP que maneje la empresa constructora. En el caso de la obra B, el código del material en “logística wi-fi” corresponde al mismo código de SAP, por lo tanto existe homogeneidad en la transferencia de información.

Imagen 17. Formato de salida de almacén o vale de consumo tradicional vs. Presentación en PDA



(Fuente: elaboración propia)

Distribución de material de enchape: Esta operación logística está estrictamente ligada al MLP, siendo una de las operaciones que más incide en la reducción o el aumento del lead time. Según lo visto en la figura 68, el software logística wi-fi permite programar las entregas, así mismo, desde el vale de consumo de recursos se puede solicitar que el material llegue directamente hasta el frente de obra, o bien, que requiera que personal de la cuadrilla se desplace hasta el almacén, lo que es muy común en la ejecución de la actividad de enchape en la obra B.

Cálculo de las pérdidas de material: esta actividad se ejecuta para controlar el flujo logístico de materiales y sirve de referente para continuar con el avance de los demás niveles. Para el profesional encargado es dispendioso hacer este control en tiempo real, sin embargo, con utilización del software de logística interna es posible tener el historial de consumo del material en cuestión, por ejemplo:

Tabla 68. Informe de consumo de recurso de enchape de piso de la obra B, arrojado por el registro de “logística wi-fi”

LOGISTICA WIFI						
AVANCE DE CONSUMO DE RECURSOS						
DESDE: 12/11/2010 HASTA: 10/12/2010						Fecha: 12/12/2010 16:52
RECURSO: 7018391 FRESALIA 45X45						Pag: 1/1
Fecha	N° Vale	Tipo de Vale	Partida	NombreDestino	NombreTrab	Cantidad
16/11/2010 15:11:30	14	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 2°APTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	10,00
16/11/2010 15:16:45	15	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 2°APTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
17/11/2010 13:27:45	34	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 3°APTO 6B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
17/11/2010 13:29:13	35	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 3°APTO 8A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
18/11/2010 08:17:00	36	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 3°APTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
22/11/2010 08:12:01	53	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 4°APTO 5B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
23/11/2010 08:19:52	56	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 3°APTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	5,00
25/11/2010 13:35:42	70	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 4°APTO 8A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
25/11/2010 13:34:07	69	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 4°APTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
29/11/2010 06:13:28	78	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 5°APTO 6B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
30/11/2010 14:27:23	88	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 6°APTO 8A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
30/11/2010 14:26:23	87	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 6°APTO 6B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
03/12/2010 08:12:19	101	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 6°APTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
02/12/2010 07:46:08	96	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 5°APTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
19/11/2010 16:03:54	41	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 4°APTO 6B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
22/11/2010 13:09:26	54	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 3°APTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	25,00
24/11/2010 15:07:07	62	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1°PISO 5°APTO 8A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
TOTAL::						460,00

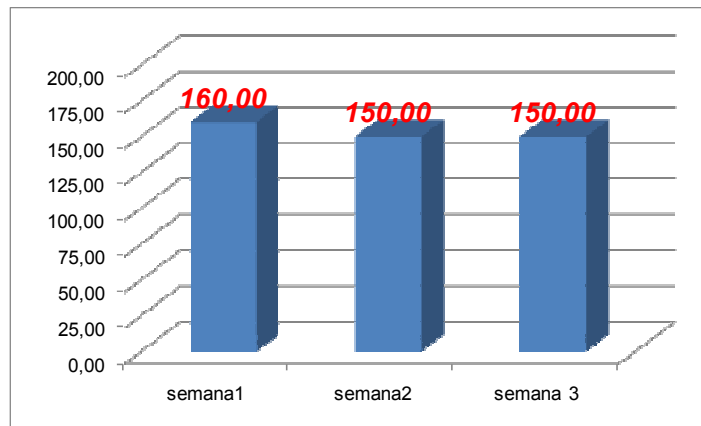
(Fuente: software Logística wi-fi)

El enfoque anterior se da con el ánimo de cuantificar a partir de estimativos el tiempo logístico de la obra; lo que necesariamente implica conocer el funcionamiento de la cadena de suministros y los puntos en donde se puede fortalecer a partir de la utilización de la herramienta TIC, o bien, a partir de lo establecido en el MLP para la toma de decisiones en cuanto a la ejecución eficiente de las actividades. También es posible obtener algunos indicadores de logística wi-fi que sirven para interpretar los movimientos del kardex y lo relacionado con el flujo logístico de materiales del almacén, a continuación se destacarán los indicadores obtenidos para un mes de operación del software en la obra B.

5.4.3.3 Indicadores logísticos obtenidos con logística wi-fi en la obra B. El modo de operación del software en la obra B, es decir, la forma como se estructuró la información y la manera de formular los vales de consumo de recursos, arrojó indicadores de consumo por recurso y de tiempos de entrega.

Consumos por recurso: el consumo por recurso corresponde al historial de consumo expuesto en la tabla 68; en este caso se representará en forma aproximada como el comportamiento del consumo de los materiales más demandados para un periodo de tres semanas, así:

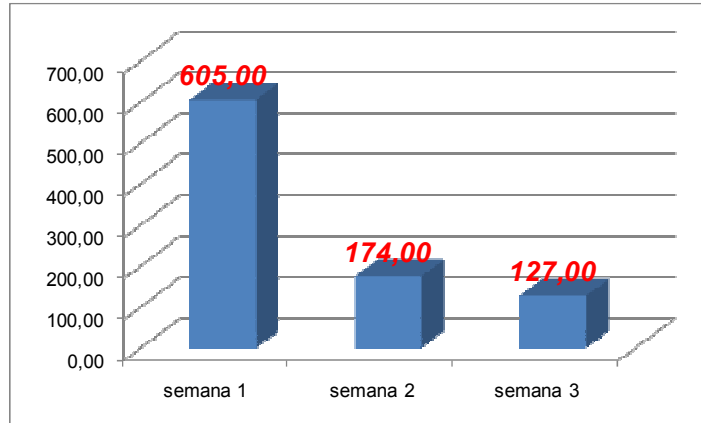
Figura 76. Historial de consumo por recurso del material de enchape de piso Fresalia. Cantidad de cajas retiradas del almacén vs. Tiempo



(Fuente: elaboración propia)

La diferencia de 10 cajas entre las últimas dos semanas y la primera indica varias cosas: lo primero, es que hay homogeneidad en las tasa de producción, luego los rendimientos son similares, facilitando la planificación semanal bajo condiciones normales con dicho contratista; lo segundo, es que se favorece la rotación de inventario en el horizonte táctico del proyecto (planificación intermedia aproximadamente a 6 semanas) si se tiene en cuenta que para el periodo de corte, en el almacén se disponen de 648 cajas y hasta el momento se han consumido 460; siendo probable que la curva de aprendizaje se acelere y se logre consumir la totalidad de las cajas restantes, o bien, se logre quedar un inventario un stock de seguridad similar al estimado por la dirección de la obra, que es de 40 cajas.

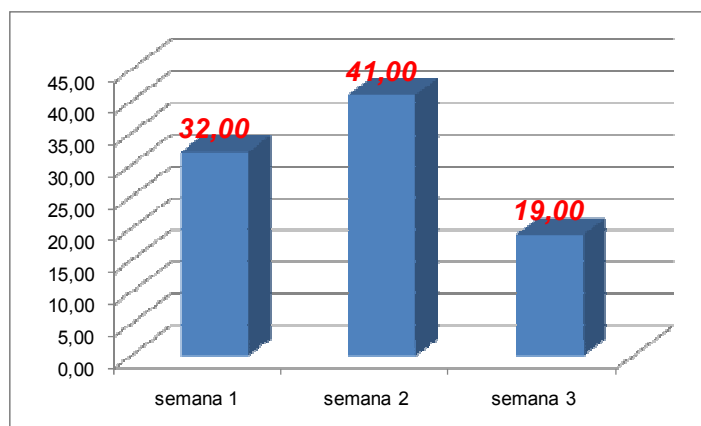
Figura 77. Historial de consumo por recurso del material Revoestucor.
Cantidad de bultos retirados del almacén vs. Tiempo



(Fuente: elaboración propia)

Claramente la diferencia de 431 bultos de la primera semana con la segunda, y de 478 bultos con la tercera semana, indica un cuello de botella en la actividad; por lo tanto el flujo de este material deberá ser replanteado o balanceado, de manera tal que no se generen carencias de stock para las semanas posteriores. Si se mira de nuevo el horizonte táctico de la obra, se observa que la disponibilidad de bultos de Revoestucor está sólo para cubrir la demanda solo hasta la cuarta semana, dado que el registro en el inventario para el último corte es de 194 bultos disponibles.

Figura 78. Historial de consumo por recurso del material de enchape de pared Valencia
Cantidad de bultos retirados del almacén vs. Tiempo



(Fuente: elaboración propia)

En esta actividad aún no se pueden sacar conclusiones sobre la producción, sin embargo, el consumo de material en estas tres semanas es muy inferior al inventario disponible en el almacén, que es de 216 cajas. Por lo tanto es necesario mirar cómo se puede equiparar la carga de trabajo, de tal manera que la tasa de producción sea del mismo orden de magnitud respecto al enchape de piso.

La tabla 69 muestra el inventario actualizado a la fecha del corte para el presente ejercicio.

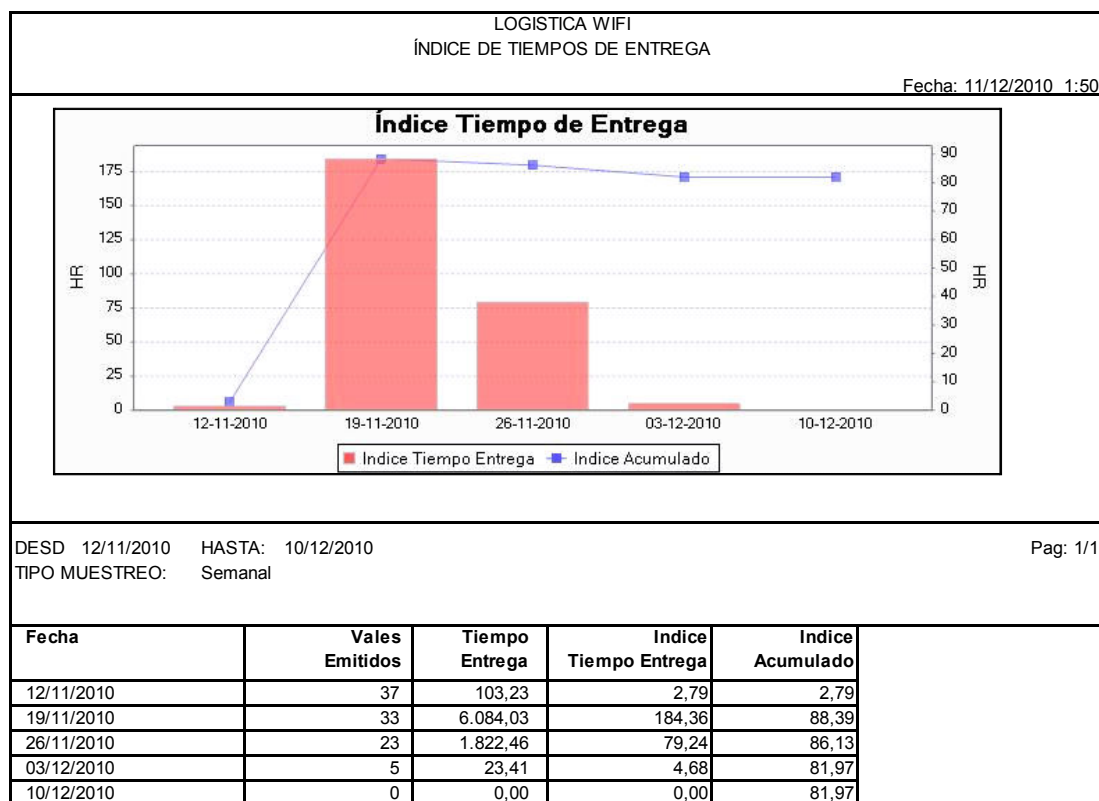
Tabla 69. Inventario actualizado de los materiales controlados con logística wi-fi para la obra B.

LOGISTICA WIFI INVENTARIO DE RECURSOS(STOCK)					
					Fecha: 11/12/2010 1:06
					Pag: 1/1
CodigoRecurso	Codigo I.C.	NombreRecurso	Unidad	Stock C.	Stock B.
7672		ADRIANA BEIGE 30X30	CAJA	10,00	51,00
1018391		FRESALIA 45X45	CAJA	40,00	648,00
1010040		REVOESTUCO	BULTO	50,00	194,00
1001073		VALENCIA 20X30	CAJA	20,00	216,00
23900		Vinilo tipo 1 blanco x 5gl	CANECA	10,00	50,00

(Fuente: software Logística wi-fi)

Tiempos de entrega: el tiempo de entrega se puede asumir como el tiempo logístico requerido desde la aprobación del vale de consumo hasta el retiro de dicho material del inventario del almacén. La curva mostrada en la tabla 70 es la acumulada para todos los materiales hasta el momento analizados. Sin embargo, la información arrojada por este indicador es cuestionable, pues en las condiciones iniciales de los datos de entrada al sistema, no se requiere montar el calendario laboral destinado para la obra B, de manera que la acumulación de tiempo no corresponde efectivamente a la realidad del proyecto.

Tabla 70. Informe de tiempos de entrega de materiales en la obra B



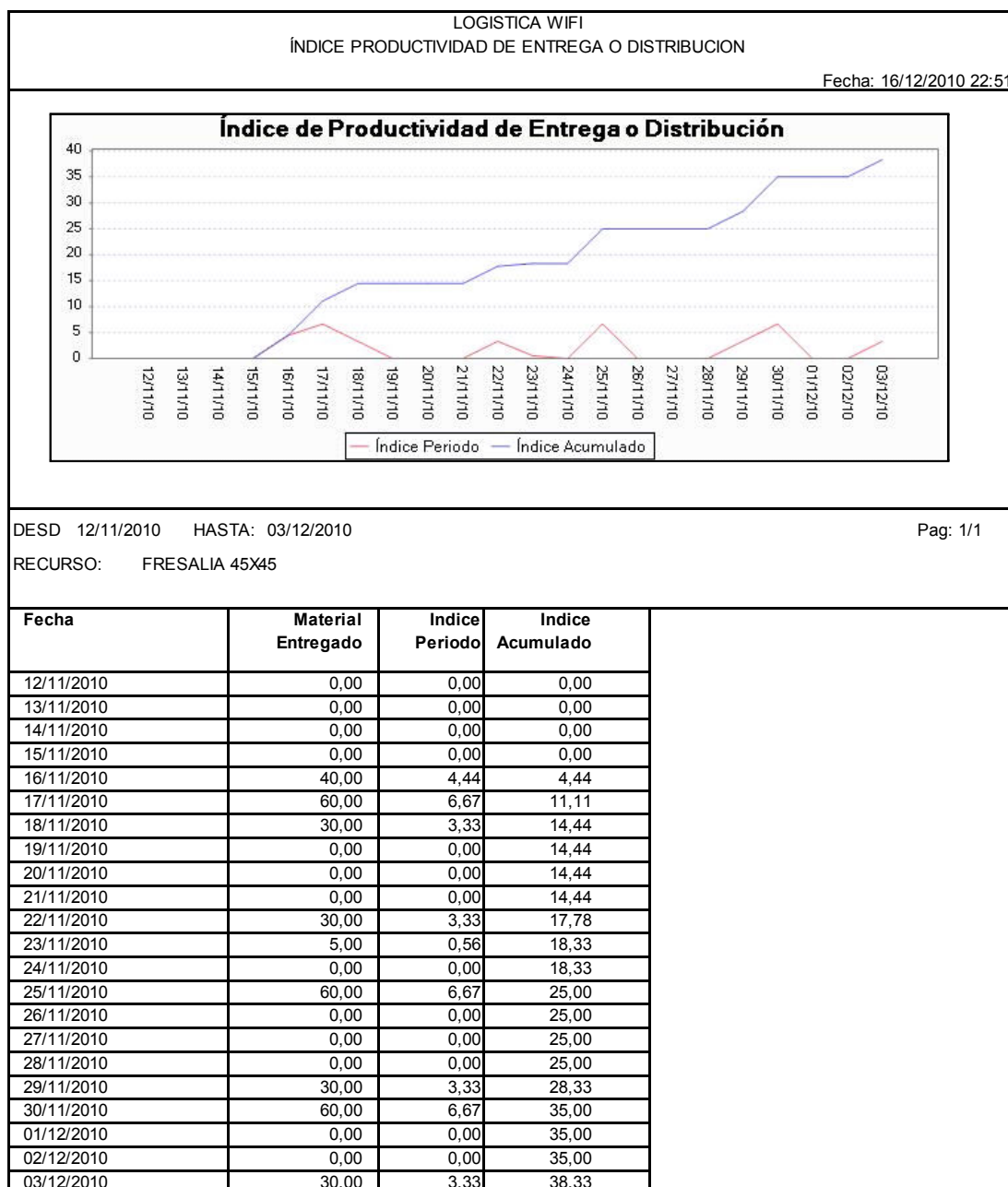
(Fuente: software Logística wi-fi)

Productividad de entrega o distribución: es la relación entre la cantidad de recurso entregado en el frente de obra, y el tiempo de horas hombre requeridas para su recepción, almacenamiento y distribución. Teniendo en cuenta los datos obtenidos de los tiempos de distribución en la tabla 67, se hace aproximadamente un estimado de 4,5hH para un solo ciclo que consume apenas la mitad del material registrado, por lo tanto para efectos de obtención del indicador, se estima que se requieren de 9hH para la distribución del enchape fresalia. La tabla 71 muestra el resultado obtenido por logística wi-fi. Es claro que dicho indicador asume un solo tiempo promedio, correspondiente al único dato de entrada de hH (horas hombre) que se exige a la hora de la obtención del informe, por lo que es apenas una aproximación para modelar en forma simple tasas de movimiento de material.

Se observa como la pendiente de la curva acumulada es más pronunciada en la primera semana de análisis, por lo que es fácil reconocer que la tasa de producción en esa fase es la de mayor productividad, coincidiendo con los datos expuestos en la figura 76 en donde se informa sobre el flujo semanal del enchape fresalia.

Sin embargo, suponiendo que no se introdujeran las hH, también se obtendrían pendientes idénticas a lo largo del abscisado puesto que hH es una constante de entrada.

Tabla 71. Informe de índice de productividad de entrega o distribución para el enchape de piso Fresalia en la obra B



(Fuente: software Logística wi-fi)

En la medida en que la empresa constructora B se vaya apropiando de la herramienta TIC propuesta, se irán generando más indicadores logísticos, tales como: Índices de sobre consumo, pérdidas por recurso, proyección de kits, etc. Esto sin duda requiere de un periodo largo de adaptación en donde paralelamente a la mecánica de trabajo en la obra, se utilice la aplicación del software con el ánimo de generar confianza tanto en el equipo logístico, de construcción y suministros, encargados de la operación; como en el equipo administrativo, encargado de la interpretación de los datos y su posterior correlación con los informes de costos indirectos asociados al manejo logístico de la obra.

Fluidez del inventario: a pesar de que este no representa un indicador obtenido a partir de la operación del software “logística wi-fi”, sino, una correlación de datos propuesta por el investigador, se define como el nivel de homogeneidad con que se rota determinado recurso a través de una escala de tiempo determinada. Para llegar a obtener dicho indicador es necesario conocer el historial arrojado por el informe de consumo por recurso. Antes de continuar es preciso introducir el concepto a partir del siguiente ejemplo:

Supóngase que para determinada actividad se conoce con precisión la cantidad de materiales requeridos y se tiene estimada una duración aproximada, según se expone en la tabla 72.

Tabla 72. Información preliminar para planificación semanal de recursos

Datos iniciales teóricos	
Actividad	A
Duración	8 Semanas
Tasa de producción	Constante
Cantidad total de material requerido	800 u
Cantidad de material requerido y programado por semana	$800 \text{ u} / 8 \text{ semanas} = 100\text{u/semana}$

(Fuente: elaboración propia)

La tabla anterior puede ser resultado de una reunión de planificación intermedia en donde se definen las cantidades de materiales a pedir y en donde se define cual va a ser la rotación de dicho recurso.

La fluidez del inventario vendrá dada por el nivel de precisión con que se ejecute la obra de acuerdo a lo pactado en la tabla 72, siendo un indicador que sirve para validar el nivel de “predictabilidad” que pueda tener el equipo del último planificador⁷¹, es decir, si se pudiera obtener una curva que represente los tiempos de flujo de cada material, se esperaría que una buena correlación de los datos, es decir, bajos niveles de dispersión, den muestras de una acertada planificación de recursos, así:

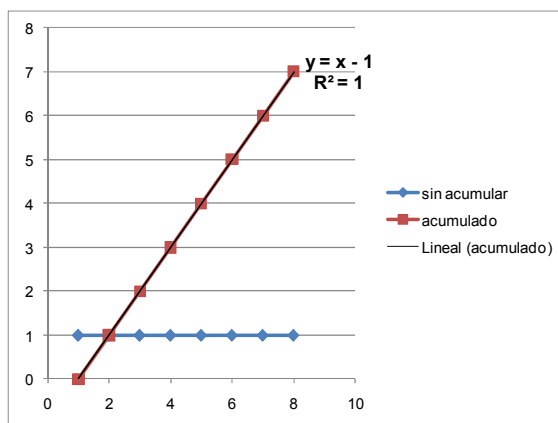
Tabla 73. Registro de consumos por recurso y obtención de tiempos de espera entre pedidos con frecuencia semanal

Fecha de registro del pedido	Recursos consumidos	Tiempo de espera entre pedidos consecutivos	Tiempo acumulado
Semana 1	100	NA	
Semana 2	100	1 semana	1 semana
Semana 3	100	1 semana	2 semanas
Semana 4	100	1 semana	3 semanas
Semana 5	100	1 semana	4 semanas
Semana 6	100	1 semana	5 semanas
Semana 7	100	1 semana	6 semanas
Semana 8	100	1 semana	7 semanas

(Fuente: elaboración propia)

Luego la curva de fluidez sería:

Figura 79. Curva de fluidez del inventario
Tiempo de espera entre pedidos vs. Consecutivo del pedido.



(Fuente: elaboración propia)

⁷¹ Recordar en apartados anteriores en donde se definía la “predictabilidad” como el inverso de la desviación del costo presupuestado.

La figura 79 expone claramente la uniformidad con que fluye el inventario, obteniéndose el máximo coeficiente de correlación, lo cual indica que lo que se planificó, se cumplió sin modificación alguna. Aunque está claro que el nivel de fluidez con un coeficiente de correlación de 1 podrá obtenerse solo dándole salida a 700 unidades en siete semanas, sin embargo, como debe completarse las 800 unidades de material, dicha correlación desmejoraría si se le diera más espera a la salida del material restante.

Establecido el concepto, se observará la fluidez del inventario de los materiales de la obra B, a partir de la información obtenida del consumo por recurso para cada material.

Se comenzará por los materiales de enchape, registrando los movimientos que se hicieron en el periodo de análisis:

Tabla74. Avance de consumo de recursos para el material Adriana Beige30x30 en la obra B.

LOGISTICA WIFI AVANCE DE CONSUMO DE RECURSOS						
DESD 12/11/2010		HASTA: 10/12/2010		Fecha: 12/01/2011 15:56		
RECURSO: 7672		ADRIANA BEIGE 30X30		Pag: 1/1		
Fecha	Nº	Tipo de Vale	Partida	NombreDestino	NombreTrab	Cantidad
22/11/2010 07:54:38	52	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PISO	TORRE 1ºPISO 2ºAPTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	2,00
29/11/2010 07:54:37	81	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PISO	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 5B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	2,00
30/11/2010 14:28:52	89	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PISO	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 8A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	2,00
01/12/2010 08:05:28	91	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PISO	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	2,00
01/12/2010 08:06:46	92	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PISO	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 6B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	2,00
23/11/2010 13:11:05	57	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PISO	TORRE 1ºPISO 2ºAPTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	2,00
26/11/2010 10:09:47	75	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PARED	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 6B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	3,00
27/11/2010 08:51:32	77	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PISO	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 5B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	2,00
TOTAL::						17,00

(Fuente: software Logística wi-fi)

Tabla 75. Avance de consumo de recursos para el material Fresalia 45x45 en la obra B

LOGISTICA WIFI AVANCE DE CONSUMO DE RECURSOS						
DESD 12/11/2010 HASTA: 10/12/2010						Fecha: 12/01/2011 15:57
RECURSO: 1018391 FRESALIA 45X45						Pag: 1/1
Fecha	Nº	Tipo de Vale	Partida	NombreDestino	NombreTrab	Cantidad
16/11/2010 15:11:30	14	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 2ºAPTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	10,00
16/11/2010 15:16:45	15	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 2ºAPTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
17/11/2010 13:27:45	34	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 6B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
17/11/2010 13:29:13	35	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 8A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
18/11/2010 08:17:00	36	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
22/11/2010 08:12:01	53	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 5B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
23/11/2010 08:19:52	56	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	5,00
25/11/2010 13:35:42	70	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 8A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
25/11/2010 13:34:07	69	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
29/11/2010 06:13:28	78	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 6B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
30/11/2010 14:27:23	88	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 8A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
30/11/2010 14:26:23	87	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 6B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
03/12/2010 08:12:19	101	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
02/12/2010 07:46:08	96	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
19/11/2010 16:03:54	41	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 6B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
22/11/2010 13:09:26	54	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	25,00
24/11/2010 15:07:07	62	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 8A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	30,00
TOTAL::						460,00

(Fuente: software Logística wi-fi)

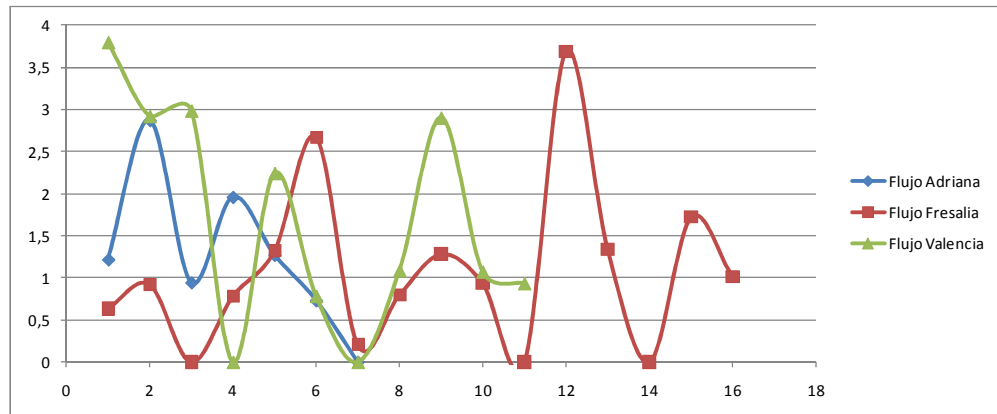
Tabla 76. Avance de consumo de recursos para el material Valencia 20x30 en la obra B

LOGISTICA WIFI AVANCE DE CONSUMO DE RECURSOS						
DESD 12/11/2010 HASTA: 10/12/2010						Fecha: 12/01/2011 19:52
RECURSO: 1001073 VALENCIA 20X30						Pag: 1/1
Fecha	Nº	Tipo de Vale	Partida	NombreDestino	NombreTrab	Cantida
12/11/2010 14:22:52	1	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PARED	TORRE 1ºPISO 2ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	12,00
16/11/2010 09:34:21	5	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PARED	TORRE 1ºPISO 2ºAPTO 5B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	12,00
22/11/2010 07:18:58	50	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PARED	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 6B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	7,00
22/11/2010 07:22:44	51	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PARED	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 8A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	7,00
25/11/2010 08:05:02	64	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PARED	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 5B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	7,00
25/11/2010 08:02:08	63	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PARED	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 5B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	6,00
29/11/2010 07:53:14	80	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PARED	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 8A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	5,00
30/11/2010 09:36:54	86	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PARED	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 8A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	7,00
01/12/2010 08:02:34	90	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PARED	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	7,00
19/11/2010 07:38:53	40	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PARED	TORRE 1ºPISO 2ºAPTO 6B	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	8,00
24/11/2010 13:13:33	61	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PARED	TORRE 1ºPISO 2ºAPTO 7A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	7,00
26/11/2010 10:11:48	76	Vale Consumo	ENCHAPE BAÑOS PARED	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 8A	GIL ARIAS WILMER JEHOVAN	7,00
TOTAL::						92,00

(Fuente: software Logística wi-fi)

Con esta información se grafican en un mismo plano la cantidad de pedidos ejecutados y los tiempos entre pedidos, los cuales se obtienen con la diferencia entre fechas consecutivas de los informes de consumos por recurso.

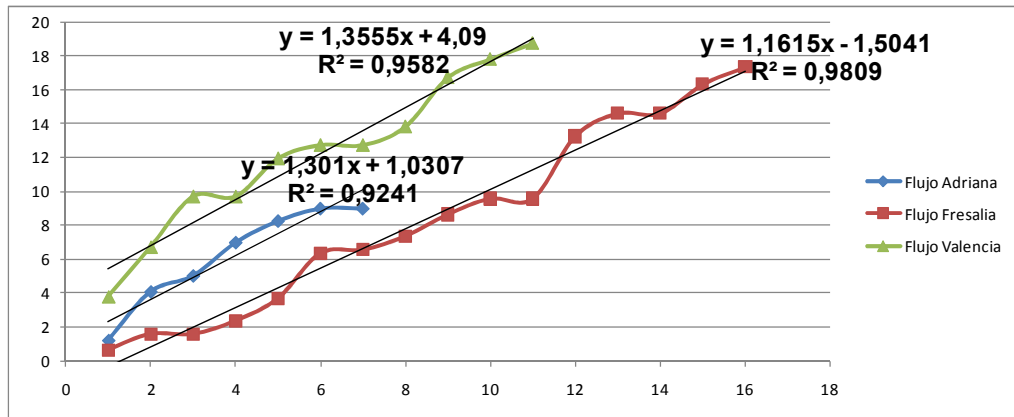
Figura 80. Tiempo de espera en días entre pedidos consecutivos vs. Número de pedidos.
Materiales de enchape



(Fuente: elaboración propia)

Acumulando la información de la figura 80, se podrá visualizar mejor la variabilidad de la rotación, es decir, la fluidez del inventario. Sin embargo, se puede apreciar la fluctuación en los deltas de tiempo que se obtienen entre las fechas de cada uno de los pedidos. Es normal encontrar picos tan marcados precisamente porque el software no está diseñado para cronometrar el tiempo en jornada laboral, aún así, suponiendo que se trabaja en forma continua, se puede comparar las tres variables hasta el pedido número 7, encontrando que la menor área bajo la curva corresponde al enchape Fresalia, lo cual quiere decir que es un material que se está rotando o fluyendo más que los otros dos enchapes; esto también lo respalda la figura 76 donde se ve la uniformidad en el historial de consumo para dicho material.

Figura 81. Curva de fluidez del inventario de material de enchape en la obra B
 Tiempo de espera acumulado entre pedidos consecutivos vs. Número de pedidos.



(Fuente: elaboración propia)

La figura 81 muestra que el material Fresalía, que fue el que mejor comportamiento tuvo en cuanto a consumo programado, presenta el coeficiente de correlación más cercano a uno. Por lo tanto se podría establecer una fórmula para cuantificar el indicador de fluidez del inventario a partir de los valores obtenidos con el coeficiente de correlación. Dicha ponderación puede ser definida con escalas valorativas o comparativas con el comportamiento de muchos más materiales en la medida en que se disponga de más información y en periodos de tiempo correspondientes a proyectos de larga duración y donde haya un movimiento considerable de inventario.

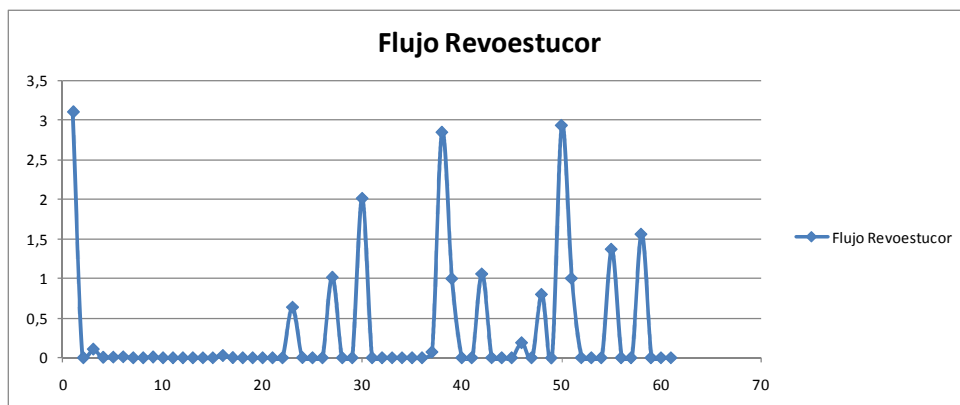
Para el material de las actividades de estuco se tiene el siguiente informe:

Tabla 77. Avance de consumo de recursos para el material Revoestucor en la obra B

LOGISTICA WIFI						
AVANCE DE CONSUMO DE RECURSOS						
DESD	12/11/2010	HASTA:	10/12/2010	Fecha: 12/01/2011 16:00		
RECURSO:	1010040	REVOESTUCO		Pag: 1/3		
Fecha	Nº	Tipo de Vale	Partida	NombreDestino	NombreTrab	Cantida
13/11/2010 08:50:03	4	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	30.00
16/11/2010 11:28:22	6	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
16/11/2010 11:33:04	7	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
16/11/2010 15:32:15	22	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
16/11/2010 14:11:30	8	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
16/11/2010 14:22:55	9	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
16/11/2010 14:35:55	10	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
16/11/2010 14:55:13	11	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
16/11/2010 14:59:04	12	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
16/11/2010 15:02:02	13	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
16/11/2010 15:19:03	16	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	20.00
16/11/2010 15:21:27	17	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	15.00
16/11/2010 15:23:23	18	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	15.00
16/11/2010 15:25:06	19	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	15.00
16/11/2010 15:30:10	21	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
16/11/2010 15:27:28	20	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	15.00
16/11/2010 16:14:44	23	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 2ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	34.00
16/11/2010 16:20:36	24	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 2ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	34.00
16/11/2010 16:22:12	25	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 2ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	34.00
16/11/2010 16:23:34	26	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 2ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	33.00
16/11/2010 16:24:52	27	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	33.00
16/11/2010 16:28:08	28	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 3ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	33.00
16/11/2010 16:27:28	29	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	33.00
17/11/2010 07:50:11	30	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	5.00
17/11/2010 07:56:16	31	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
17/11/2010 08:00:19	32	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
17/11/2010 08:01:47	33	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	5.00
18/11/2010 08:32:55	39	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
18/11/2010 08:31:10	38	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	6.00
18/11/2010 08:29:39	37	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
23/11/2010 07:22:45	55	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	5.00
25/11/2010 13:38:27	72	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 8ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	20.00
25/11/2010 13:37:14	71	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 7ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
25/11/2010 09:01:14	68	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 7ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	15.00
25/11/2010 08:59:29	67	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 8ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	15.00
25/11/2010 08:58:09	66	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	3.00
25/11/2010 08:56:49	65	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 7ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	15.00
29/11/2010 07:25:34	79	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 7ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
30/11/2010 07:36:52	85	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	5.00
30/11/2010 07:35:41	84	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 7ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
30/11/2010 07:34:24	83	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 8ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	15.00
30/11/2010 07:33:15	82	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 8ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	12.00
03/12/2010 06:09:52	97	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 8ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	15.00
03/12/2010 06:11:16	98	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 8ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
03/12/2010 06:12:35	99	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 8ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	4.00
03/12/2010 06:13:48	100	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 9ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	15.00
01/12/2010 16:35:58	93	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 7ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	5.00
01/12/2010 16:37:28	94	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 7ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	6.00
01/12/2010 16:38:58	95	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 1ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	20.00
20/11/2010 08:57:04	42	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 7ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	25.00
20/11/2010 09:00:43	43	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 7ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	20.00
20/11/2010 09:02:09	44	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
20/11/2010 09:03:35	45	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 5B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
20/11/2010 09:04:54	46	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
20/11/2010 09:06:18	47	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 7A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
20/11/2010 09:08:56	48	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
20/11/2010 10:56:29	49	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 4ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
24/11/2010 07:25:10	58	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 7ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	15.00
24/11/2010 07:26:59	59	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 8A	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	10.00
24/11/2010 07:28:15	60	Vale Consumo	ESTUCO MUROS Y TECHO	TORRE 1ºPISO 6ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	6.00
26/11/2010 08:53:58	74	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	30.00
26/11/2010 08:53:58	74	Vale Consumo	ENCHAPE DE PISOS	TORRE 1ºPISO 5ºAPTO 6B	GALLEGO MARIN JUAN CAMILO	30.00
TOTAL:::						906.00

(Fuente: software Logística wi-fi)

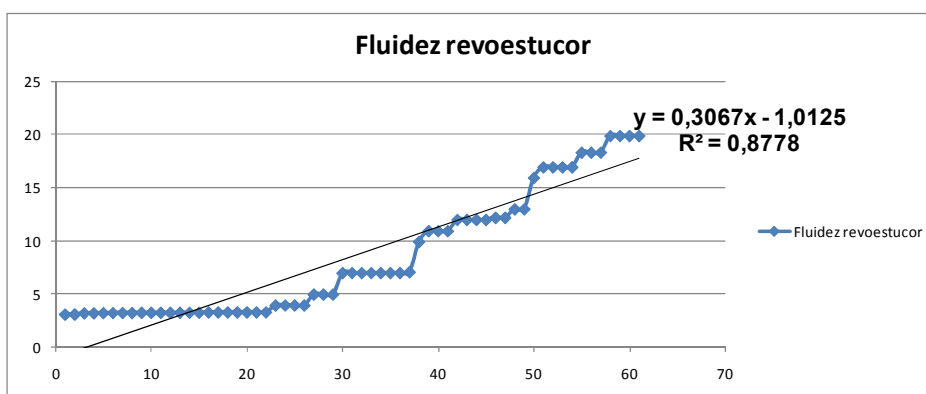
Figura 82. Tiempo de espera en días entre pedidos consecutivos vs. Número de pedidos.
Materiales de estuco



(Fuente: elaboración propia)

En los primeros 20 pedidos se puede observar un flujo constante muy similar a como se planteaba en el ejemplo teórico, sin embargo, después se puede notar fluctuaciones muy marcadas producto de la falta de mano de obra para dicha actividad; esto se puede validar con la figura 77 en donde se registra el historial de consumo semanal del recurso Revoestucor, encontrando que se pasó de un consumo de 605 bultos en la primera semana a 174 bultos en la segunda, representando una reducción del 71,24% en las salidas del almacén del recurso en cuestión. La fluidez del inventario se observa a continuación en la curva acumulada de los deltas de tiempo de espera entre pedidos consecutivos.

Figura 83. Curva de fluidez del inventario de material de enchape en la obra B
Tiempo de espera acumulado entre pedidos consecutivos vs. Número de pedidos.



(Fuente: elaboración propia)

Evidentemente la correlación es muy deficiente respecto a la del enchape Fresalia. La pendiente cero para los primeros 20 pedidos en la curva acumulada significa que todo ese material rotó en un solo día, con lo que se puede concluir que efectivamente hubo acumulación inoficiosa de inventario en el frente de obra de la actividad de estuco, de esta forma, la curva de fluidez puede ser un complemento de análisis para las gráficas de flujo de material en escala semanal, además puede servir de radiografía para mirar cómo se está manejando el concepto de justo a tiempo en el aprovisionamiento de los frentes de obra. Cabe anotar que el máximo valor obtenido en el eje y de la curva acumulada coincide con el tiempo total empleado requerido para la rotación del inventario registrado en los pedidos del historial de consumo de recursos.

5.4.3.4. Inconvenientes e imprevistos ocurridos en la implementación de logística wi-fi en la obra piloto de la constructora B.

Respecto a los requerimientos tecnológicos de la aplicación:

- Dificultad en la instalación por actualizaciones de aplicaciones Windows, requiriendo necesariamente el cd de instalación del sistema operativo para modificar propiedades. El proceso de instalación demoró aproximadamente unas 4 horas, por lo que se tuvieron que suspender las actividades del almacenista.
- La cobertura wi-fi solo alcanzaba hasta el tercer piso con una señal óptima, y hasta el quinto piso con una señal muy inestable. Del sexto piso al quinceavo piso la señal era nula. Solo se ubicó un access point en el sitio del almacén (con velocidad de transmisión inalámbrica de 300M aprox). Cabe recordar que la estructura del edificio son muros vaciados en concreto, lo que hace que la interferencia de la señal wi-fi aumente considerablemente con los pisos.
- La sincronización de los datos de la PDA con el usuario PC, solo se pueden efectuar a pocos metros del acces point debido a lo inestable de la señal wi-fi, por lo que se requiere de un sistema de antenas omnidireccionales ubicadas estratégicamente en el lote del proyecto, o bien, una red de tres o cuatro access point.

Respecto a la interacción con sistemas ERP y modelos de gestión de calidad:

- La actualización del sistema “logística wi-fi” requiere de información proveniente de los planificadores de recursos empresariales (ERP) por lo que la doble entrada de datos se considera como un reproceso, a pesar de la posibilidad existente de importar los datos desde Excel. Dependiendo del sistema de calidad con que cuente la compañía, no está permitido el transporte de dicha información mediante herramientas que puedan ser manipulables como el Excel.
- En los informes de consumo de materiales arrojados por logística wi-fi solo se asocia un código, que corresponde al id del material, sin embargo, dicho código no se asigna a ningún centro de costos, lo cual dificulta el control presupuestal.

5.4.4 Planteamiento de propuesta para la creación del software GESLOG.

5.4.4.1 Descripción general de la funcionalidad y pertinencia de la creación de un nuevo software para gestionar la logística interna y externa de las obras de construcción. Sin duda alguna “logística wi-fi” es un aporte valioso para abordar el campo de la gestión logística en el sector de la construcción y es necesario que se siga implementando en una primera fase exploratoria en distintas obras de construcción en Colombia, sin embargo, el investigador principal considera que dicho software solo se encarga del control, por lo tanto, es necesario plantear la posibilidad para que en el mediano plazo se pueda construir un software de gestión logística de obras, que se encargue de generar información para la planificación logística y el control de recursos; de esta forma se consolida más el concepto de gestión en las dimensiones de los cuatro flujos logísticos planteados en la teoría: materiales, personal, información y equipos.

GESLOG se plantea para que sea una plataforma de apoyo a la gestión logística interna y externa de la obra y para que interactúe con las herramientas disponibles en la plataforma PGC (Plataforma Gestión de la Construcción) de la alianza estratégica EAFIT-CIDICO. Por su naturaleza de plataforma, es necesario que esté estructurada para que sea operada desde la web por los usuarios de escritorio y los usuarios móviles; esto garantiza mayor rapidez en cuanto a accesibilidad y sincronización de datos, así como también facilita exhibir de manera transparente los movimientos de recursos en la obra, dado que la información se registra en tiempo real.

GESLOG deberá ser pensada, no solo para centralizar todo el control en el almacén, sino, a partir de la definición de roles en el plan logístico de la obra, asignar responsabilidades a diferentes entidades, tales como: los patios de materiales, los patios de maquinaria, las porterías de acceso y la oficina de ingenieros.

Con el tiempo podrán agregarse módulos como los de salud ocupacional y seguridad industrial, medio ambiente y manejo de residuos, entre otros. Por ahora el enfoque solo se hará a la parte de productividad y calidad.

5.4.4.2 Módulos propuestos en el menú GESLOG. La siguiente tabla resume el contenido de las funciones propuestas para la estructuración del software.

Tabla 78. Resumen de módulos propuestos en el menú GESLOG

Contenido del Menú GESLOG		
CONTROL LOGÍSTICO	Archivo	Contiene los datos de entrada del proyecto y la clasificación de recursos (materiales, personal, equipos y herramientas)
	Almacén	Contiene el kardex, inventario actualizado, Salidas de almacén y solicitudes de compra o aprovisionamiento.
	Patios	Contiene un kardex para los materiales de patio que se pueden cuantificar fácilmente, inventario actualizado, salidas de patio para materiales que se puedan cuantificar fácilmente, y solicitudes de compra o aprovisionamiento.
	Portería	Contiene el registro de entradas y salidas de vehículos, personas y equipos. Registro de entrada de materiales de patio.
	Patio de equipos	Contiene el registro de horas máquina.
	Control de flujos	Contiene los siguientes informes: Inventario, consecutivo de salidas, consecutivo de solicitudes de compra; historial de consumo de materiales por contratista, actividad, material y destino; historial de consumo de horas hombre por contratista y por actividad; visualización de personal presente en la obra, horómetro de equipos, flujo de caja de materiales y mano de obra.
PLANIFICACIÓN LOGÍSTICA	Planificación Táctica (panorama 8-6 semanas)	Contiene las actividades programadas en el horizonte táctico, elaborando de esta forma los flujos teóricos de materiales y mano de obra y estableciendo el inventario requerido para dicho periodo de tiempo.
	Acumulación de inventario	consolida la información anterior a la planificación táctica con el inventario proyectado con el objetivo de la NO sobreasignación de recursos en el almacén.
	Indicadores Logísticos	Arroja indicadores en tiempo real de la operación logística de la obra

(Fuente: elaboración propia)

5.4.4.3 Archivo GESLOG. En el archivo se introducen los datos de entrada, correspondientes a la información inicial del proyecto en cuanto a cantidades de recursos y estructura organizacional, adicionalmente se define la disposición de los recursos respecto a cada centro de costos que se defina en los datos de entrada.

Datos de entrada.

Sistema de unidades, conversiones y monedas: se incluye una librería lo suficientemente generosa como para tener en cuenta todas las unidades conversiones y monedas que se puedan manejar en el gremio (por lo menos SI y sistema inglés), por lo tanto no habría que editar nada. Se propone arrojar informes en moneda local y en dólares. El valor del dólar se puede actualizar automáticamente en un enlace que tenga el software con alguna fuente que actualice el valor de la divisa.

Nombre de la obra: corresponde al nombre del proyecto, debidamente codificado según nomenclatura de la empresa. Así, desde el punto de vista de la gerencia de la empresa, este ítem será un gran centro de costos para efectos de la contabilidad desde la oficina central, es posible que se habiliten varias obras y puedan ser supervisadas desde cualquier parte, debido a la naturaleza del software, el cual debe ser concebido para que funcione como una plataforma web. Entradas: nombre de la obra y código.

Capítulos y actividades: corresponde a la programación de las etapas de la obra. Las diferentes etapas del proyecto se pueden considerar como capítulos; a su vez, estos contienen determinadas actividades. Para efectos de homogenizar el esquema de trabajo de GESLOG con el esquema de trabajo de muchos ERP, cada capítulo deberá representar un centro de costos, lo que facilitará la segmentación de los costos directos e indirectos de la obra. Entradas: capítulos, actividades, asignación de actividades a capítulos, asignación de centros de costos a capítulos. Esta información es factible importarla desde el ERP de la empresa.

Asignación de recursos: es necesario encontrar la forma de asociar cada uno de los APU a su respectiva actividad, bien sea importándolos desde el ERP o desde una macro que permita, en forma automática, configurar el inventario disponible para todo el proyecto, no solo de materiales, sino también, de equipos, herramienta y mano de obra. Obviamente si se activan determinados capítulos (correspondientes a los que se trabajan en tiempo presente) se obtendrá el inventario con el que es necesario contar. Esta cualidad es muy importante, suponiendo por ejemplo que se da por concluido el capítulo de revestimiento epóxico de tanques, es inconsistente que una vez desactivado el capítulo se solicite pintura epóxica, lo que indicaría un reproceso o una irregularidad en el pedido.

Evidentemente el inventario sugerido, a partir de la información de los APU es apenas preliminar, y servirá de base para efectuar el primer abastecimiento del almacén.

Destinos: corresponden a los lugares físicos del proyecto a los cuales se les asigna desde un principio las cantidades iniciales de materiales que demandan.

Asignación de roles: tal como se planteaba en el ciclo de planificación logística, se deben configurar los responsables de la ejecución del plan logístico a partir de los cuatro equipos definidos por Mossman: equipo de construcción, equipo logístico, equipo administrativo y equipo de suministros. Adicionalmente la lista de trabajadores con la información básica para su identificación, tanto por contratista, como por actividad que realiza.

Una nota que es muy importante antes de continuar con la asignación de roles es la siguiente: “En el modelo GESLOG, el almacenista NO efectúa compras ni elige proveedores. Solamente está facultado para sugerir órdenes de compra”
La asignación de roles también implica la definición de usuarios, definidos en las tablas 79 y 80.

Tabla 79. Asignación de usuarios GESLOG para el modo de control

		Usuarios para control logístico									
		Módulo Almacén		Módulo Patios		Módulo Portería		Módulo Patio Equipos		Módulo Control Flujos	
		Usuario escritorio	Usuario Móvil	Usuario escritorio	Usuario Móvil	Usuario escritorio	Usuario Móvil	Usuario escritorio	Usuario Móvil	Usuario escritorio	Usuario Móvil
Equipo de construcción	Ingeniero residente de obra	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Maestro de obra		X		X				X		X
	Encargado de patios								X		
	Técnico en concretos							X	X		
Equipo logístico	Ingeniero Lean	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Ingeniero SISO					X	X				
	Profesional gestión humana					X	X				
	Encargado cuadrilla logística		X		X				X		
Equipo administrativo	Personal portería						X				
	Ingeniero director de obra	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Equipo suministro	Ingeniero de costos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Almacenista	X	X								
	Proveedores		X		X						

(Fuente: elaboración propia)

Tabla 80. Asignación de usuarios GESLOG para el modo de planificación

Usuarios para planificación logística				
		Planificación táctica	Acumulación de inventarios	Indicadores logísticos
		Usuario escritorio	Usuario escritorio	Usuario escritorio
Equipo de construcción	Ingeniero residente de obra	X		X
Equipo logístico	Ingeniero Lean	X	X	X
Equipo administrativo	Ingeniero director de obra	X	X	X
	Ingeniero de costos	X	X	X
Equipo de suministros	Almacenista		X	

(Fuente: elaboración propia)

En la tabla 79 se incluye a un agente externo de la obra, los proveedores.

Es importante que se pueda ir generando una relación de colaboración entre proveedores y constructores, no solo en la parte de crédito financiero, sino también, en la parte de compromisos de cumplimiento en las entregas que se pacten según los lineamientos del plan logístico de materiales de almacén y de patio. Sería interesante que en tiempo remoto el proveedor consulte el estado del inventario de su producto en la obra, de tal forma que cuando este se esté acercando al inventario crítico, el proveedor se prepare para abastecer la obra, evitando así una serie de procesos administrativos que complican la gestión del proyecto. Otra opción podría ser que el software envíe un mensaje al proveedor cuando el inventario esté en cantidades críticas.

Calendario y horario laboral: es muy importante definir esta información y diseñar el software para que arrojen indicadores tomando como base las horas y los días hábiles, de esta forma no se desvía de la realidad la información en cuanto a tiempos logísticos empleados para la ejecución del proyecto. Es importante que en los días que se laboren horas extras se puedan hacer modificaciones, en dichos días, al horario laboral. Como componente opcional se puede establecer un horario del almacén.

Recursos.

Conformación de kits de materiales: idéntico a como se observa en “logística wi-fi”, y una vez montado en inventario inicial, tener la posibilidad de conformar grupos de materiales para facilitar los pedidos de actividades que requieren al tiempo dichos recursos.

Asignación de materiales a diferentes destinos: idéntico a como se observa en “logística wi-fi”, a cada espacio físico de la obra se le asocian los recursos unitarios o a modo de conformación de kits, según sea el caso. Esta es una de las formas de comprobar las cantidades de material desperdiciado, respecto al presupuesto inicial.

Conformación de cuadrillas: se configura a partir de la lista de los trabajadores de obra que se introducen en la asignación de roles.

Listado de equipos y herramienta: así como la información del inventario se modifica según los capítulos que estén activados, lo mismo deberá ocurrir con los listados de herramienta y equipo disponible.

5.4.4.4 Almacén GESLOG. El módulo de almacén lo comparten los usuarios de escritorio y los usuarios móviles, dicho uso se explica a partir de la definición del módulo de almacén, así:

Tabla 81. Funciones aprobadas para los usuarios del módulo de almacén en GESLOG

Funciones Almacén						
	Usuario escritorio			Usuario movil		
	Visualizar	Modificar	Solicitar	Visualizar	Modificar	Solicitar
Kardex	X	X	NA	NO	NO	NA
Inventario Actual	X	X	NA	X	NO	NA
Salidas Almacén	X	X	NO	X	X	X
Solicitud de compra	X	X	X	X	X	X

(Fuente: elaboración propia)

Salidas de almacén: las salidas de almacén modifican automáticamente el kardex y el inventario y solo pueden ser solicitadas desde el frente de obra. Para efectuar el pedido de algún material del almacén, basta con preguntar por el código del trabajador e inmediatamente se la asocia el nombre, contratista y actividad que desarrolla (recordar que no todos los capítulos están activados); seguidamente, se le anota la cantidad requerida, con la posibilidad de verificar la existencia de dicho material, directamente desde el frente de obra, igual a como se procede con el software “logística wi-fi”. Es importante configurar el sistema para que un trabajador de mampostería no esté habilitado para solicitar grifería por pedido o por solicitud de orden de compra, por ejemplo.

5.4.4.5 Patio GESLOG. El módulo de patio es el análogo en exteriores del almacén de la obra y está pensado para controlar en forma sistemática los materiales de patio que se puedan tratar como materiales de almacén; el acero de refuerzo, los elementos de mampostería, los prefabricados, la perfilería en acero, el cemento, entre otros, constituyen los materiales de patio cuyo flujo se puede controlar. Para el caso de los agregados

pétreos el control aún es incierto y solo se puede llevar un registro de lo que entra por portería y comparar teóricamente con las dosificaciones previstas para cada una de las mezclas. Los materiales de patio pueden ser considerados como materiales tipo A, y podrán hacerse responsables (usuarios de escritorio) el mismo almacenista o el ingeniero residente, sin embargo, solo este último podrá solicitar salidas de patio siendo usuario de escritorio.

Tabla 82. Funciones aprobadas para usuarios del módulo de patio en GESLOG

Funciones de Patio						
	Usuario escritorio			Usuario movil		
	Visualizar	Modificar	Solicitar	Visualizar	Modificar	Solicitar
Kardex	X	X	NA	NO	NO	NA
Inventario Actual	X	X	NA	X	NO	NO
Salidas Patio	X	X	X	X	X	X
Solicitud de compra	X	X	X	X	X	X

(Fuente: elaboración propia)

5.4.4.6 Portería GESLOG. La portería de la obra es un punto de control por excelencia. En el contexto colombiano este sitio de la obra manejado con mínimos estándares de calidad, y en muchos de los casos con improvisación en los registros de entradas y salidas. El software GESLOG propone integrar a la mecánica de trabajo al personal de la portería, para que este desde su condición de usuario móvil pueda alimentar el sistema y de esta forma controlar y planificar las variables asociadas al flujo logístico de personal. Las siguientes son las funciones previstas para dicho módulo.

Tabla 83. Funciones aprobadas para usuarios del módulo de portería GESLOG

Funciones de Portería						
	Usuario escritorio			Usuario movil		
	Visualizar	Modificar	Solicitar	Visualizar	Modificar	Solicitar
Registro de personal	X	NA	X	X	X	NO
Registro de vehiculos	X	NA	X	X	X	NO
Registro de maquinaria	X	NA	X	X	X	NO

(Fuente: elaboración propia)

Como los trabajadores están registrados por actividad y contratista, además de que se pueden conformar cuadrillas, el usuario de escritorio tendría la capacidad, producto de los registros, de exigirle al subcontratista que mantenga la nómina que se pactó desde un principio, o bien, a partir de proyecciones en la productividad o por asuntos de la planificación táctica, exigirle que se aumenten las horas hombre etc.

Esta herramienta también es sumamente útil para cuadrar los cortes de obra y emitir liquidación a trabajadores.

5.4.4.7 Equipos GESLOG. Este módulo tiene como objetivo registrar las horas máquina, obteniendo proyecciones de disponibilidad, rendimientos, etc. El responsable por el registro puede ser la persona responsable por los movimientos de tierra, vaciados, etc.

Tabla 84. Funciones aprobadas para usuarios del módulo equipos GESLOG

Funciones de Portería						
	Usuario escritorio			Usuario movil		
	Visualizar	Modificar	Solicitar	Visualizar	Modificar	Solicitar
Registro de maquinaria	X	NA	X	X	X	NO

(Fuente: elaboración propia)

5.4.4.8 Control GESLOG. Corresponde al módulo en donde se generan informes respecto al flujo de logístico de materiales, personas y equipos y sobre el estado de las existencias de almacén y las existencias de los patios. La tabla_ muestra una lista detallada de los informes que son necesarios para ejercer el control logístico de la obra.

Tabla 85. Listado de informes para el control logístico con GESLOG

Informes de control logístico
Informe de inventario actualizado
Valoración del inventario
Consecutivo de salidas de almacén
Valoración de las salidas
Consecutivo de ordenes de compra
Historial de consumo de recursos por contratista
Historial de consumo de recursos por actividad
Historial de consumo de recursos por material
Historial de consumo de recursos por destino
Historial de control de horas hombre por contratista
Historial de consumo de horas hombre por actividad
Horómetro de equipos y maquinaria
Listado de personal actualizado
Listado de personal actualizado por cuadrillas
Listado de personal actualizado por contratista
Listado de personal actualizado por actividad
Fecha de inicio y fecha de finalización de actividad tomando como referencia el consumo de materiales

(Fuente: elaboración propia)

Informe de inventario actualizado: corresponde a las cantidades existentes de materiales en el almacén y los patios.

Valoración del inventario: es el costo asociado a las cantidades existentes en el almacén y los patios

Consecutivo de salidas de almacén: el consecutivo de salidas es un informe que sustenta los consumos de recursos a través de los pedidos mediante vales efectuados desde el frente de obra.

Valoración de las salidas de almacén: paralelo al informe generado con las salidas de almacén, el software deberá calcular el costo de dichas salidas, en el periodo de tiempo que se tenga en cuenta para generar el informe.

Consecutivo de órdenes de compra: corresponde a un informe que sustenta las solicitudes de órdenes de compra que se puedan efectuar desde el almacén o desde los frentes de obra.

Historial de consumo de recursos: el historial de consumo de recursos se puede dar por contratista, por actividad, por material y por destino. Dicho informe deberá arrojar los respectivos flujos de consumo valorizados. Este control se genera en tiempo remoto, una vez se autoricen las salidas de almacén.

El historial de consumo de recursos sirve para proyectar futuros requerimientos de material, lo que facilita el manejo logístico en cuanto a aprovisionamiento, y recepción. Los flujos de caja obtenidos también pueden servir para el control presupuestal y para la validación de los cortes de obra a los diferentes contratistas, pudiendo de esta manera verificar pérdidas o eficiencia en el uso de recursos.

Historial de control de horas hombre: las horas hombre son un estimado que se calcularán a través del registro en portería. En ningún momento pretende obtener los tiempos que agregan valor, ni los de soporte, ni lo que no agregan valor. Este registro además de que permite diseñar planes de corto plazo, a partir de los informes de disponibilidad de la mano de obra, permite controlar los niveles de cumplimiento del contratista respecto a la actividad que se esté ejecutando. En construcción es muy común que una vez se desembolsa el anticipo a los subcontratistas, o bien, se dejan pasar periodos de tiempo en donde no hay presión para la obtención de resultados, estos decidan disminuir la mano de obra o transferir mano de obra a otras obras, lo cual afecta de manera directa los rendimientos del proyecto.

Cronómetro de equipos y maquinaria: el control sobre las horas de equipos es una variable fundamental para gestionar el flujo logístico de equipos. Con esta herramienta será posible comparar la eficiencia en el uso de dichos recursos y la posterior proyección

de capacidad instalada en cuanto a maquinaria, con el objetivo de definir fechas de cumplimiento de actividades.

Listados de personal: corresponde a un control que se hace a partir de los registros en portería. La información podrá ser segmentada por actividad, contratista o cuadrilla en los diferentes frentes. Esta información permitirá al equipo logístico disponer del recurso humano para la conformación temporal de cuadrillas logísticas que pueden apoyar a los distintos frentes.

Fecha de inicio y fecha de finalización de actividad, tomando como referencia el consumo de materiales: Este informe es netamente logístico si se tiene en cuenta que dicho control puede servir para detectar acumulación inoficiosa de inventario en los diferentes frentes de obra, aparte de que también sirve para identificar posibles reprocesos o demoras en la entrega de trabajos. Por ejemplo: supóngase que desde el día uno hasta el día diez salieron todas las existencias programadas para la ejecución de cualquier actividad en determinado destino; y solo hasta el día 15 el contratista entrega el trabajo. Lo que se puede concluir con esto es que hubo una acumulación de inventario durante cinco días producto de una mala planificación. Hay que tener en cuenta que la acumulación inoficiosa de inventario expone el material a la obsolescencia, al robo de material, y congestiona las rutas de circulación y las áreas de trabajo dispuestas en la planificación del Layout de obra.

5.4.4.9 Planificación táctica. la planificación táctica, pensada como la planificación intermedia en el horizonte de las ocho o las seis semanas, es una herramienta que servirá para el proyectar la gestión logística a partir de la programación de obra y de los APU asignados a cada una de las actividades que se tengan previstas para dicho lapso de tiempo.

Como los análisis de precio unitarios están ligados a las actividades, se sabrá de antemano como debe ser la provisión del almacén para dicho periodo, es decir, se generará una lista de pedido, lo que viene siendo el mismo inventario, una vez estos recursos ingresen al almacén y/o a los patios.

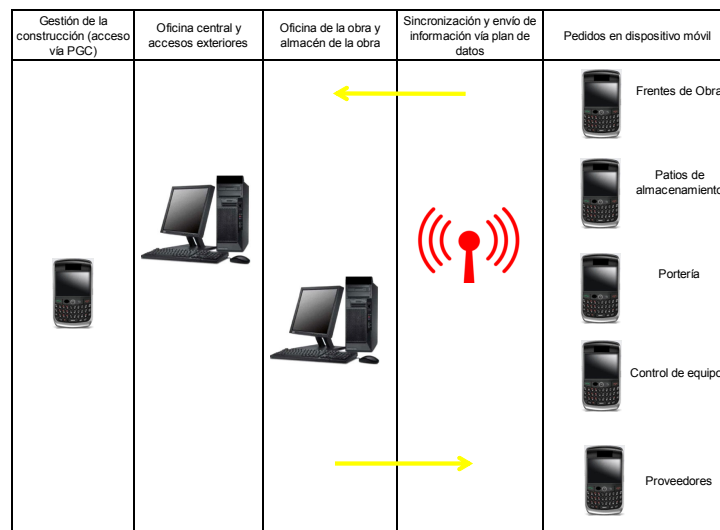
El caso más ideal, es que al finalizar la última semana de la primera planificación, el almacén y los patios estén vacíos; lo cual sería un justo a tiempo perfecto, pues no habría acumulación de inventarios y el flujo de recursos sería continuo. Evidentemente esto implicaría un PAC del 100% en todos los frentes de obra, lo que sin lugar a dudas es algo complejo de materializar.

Acumulación de inventarios. Como la acumulación de inventarios es inminente en la mayoría de los casos, es necesario que entre dos periodos consecutivos se pueda generar un descuento entre las existencias que quedaron en el almacén para efectos de configurar las existencias definitivas para las próximas ocho o seis semanas.

5.5.4.10 Indicadores Logísticos. Como se decía en capítulos anteriores, sin indicadores logísticos no hay gestión logística, por eso es preciso adoptar ciertos indicadores de logística wi-fi, pero también introducir nuevos indicadores que complementen los primeros.

Similar a como se planteaba en la figura 66 en donde se describía el funcionamiento del software “logística wi-fi”, la propuesta con GESLOG es en el fondo muy parecida, cambiando por supuesto la definición de roles en el esquema general de funcionamiento. La figura 84 es un esquema descriptivo que resume la idea de operación del software.

Figura 84. Esquema de funcionamiento GESLOG



(Fuente: elaboración propia)

6. CONCLUSIONES, ANÁLISIS DEL DIAGNÓSTICO Y PROYECCIÓN DE LA GESTIÓN LOGÍSTICA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN ENCOLOMBIA

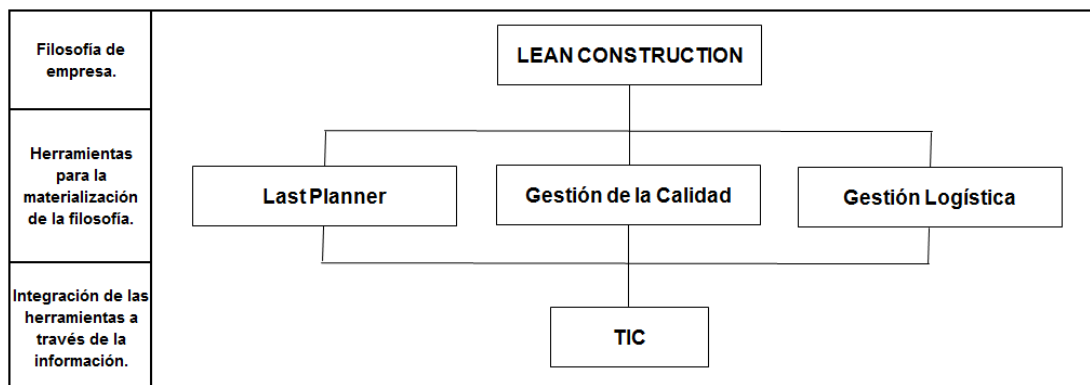
Una vez se materializó el diagnóstico de la gestión logística en el sector de la construcción y el modelo exploratorio para la introducción de una herramienta TIC que sirva como soporte logístico al interior de la obra, es preciso citar los siguientes puntos que generalizan las conclusiones obtenidas, posterior al desarrollo del marco práctico:

- La gestión logística no es entendida por los constructores como una herramienta integral que afecta solidariamente los procesos internos y externos de la obra. En la mayoría de los proyectos de las distintas constructoras, a pesar de tener definidos sistemas de gestión de calidad, no es evidente el enfoque al control de los flujos logísticos; esto, evidenciado a partir de la ausencia del diseño de un plan logístico y la respectiva cadena de suministros, concebida desde los procesos externos formalizados en las oficinas centrales de las empresas, hasta los procesos internos que se ejecutan directamente en los frentes de obra. Es fundamental dejar claro que un sistema de gestión de calidad no necesariamente implica gestión logística.
- El sector de la construcción en Colombia aún no adopta el modelo “Justo a tiempo” en el aprovisionamiento de recursos; siendo una constante la acumulación inoficiosa de materiales, o bien, los tiempos de espera que surgen producto del incumplimiento de los proveedores. La gestión logística de una empresa constructora necesariamente debe integrar a los proveedores de todos los niveles en los planes logísticos de cada proyecto, lo cual implica que estos también deben ser tenidos en cuenta en la planificación intermedia y semanal.
- Es prometedor para el sector de la construcción en Colombia la adaptación de los principios de la filosofía Lean Construction por parte de constructoras reconocidas en el medio, lo anterior hace que la gestión logística tenga lugar como una herramienta para materializar dichos principios a través del plan logístico. Varias de las empresas consultadas utilizan el sistema de planificación Last Planner, lo cual se puede acoplar perfectamente al plan logístico de materiales, favoreciendo el flujo continuo de recursos en un periodo de tiempo definido y con compromisos previamente adquiridos por parte de los contratistas.
- Las tecnologías de información y comunicación TIC, representan para el sector de la construcción una oportunidad para sistematizar la información y hacer más eficientes los procesos de gestión. En la actualidad, existen en Colombia ERP especializados para control presupuestal y financiero de obras de construcción, sin embargo, es clara la ausencia de una o varias herramientas tecnológicas para el control directo de los flujos logísticos y su respectiva interacción automática con alguno de estos ERP.

- Es necesario que para la implementación de un modelo eficiente de producción en el sector de la construcción en Colombia, bajo parámetros definidos a partir de un plan logístico, se comience a introducir el concepto de cuadrillas logísticas. Lo anterior serviría para que el almacén de la obra y los diferentes puntos de abastecimiento funcionaran como un punto de control y distribución, reduciendo sensiblemente los tiempos de soporte representados en tiempos de verificación de existencias, preparación, acopio y distribución de recursos.
- La posibilidad de manejar en un futuro las obras de construcción mediante el modelo de centros de abastecimiento (modelo CCC) favorecería la operación del almacén de la obra, reduciendo este espacio sólo a un punto de control de entradas y salidas de recursos, en donde no haya acumulación inofensiva de inventario y no se incurra en procesos administrativos de registro, facturación, contabilidad, existencias, y todos los procesos de digitación necesarios para la alimentación del sistema en la obra. El modelo por centro de abastecimiento sería la manera más eficiente de consolidar un “justo a tiempo” en el sector de la construcción, dependiendo de la frecuencia con que sea abastecida la obra y de la cantidad de recursos programados en la planificación intermedia y semanal.
- La planificación en planta o “Layout Planning” es un concepto que no es común a la totalidad de los proyectos de construcción en Colombia, sin embargo, en los proyectos en donde se cuenta con diseños de layout, estos son estáticos y corresponden a un solo escenario tenido en cuenta para la distribución de los espacios y las zonas de movilidad; también hay excepciones en donde hay proyectos que conciben dichos diseños en forma dinámica, es decir, cambiantes dependiendo de las actividades que se estén desarrollando, lo cual va ligado directamente a la logística de la obra en lo que respecta a la distribución y colocación de materiales en los diferentes frentes de obra, lo que confirma la estructura propuesta para la planificación logística de proyectos de construcción expuesta en la figura 9, donde a partir del planteamiento del plan logístico se formula un primer esquema para definir las zonas de trabajo y/o instalaciones temporales para verificar si se controlan o no los flujos logísticos de las obras.

Con lo citado anteriormente, se puede concluir que el sector de la construcción en Colombia, antes de evolucionar en cuanto a procesos constructivos, maquinaria y materiales, debe replantear los métodos de planificación de proyectos en la parte logística y administrativa; pues es a partir de la identificación de las debilidades existentes en las cadenas de suministro y de las pérdidas y reprocesos observados y medidos en la obra, que se puede optar con un criterio ya establecido, por la apropiación de nuevos materiales y equipos para la ejecución de dichos proyectos. La figura 85 propone un modelo estratégico para adaptarse al contexto local en los diferentes tipos de constructoras y empresas contratistas.

Figura 85. Propuesta de modelo estratégico a implementar en el sector de la construcción en Colombia



(Fuente: elaboración propia)

Lo más tradicional en las empresas del sector de la construcción en Colombia es darle la máxima jerarquía al sistema de gestión de calidad, sin complementarlo con las demás herramientas; es por esto que la introducción de *Lean Construction* en algunas empresas se toma como una opción y no como una prioridad para que en conjunto con los procedimientos del sistema de gestión de calidad se pueda configurar una estructura más sólida, que no solo esté pensada para el procesamiento de formatos y protocolos necesarios para el funcionamiento de la empresa, sino, para la planificación logística.

6.1 LA LOGÍSTICA INTEGRAL DE LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA.

6.1.1 Logística externa. La mecánica de compras empleada por las empresas constructoras en Colombia varía dependiendo del tamaño de la empresa; las siguientes son conclusiones producto de la investigación de campo y de la encuesta GESLOG realizada a 9 constructoras representativas en el medio.

- Generalmente no existe un plan logístico en donde se cuente con proveedores sustitutos en caso de que los proveedores principales fallen. La ausencia de los proveedores en los planes tácticos genera retrasos sensibles en la programación de la obra, por lo que tiene lugar la inclusión de los proveedores en la programación del proyecto.

- La ausencia de un modelo por centros de abastecimiento y programación semanal de grupos de recursos, hace que los flujos de materiales sean intermitentes, lo cual aumenta el nivel de incertidumbre respecto al cumplimiento de los proveedores; de esta manera se presentan los dos escenarios menos deseables: acumulación inoficiosa de materiales y cero aprovisionamiento. Un ejemplo claro de lo anterior es la acumulación de grandes cantidades de acero de refuerzo expuesto a la corrosión por largos periodos de tiempo y la cancelación del vaciado de una losa por la falta de un determinado diámetro para la terminación del armado, respectivamente.
- Entre más facultades tenga el personal del almacén para ejecutar órdenes de compra, la empresa constructora estará más lejos de adaptar un modelo por centros de abastecimiento, o bien, de establecer un “justo a tiempo” en la recepción de los materiales; la decisión sobre el flujo de recursos en la obra debe estar ligada al conocimiento de la planificación. La gestión de compras de los materiales tipo A y B debe ser centralizada en su totalidad, obviamente soportada con una herramienta TIC que permita agilizar eficientemente los procesos administrativos de la cadena de suministros, posterior a la información detallada del pedido que se entrega con anterioridad al departamento de adquisiciones. Los materiales tipo C deberán manejarse a partir de listas de pedido muy completas para garantizar una provisión oportuna y en las cantidades que estén establecidas en el presupuesto, lo anterior evita múltiples desplazamientos para la adquisición de artículos tan puntuales como son las cajas de clavos, tubería de pequeño diámetro, herramienta menor, accesorios de seguridad, etc; adicionalmente facilita el control presupuestal sobre este tipo de materiales. En caso de que la compra de los materiales tipo C se adquieran desde la obra, es importante que el número de pedidos sea mínimo, cuidando también que no se incurra en la acumulación inoficiosa de inventario.

6.1.2 Logística interna. El esquema tradicional de la logística interna de las obras de construcción en Colombia se describió a partir de los diagramas de flujo expuestos en los diagnósticos de las constructoras A, B y C. La encuesta GESLOG también sirvió para reforzar la observación objetiva al respecto. Los puntos principales por destacar son:

- Los tiempos de soporte y los tiempos que no agregan valor, que representan algo más del 30% del tiempo empleado en construcción involucran actividades logísticas de desplazamientos y distribución de recursos y tiempos de espera producto de la gestión del almacén.
- Las pérdidas por desplazamiento se dan por fallas en la planificación en planta y por fallas en el plan logístico de materiales. los desplazamientos desde el frente de obra hacia el almacén son en sí pérdidas de tiempo, y más aún cuando no se aprueba la salida de almacén por falta de aprovisionamiento del material solicitado.

En cuanto a la ausencia de diseño del layout, se puede incurrir en sobrecostos debido al desplazamiento entre una instalación y otra, por lo que es recomendable que dependiendo de la complejidad de la obra, se formule un problema de transportes para la optimización de las entregas de material a cada uno de los frentes de obra y al menor costo posible.

- Los tiempos de soporte en cuanto a desplazamientos y distribución de recursos pueden reducirse considerablemente si se dispone de un grupo logístico para tal objetivo. Se pueden emplear un sinnúmero de estrategias para mejorar la productividad en los frentes de obra; por ejemplo, una vez concluida la jornada laboral, dedicar un tiempo extra para que la cuadrilla logística deje preparados los materiales directamente en los frentes de obra y en las cantidades que se estima se consumirán al día siguiente, de tal modo que cuando se de inicio a la nueva jornada laboral, los trabajadores de obra lleguen directamente a ocupar su tiempo en actividades que agreguen valor.

La idea anterior sin duda requiere de un nivel de planificación semanal muy definido, tal que permita calcular con facilidad la provisión diaria de recursos; adicionalmente es necesario que hayan niveles de seguridad óptimos en la obra para que no se incurra en pérdidas de material asociadas a robo.

- El porcentaje de actividades completadas PAC, obtenido para el proyecto, es una variable dependiente del funcionamiento del plan logístico, por lo tanto es muy importante que para la logística interna de la obra se comparen los indicadores que a bien se tengan como objetivo de control y planificación con los resultados del *Last Planner*. Si las empresas de construcción no referencian sus proyectos, pierden competitividad, de ahí la importancia de la obtención de los indicadores meta que se plantean en el plan logístico de la obra.

6.2 FUNCIONALIDAD DEL ALMACÉN EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA.

El almacén es uno de los sitios físicos de la obra en donde hay relación directa con los procesos de logística interna y externa del proyecto. En los proyectos consultados se estableció una mecánica de funcionamiento muy marcada, definida por los siguientes puntos:

- En el almacén se ejecutan labores de recepción, facturación, registros contables, actualización del inventario, actualización del kardex, aprobación y validación de órdenes de salida y órdenes de compra. A partir de la definición de estas funciones administrativas se pueden diferenciar claramente dos escenarios: Las constructoras que manejan el almacén con un planificador de recursos empresariales ERP y las que no. El siguiente cuadro describe las diferencias entre las dos metodologías de trabajo.

Tabla 86. Diferencias en el manejo de inventarios en el almacén entre empresas usuarias de un ERP y empresas no usuarias de un ERP.

Con ERP	Sin ERP
La actualización del inventario y el kardex es diaria evitando la acumulación de salidas de almacén, por lo que se pueden obtener informes semanales muy completos.	La actualización del inventario y el kardex maneja holguras de tiempo muy amplias (un mes de acuerdo con la encuesta GESLOG)
El manejo es transparente en la medida que existe la posibilidad de asignar roles de control a varios usuarios externos al sitio de almacén, así como también existe la posibilidad de consultar la información en tiempo remoto.	La transparencia del control de inventarios es cuestionable pues la información se retiene en manos de una sola persona por periodos de tiempo de más de una semana y en formatos que son modificables.
El control presupuestal se efectúa sistemáticamente a partir de las facultades y/o roles asignados a cada usuario, permitiendo el acceso a la información en cualquier momento.	Para darle celeridad al control presupuestal, se depende de una sola persona encargada del control del almacén y de generar los informes que no están disponibles en línea.

(Fuente: elaboración propia)

- A pesar de los avances tecnológicos y de las herramientas ofrecidas por el mercado, el manejo de los sistemas de conteo y registro en los almacenes de obra de las constructoras colombianas aún es muy rudimentario. El sector todavía se mueve a través de talonarios y órdenes escritas, encontrando reiterados problemas en cuanto a legibilidad en vales; además se generan reprocesos y desgaste administrativo cuando se pierde un consecutivo. En cuanto a la alimentación de la herramienta de control, bien sea en un ERP o no, es dispendiosa pues se debe efectuar manualmente.

- El registro mediante código de barras agilizaría los procesos de recepción y almacenamiento, sin embargo, este modelo es solo aplicable utilizando la figura del centro de distribución precisamente por la estandarización de los códigos, los cuales deberán ser los mismos para efectos de que estos coincidan con la codificación de los recursos en el presupuesto maestro. En otras palabras, para el contexto local, sería la misma constructora quien elabore los códigos de barras. Esta situación necesariamente implica que la constructora trabaje la parte logística directamente con el proveedor.
- En el contexto local, aún no se maneja el concepto de kit de materiales. La conformación de grupos de materiales implica una logística de almacén muy definida en cuanto a codificación y alteración de inventarios, aunque este es un camino directo para hacer que los flujos de materiales se aceleren considerablemente. Esta mecánica de trabajo requeriría además de una logística en reversa para las ocasiones en donde el kit no sea consumido en su totalidad y el material sobrante deba ser ingresado nuevamente al kardex, o bien, devuelto al centro de abastecimiento. El manejo de recursos por kit de materiales facilita la programación diaria y el abastecimiento de los frentes de obra bajo el esquema “Justo a Tiempo”, haciendo más eficiente y eficaz la propuesta planteada en los puntos anteriores sobre la provisión de los diferentes frentes de obra desde la noche anterior al comienzo de las actividades.

6.3 LAS HERRAMIENTAS TIC PARA EL MANEJO LOGÍSTICO EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA.

Las tecnologías de información y comunicación aplicadas en el sector de la construcción son una realidad que está en proceso de consolidación en el país. Dependiendo de la magnitud de la obra o del sistema de gestión de calidad de las empresas, se encuentran diversas herramientas de apoyo, como son ERP para manejo presupuestal, contable, financiero, de gestión humana, etc. Sistemas de gestión integrada como GICO en donde se profundiza sobre la planificación intermedia y semanal, ligada a temas de productividad y cumplimiento; sistemas de referenciación como BENCHCOLOMBIA, entre otros. Sin embargo, no es una constante que las herramientas anteriores se usen conjuntamente, y menos como política de empresa. Es importante precisar respecto al uso de dichas tecnologías a partir de los siguientes puntos:

- Producto del diagnóstico de la logística en distintas obras y en distintas empresas constructoras, y de la información obtenida a partir de la encuesta GESLOG, no hay evidencia de una herramienta TIC para el soporte de la logística interna de la obra. Entendiendo que el control logístico involucra los cuatro flujos planteados en la teoría (materiales, personal, información y equipos). Prueba de ello son los reprocesos en la captura de la información, los sistemas de conteo manuales, al igual que los registros de existencias. El solo manejo logístico de la información es un desafío para el sector; por ejemplo, aún disponiendo de herramientas tecnológicas, por qué la elaboración de un acta de corte a determinado contratista es un proceso tan desgastante para un ingeniero residente? Es común que este siempre sea un evento en donde rara vez las dos partes coinciden, encontrando diferencias en el cobro de horas extras, cantidades adicionales, desperdicios, plazos de cumplimiento, calidad, etc. La forma de automatizar estas tareas es sin duda aplicando un sistema de gestión logística soportado con TIC.
- Las empresas constructoras con un sistema de gestión de calidad establecido y con manejo de ERP son grupos en donde es complejo introducir un software adicional para la gestión logística, salvo que esto no implique un trabajo paralelo que involucre necesariamente una serie de reprocesos en cuanto a la alimentación de uno u otro sistema. Es importante que se enfoquen esfuerzos en la construcción de aplicaciones particulares para cada ERP, en caso de que la dirección de la empresa esté en proceso de montar un sistema de gestión logística de operaciones internas y/o externas. El manejo de la herramienta logística muchas veces es pensada para que sea actualizada en tiempo real, lo cual requiere de un grupo logístico trabajando en conjunto con el grupo de suministros; esto es posible cuando se sigue el método de planificación logística en cuanto a la asignación de roles, sin embargo, en el contexto local es inevitable que un solo ingeniero de obra cumpla las funciones administrativas, de suministros, técnicas, de seguridad y hasta logísticas en un solo proyecto, lo cual dificulta introducir una herramienta adicional que no se involucre automáticamente con el ERP o con un sistema de gestión integrado.

- Es necesario que se de un enfoque de transparencia a la herramienta logística que se piense implementar en cualquier empresa constructora a partir de plataformas web, similar a como lo plantea la alianza estratégica EAFIT-CIDICO con la PGC (Plataforma gestión de la construcción) que reúne las herramientas GICO para la gestión integrada de proyectos, BENCHCOLOMBIA para la referenciación de proyectos y el RTC que corresponde al registro técnico colombiano de materiales y servicios para la construcción, dicha información está disponible en línea y permite la toma de decisiones en diferentes niveles de la organización. Adicionalmente, el manejo de la TIC para gestión logística deberá arrojar indicadores de gestión pertinentes para evaluar la eficiencia de la misma, para lo cual es necesario que múltiples usuarios de diferentes áreas tengan inferencia en el proceso de control, sin que esto signifique la fragmentación del proyecto.
- Haciendo énfasis sobre la experiencia adquirida a partir de la obra piloto en donde se implementó el software “logística wi-fi” se puede concluir que quedan aspectos pendientes por mejorar, tales como: la conectividad; siendo esta una variable sensible por mejorar debido a la inestabilidad de la señal wi-fi (por múltiples obstáculos físicos presentes en las obras) y a las dificultades técnicas para la configuración de una red inalámbrica, bien sea mediante antenas repetidoras o la conformación de una red de Access point, lo cual varía dependiendo del tipo de obra y hace que la sostenibilidad técnica sea complicada. La interacción automática con los ERP; lo cual es visto por las empresas como un manejo paralelo que genera reprocesos, según se citaba en puntos anteriores; Los reprocesos asociados a la reintroducción de la información puntual del presupuesto general, entendiéndose esto como la asignación de recursos unitarios (materiales herramientas o equipos que se puedan matricular en la hoja de recursos) a las diferentes etapas (capítulos) y partidas (actividades) y a los diferentes destinos físicos de la obra; también se encuentran los indicadores sujetos a la conformación de kits, lo que imposibilita la obtención de resultados pues el manejo por kits de recursos aún hace parte de la mecánica de trabajo para el contexto local.
- A la luz de la situación actual planteada en la presente investigación, es necesario que la alianza EAFIT-CIDICO formule una aplicación logística adicional dentro del sistema GICO; de esta forma interactuarían el sistema del último planificador (Last Planner) y las componentes del control de los flujos logísticos, consolidando la gestión logística a partir de la realidad de la obra expresada en la programación intermedia y semanal y los resultados de productividad obtenidos a partir de las respectivas mediciones de tiempos y porcentajes de terminación de actividades; lo cual sin ninguna duda son temas relacionados con la logística de la obra.

Esto configura una oportunidad para ampliar los alcances de la plataforma de gestión integrada GICO, bien sea adaptando la propuesta completa o parcialmente del software GESLOG como una aplicación adicional; siendo factible en un mediano plazo introducirle a la herramienta GICO funciones propias de un ERP, sin perder el norte en

cuanto a los temas de productividad, Lean Construction, Last Planner y gestión logística.

- El aumento de la productividad no es una variable dependiente del uso exclusivo de las herramientas TIC, pues estas no son en sí herramientas pensadas para ejecutar actividades que agregan valor, sin embargo, contribuyen directamente a reducir en forma sensible los tiempos de soporte, lo que implícitamente sugiere el aumento de los tiempos que agregan valor; esto sin duda requiere de una organización lógica que se adapte a la operatividad de la herramienta TIC, por ejemplo, en el software “logística wi-fi” se daba la opción de definir la modalidad de salida del material, bien sea por una entrega directamente en el almacén, o bien, mediante distribución directamente en el sitio de construcción, lo que implica operar la obra mediante un esquema de cuadrillas logísticas de soporte. De esta forma es importante mencionar los ajustes que se le deben presentar en la organización de los proyectos de construcción, una vez se introduzca una nueva aplicación TIC, así:

1. La herramienta TIC debe acoplarse a la planificación logística de la obra, de tal manera que los grupos conformados en el plan logístico (construcción, administrativo, logístico y de suministros) sincronicen la información a través de dicha herramienta. Esto implica la estandarización de la captura de datos en la obra y la posibilidad de transferencia automática de estos datos a las herramientas de control tipo ERP.

2. Deberá disponerse de personal capacitado para alimentar constantemente la herramienta TIC, de esto depende la veracidad de la información reportada en los informes de gestión y en los indicadores logísticos. Por ejemplo, en la operación del software “logística wi-fi” existe un indicador que corresponde a la eficiencia en los tiempos de entrega; si el sistema no se está sincronizando constantemente, evidentemente este indicador no servirá para determinar la eficiencia en el flujo de materiales en tiempo real. Este punto, por obvio que parezca, requiere de dos componentes fundamentales: Disciplina en la toma de datos y conectividad.

6.4 INDICADORES Y GESTIÓN LOGÍSTICA

Los indicadores son el camino más explícito para valorar la gestión logística de una obra de construcción, pues constituyen información precisa que resume el comportamiento de muchas variables a tener en cuenta para el manejo logístico de la obra. Los siguientes puntos reúnen aspectos a tener en cuenta en cuanto a obtención de resultados de gestión logística.

- A pesar de que cada proyecto de construcción es diferente, existen variables en común que sirven para diagnosticar y proyectar los estados de la logística de cada obra, como los indicadores de tiempo logístico, la fluidez del inventario, la rotación de inventarios, etc. También existirán indicadores logísticos que se acomoden mejor a determinados proyectos, dependiendo de los sistemas de gestión de calidad y del plan logístico empleado, por lo que no es una constante que haya una estandarización de ciertos indicadores para todas las obras que sean objeto de análisis. Dependiendo del enfoque que se le de a la logística, se tendrán indicadores para evaluar el manejo de almacén, el flujo de materiales, personal, información y equipos, así como también indicadores sobre logística externa, los cuales son muy apropiados a la hora de medir el desempeño de un centro de abastecimiento o de proveedores en particular.

Es por lo anterior que desde la concepción del plan logístico es necesario plantear los indicadores meta, indicando los límites admisibles en las operaciones logísticas del proyecto de construcción.

- Es impensable la gestión logística de un proyecto de construcción sin el control de los flujos logísticos. Como se expuso anteriormente un flujo de recursos se controla a partir de los gráficos de flujo; estos no son más que la función consumo de recursos vs tiempo.

Cuando se superponen las gráficas de flujo teóricas con las gráficas de flujo real, se pueden estudiar el comportamiento de la oferta y la demanda de dichos recursos identificando cuellos de botella en las distintas actividades, cantidades de más o de menos en la provisión del almacén y/o los patios de acopio. Adicionalmente este tipo de gráficas facilitan la programación diaria de recursos, lo cual va en pro de hacer más eficiente la logística en cuanto a distribución y actualización de existencias. Este tipo de análisis son apropiados para el control de los materiales tipo A y B, los cuales requieren de un riguroso control y planificación, pues son los que exigen una mayor gestión en cuanto a adquisición, recepción y almacenamiento; aparte de que su valor en el presupuesto es significativo⁷².

⁷² Entre un 70 y un 80% del presupuesto según el modelo ABC para la gestión de inventarios expuesto en el capítulo 4.2.

En ninguna de las constructoras consultadas se tiene en cuenta este análisis para el manejo logístico de recursos.

- Es importante que la fluidez del inventario, propuesto en el capítulo 5,4 se configure como un indicador logístico a ser tenido en cuenta para la referenciación por BENCHCOLOMBIA. La siguiente es la propuesta de cuantificación para dicho indicador.

Tabla 87. Cuantificación de la fluidez del inventario como indicador logístico propuesto para referenciación

Valor de la correlación	Valoración	Puntaje
$0 < R^2 < 0,9$	No aceptable	0
$0,9 < R^2 < 1$	Aceptable	1
Material	No aceptable / Aceptable	Puntaje
material 1		1
material 2		0
.		.
.		.
material n		1
Formulación		
Fluidez del inventario	$\frac{\sum_1^n \text{Puntajes obtenidos por cada material}}{n \text{ Materiales calificados}}$	%

(Fuente: elaboración propia)

Dicho indicador mostrará tasas de producción y de rotación de existencias de materiales del almacén o de los patios de acopio, etc. Según se indicaba en el numeral 5.4.3.3.

- Otro indicador que también es factible introducir a un sistema de referenciación es el consumo de recurso respecto a inventario, propuesto por los desarrolladores del software “logística wi-fi” y citado en el numeral 4.3.4.1. Este indicador es un termómetro para evaluar el nivel de cumplimiento en la planificación, en caso de que el almacén sea provisto a partir de una programación estipulada en el sistema Last Planner. También es de utilidad para proyectar el aprovisionamiento para las semanas próximas al análisis del indicador.

Consumo de recurso respecto a inventario:

$$\frac{\text{Inventario en Almacén} - \text{Cantidad consumida}}{\text{Cantidad Consumida}} \times 100\%$$

- Con la referenciación a partir de indicadores logísticos y teniendo en cuenta los contextos particulares de cada proyecto, el sector de la construcción en Colombia podría formular modelos generales de planes logísticos en función de la tipología de las obras, similar a como se hace en el Reino Unido, en donde se tienen modelos como los de WRAP para elaborar ciclos de planificación logística y para la formulación de planes logísticos de materiales que funcionen en los horizontes estratégicos, tácticos y operacionales.

Así es como se plantea en una primera fase los conceptos teóricos y prácticos sobre la gestión logística, que deben adaptarse al sector de la construcción en Colombia en procura de un mejoramiento continuo en cuanto a eficiencia en los procesos constructivos y los métodos de planificación de obra, reuniendo los criterios más acertados para la materialización de los planes logísticos.

7. BIBLIOGRAFÍA

AXIOMA COMUNICACIONES. Las 200 constructoras del sector. En: Revista en Obra. Julio, 2010, ed. 5 no.1. p 18 y p 28.

BALLARD, Glenn. Lean project delivery system. Lean Construction Institute, 2000. 7 p.

BAUDIN, Michael. Lean logistics: the nuts and bolts of delivering materials and goods. Productivity Press, 2004. 387 p.

BORGES, Fred. FERREIRA Francisco. Applicability of logistics management in lean construction: a case study approach in Brazilian building companies. En: Proceedings IGLC (7: July: 1999, University of California, Berkeley, CA, USA). International group for Lean Construction IGLC, 1999. 12 p.

BOTERO, Luis. F. (2008). Construcción de edificaciones. Aspectos administrativos. Medellín. Centro de publicaciones Universidad EAFIT. 427pg.

BOTERO, Luis. F. ÁLVAREZ, M.E. Tecnologías de información y comunicaciones como apoyo al control de la ejecución de proyectos de construcción. Universidad EAFIT, 2008. 124 p.

BOTERO, Luis. F. ÁLVAREZ, M.E. Sistema de referenciación para la construcción. Medellín, Editorial Universidad EAFIT, 2006. 261 p.

BOTERO, Luis.F. Construcción sin pérdidas. Segunda edición. Legis, 2006. 133 p.

CDT, Centro de desarrollo tecnológico de Chile. Indicadores sistema logística wi-fi. Santiago de Chile, CDT, 2010. 6 p.

CDT, Centro de desarrollo tecnológico de Chile. Informe situación nacional de la gestión logística en obras de construcción. Santiago de Chile, CDT, 2006. 51 p.

CDT, Centro de desarrollo tecnológico de Chile. Guía de resultados para la optimización de la logística interna en obras de construcción. Santiago de Chile, CDT, 2006. 58 p.

CHASE, Richard. JACOBS, Robert. AQUILANO, Nicholas. Administración de operaciones, producción y cadena de suministros. Doceava edición. McGraw-Hill, 2009. 776 p.

CHOPRA, Sunil. MEINDL, Peter. Supply chain management: strategy, planning and operations. Upper Saddle river, NJ. Pearson Education, 2004. 544 p.

CIDICO, Centro de investigación y desarrollo tecnológico para la industria de la construcción. Plan de fortalecimiento institucional a la unidad de negocios en TIC aplicada a la construcción, fortalecimiento CIDICO. Medellín, Colombia, EAFIT-CIDICO, 2010. 41p.

CSCMP: COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS. Supply chain management terms and glossary. CSCMP; 2010. 212 p.

CUATRECASAS, Lluís. Lean Management: la gestión competitiva por excelencia. Barcelona, Profit Editorial, 2010. 371 p.

ESADE, Business School. Guías de gestión de la innovación, producción y logística. Barcelona, Una y Media Massmedia, Marzo de 2004. 137 p.

FISHER, Marshall L. What is the right supply chain for your product? En: Harvard business review. Marzo-Abril de 1997. vol. 1, no. 2, p. 105-116.

GARCIA, Alejandro A. GARCIA, Ángel A. Conceptos de organización industrial. Marcombo, 1998. 308 p.

GS1. Medición de indicadores de gestión logísticos. Cartilla. Chile, GS1, Noviembre de 2004. 22 p.

HALPIN, Daniel. W. RIGGS L.S. Planning and analysis of construction operations. Wiley Interscience, 1992. 381 pg.

HARKER, Anthony. ALLCORN, Wendy. TAYLOR, David. Material logistics plan, good practice guidance. Guidance for clients, design, teams, construction contractors and sub-contractors on developing and implementing an effective material logistics plan. Banbury, Oxfordshire, UK, Waste and resources action programme WRAP, August 2007 – December 2007. 58 p.

HOLROYD, Trevor. Buildability. Successful construction from concept to completion. Thomas Telford, 2003. 189 p.

KEAT, Paul G. YOUNG, Philip K.Y. Economía de Empresa. Cuarta edición. Prentice Hall, 2004. 784 p.

KPI WORKING GROUP. KPI report for the minister for construction. London, Department of the environment, transport and the regions, January 2000. 34 p.

KOSKELA, Lauri. Application of the new production philosophy to construction. Reporte técnico 72. Center for integrated facility engineering. Department of civil engineering. Stanford University, 1992. CA.

KOSKELA, Lauri. Reforming Project Management: The Role of Lean Construction . En: Lean Construction: a new way to manage projects – International group for lean construction IGLC - Michigan State University (27 Mar: 2002, Lansing, Michigan, US). Seminar. IGLC-6, Brighton, UK. Jul 17, 2000

LEE, Hau. Aligning supply chain strategies with product uncertainties. En: California management review. Primavera 2002. vol. 44, no. 3, p. 10

LEVINSON, William A. Henry Ford's Lean Vision: enduring principles from the first Ford motor plant. Productivity Press, Octubre de 2002. 358 p.

MOSSMAN, Alan. More than materials: managing what's needed to create value in construction. En: European conference on construction logistics – ECCL (2: 8,May: 2008 Dortmund, Germany). Paper. 19 Whitehall, Stroud GL5 1HA, UK, 2008. 13 p.

O'BRIEN, William. J. LONDON, Kerry. FORMOSO, Carlos. VRIJHOEF, Ruben. Construction supply chain handbook. Edición ilustrada. CRC Press, 2008. 508 p.

O'BRIEN, William. J. LONDON, Kerry. VRIJHOEF, Ruben. Construction supply chain modeling: a research review and interdisciplinary research agenda. En: Proceedings IGLC (10: Aug: 2002, Gramado, Brazil). Paper. International group for Lean Construction IGLC, 2002. 19 p.

PRAWDA, Juan. Métodos y modelos de investigación de operaciones. México D.F. Noriega Limusa, 1993. 935 p.

ROBBINS, Stephen P. DECENZO, David. Fundamentos de administración, conceptos esenciales y aplicaciones. Tercera edición. Prentice Hall, 2002. 552 p.

SULE, D.R. Instalaciones de manufactura. Cuarta edición. International Thomson Editores, 2001. 608 p.

SULLIVAN, Gary. BARTHORPE, Stephen. ROBBINS, Stephen. Managing construction logistics. Wiley-Blackwell, 2010. 275 p.

TERSINE, Richard J. Principles of inventory and materials management. Cuarta edición. Prentice Hall, 1994. 591 p.

TRUEBA, J.I. LEVENFELD, G. MARCO, J.L. Teoría de proyectos. Morfología de proyectos. Madrid, Servicio de Publicaciones de la E. T. S. I. Agrónomos de Madrid, 1982.

URBANSANSA, Urbanizadora Santa fe de Bogotá. Sistema de gestión Lean Construction en Urbansa S. A. 2007-2010. Presentación, Taller colaborativo Lean 2010, Bogotá, Colombia.

VICEDO, Josép. C. LANGA, Manuel. TOMÁS, José. V. La Importancia de la Gestión del Conocimiento en la Cadena de Suministro de la Construcción. En: IX Congreso de ingeniería de organización. (9: 8-9, Sep: 2005, Gijón, España). Memorias. Universidad Politécnica de Valencia, Alicante, España, 2005. 9 p.

Bibliografía Web.

<http://www.wrap.org.uk/construction>

<http://www.brigadalogistica.mil.co>

http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/justoatiempofundamentos/

[http:// www.uclm.es/area/ing_rural/AsignaturaProyectos](http://www.uclm.es/area/ing_rural/AsignaturaProyectos)

<http://www.logisticacdt.cl>

<http://www.bovislendlease.com/>

<http://www.dwarchitects.co.uk/>

<http://www.kpf.com/project.asp?R=3&ID=62>

<http://www.laingorourke.com/Sectors/Pages/Home.aspx>

http://www.arup.com/Projects/Heathrow_Terminal_5.aspx

<http://www.macegroup.com/projects/project-library/51-lime-street>

<http://www.fosterandpartners.com/Projects/1147/Default.aspx>

8. ANEXOS

8.1 ANEXO A

La siguiente es la estructura de la encuesta GESLOG, organizada en los módulos de gestión de materiales, personal, información y equipos.



Datos Generales							
Empresa Constructora							
Nombre de la Obra o Proyecto							
Descripción del proyecto							
Plantas típicas?	SI		NO				
Nombre del Responsable					Profesión		
Profesionales		#		#		#	
Profesionales en Obra	Ing. Civiles		Arquitectos		Constructores	Otros	
Tecnólogos en Obra	Obra civil		Presupuestos		Constructores		
Maestros de Obra	General		Acabados		Estructura		

LOGÍSTICA DE MATERIALES				
Fase de Presupuestación del Proyecto				
ID				
1	Se conocen las cantidades exactas (teóricas) de cada material que demanda la obra?	SI		NO
2	Si la anterior pregunta es afirmativa, se tienen proyectadas las cantidades de desperdicio para cada tipo de material?	SI		NO
3	Cada material Previsto, cuenta con la respectiva especificación técnica?	SI		NO
4	Se definen tenores (de cualquier tipo) para comparar y controlar resultados en la obra?	SI		NO
5	Se tienen identificados con claridad los proveedores para cada tipo de material?	SI		NO
6	En caso de que los proveedores titulares fallen, se tiene un plan de contingencia con proveedores sustitutos?	SI		NO
7	Se tienen previstos stocks de seguridad para materiales principales como Cemento y acero?	SI		NO
8	Existe una programación de Recursos paralela a la programación de actividades?	SI		NO

LOGÍSTICA DE MATERIALES				
Fase de Preconstrucción				
ID				
1	Existe diseño y planos de LAYOUT para la ubicación y distribución de acopio de materiales?	SI		NO
2	Para efectos de movilización dentro de la obra, se tienen claramente definidas las rutas de entrada, salida y circulación de materiales?	SI		NO
3	Respecto a la portería de la obra, marque con una X según corresponda:			
	La portería de entrada es la misma que la portería de salida.	Observaciones:		
	Existe portería de entrada y otra de salida			
	Hay Varias Porterías y es indistinto si es de entrada o de salida.			
4	Marque con una X las estrategias empleadas para el control de entradas y salidas de Material del sitio de Almacén.			
	Código de Barras	Observaciones:		
	Tarjetas Kardex			
	Tarjetas Kanban			
	Vales y/o pedidos en órdenes impresas			
	Pedidos Verbales (informal)			
	Vía dispositivos PDA			
	Entrada con remisión del proveedor			
	Salidas de manera informal			
5	Se dispone estratégicamente un sitio para el acopio de material desperdiciado?	SI		NO
6	Se tiene prevista la clasificación de los materiales de desperdicio? (Reciclaje)	SI		NO

LOGÍSTICA DE MATERIALES

Fase de Construcción

ID					
1	Que materiales se someten a ensayos de calidad?				
	Hormigón	Observaciones:			
	Acero de refuerzo				
	Mampostería				
	Morteros				
	Otros (cuales?)				
2	Efectúa control de inventarios?			SI	NO
3	si la anterior respuesta es SI, cada cuanto se efectúan estos controles				
	Semanal	Observaciones:			
	Quincenal				
	Mensual				
	En cualquier Momento				
	Otros				
4	Como se realiza el control de inventarios?				
	Por Conteo Físico	Observaciones:			
	Por sistema de control de materiales				
	Cruce de los dos métodos anteriores				
5	Califique en escala de uno a cinco (1-5), siendo 1 la calificación mas baja y cinco la más alta, el nivel de cumplimiento de los siguientes proveedores.				
	Material	Calificación	Material	Calificación	Observaciones:
	Hormigón Premezclado		Teja/Cubiertas		
	Cemento		Tubería Metálica		
	Acero Estructural		Asfalto		
	Mampostería		Elementos de Seguridad Industrial		
	Agregados Pétreos		Dispositivos Eléctricos y		
	Químicos		Aparatos Sanitarios		
	Equipo pesado		Pisos y Enchapes		
	Ferretería		Maderas		
	Carpintería Metálica		Pinturas y Aceites		
	Carpintería de Madera		Tubería		
	Otros				

LOGÍSTICA DE PERSONAL			
Fase de Presupuestación del Proyecto			
ID			
1	Identifique el número de personas en su obra que efectúan las siguientes labores:		
	Labores	Descripción	# Personas
	Construcción	Exclusivamente	
	Logística	Planificación del plan logístico	
	Administrativo	Control y gestión de recursos y contabilidad	
	Cadena de Suministro	personal en actividades de transición entre procesos. Ej: almacenista	
Observaciones:			

LOGÍSTICA DE PERSONAL			
Fase de Preconstrucción			
ID			
1	Existen Jornadas de capacitación y entrenamiento del personal en el aspecto logístico?	SI	NO
2	En caso de darse dicha capacitación, marque las áreas que correspondan a dicha capacitación		
	Procesos Constructivos	Observaciones:	
	Seguridad Industrial		
	Salud Ocupacional		
	Manejo de Inventarios		
	Tecnología de Materiales		
	Relaciones Labrales		
	Gestión de la Calidad		
	Lean Construction		
	Otros(Especifique cual)		
3	Cuales canales de comunicación aplican para la obra?		
	Comité técnico-administrativo con personal de gerencia	Observaciones:	
	Comité técnico con todo tipo de personal		
	Comunicados a partir de circulares, carteleras, folletos, et		
	Memorias y/o actas		
	Simplemente comunicación verbal		

LOGÍSTICA DE PERSONAL					
Fase de Construcción					
ID					
1	Se califica la labor de los sub-contratistas, a partir de:				
	Cumplimiento y calidad en la entrega	Observaciones:			
	indicadores Producción Objetivo				
	cuadros con escalas valorativas (ej:colores)				
	Last Planner				
	Otros (Cuales?)				
2	Hay control de Ingreso personal en la obra?			SI	NO
3	Si su respuesta anterior es SI, qué metodología se emplea para el control de entrada y salida de personal?				
	Libro verde manejado por personal de portería	Observaciones:			
	Lector óptico de código de barras				
	Tecnología RFID				
	Otros (Cuales?)				
4	Como accede una cuadrilla a un pedido de material?				
	Lo pide verbalmente al maestro encargado	Observaciones:			
	Lo pide mediante vale al maestro encargado				
	Lo pide verbalmente al almacén				
	Lo pide mediante vale al almacén				
	Otros (Cuales?)				
5	Quién Transporta ese material desde el sitio de almacén hasta el sitio de producción?				
	La misma cuadrilla, que al finalizar su actividad va por el material hasta el almacén	Observaciones:			
	Existe una cuadrilla aparte, dedicada exclusivamente a distribuir material a las diferentes cuadrillas				
	Otros (Cuales?)				
6	Respecto a las actividades de limpieza en la obra:				
	Cada cuadrilla es responsable por asear el sitio de trabajo, botar y reciclar el material de desperdicio.	Observaciones:			
	Existen cuadrillas responsables, tiempo completo, dedicadas a la limpieza y el reciclaje.				
	Se programan brigadas de aseo con determinada periodicidad, en donde todos están en pro delaseo la obra.				

LOGÍSTICA DE INFORMACIÓN				
Fase de Presupuestación del Proyecto				
ID				
1	Utiliza algún tipo de software en su obra?	SI		NO
	En caso de que SI utilice algún tipo de software en su obra, continúe con las siguientes preguntas			
2	Utiliza software para la programación de actividades?	SI		NO
	Si su respuesta es SI, diga cual:			
3	Utiliza software para el control de presupuestos?	SI		NO
	Si su respuesta es SI, diga cual:			
4	Utiliza software para el control de materiales?	SI		NO
	Si su respuesta es SI, diga cual:			
5	Considera los software anteriores apropiados para el manejo logístico?	SI		NO
	Por que?			

LOGÍSTICA DE INFORMACIÓN				
Fase de Preconstrucción				
ID				
1	Que tipo de contacto previo se tiene con los proveedores			
	Se tiene contacto directo con un asesor de confianza con el que se evalúa el plan de gestión para el respectivo material	Observaciones:		
	Solo se tiene contacto telefónico o por e-mail			
	Solo se tienen los datos del contacto y estos se utilizan a la hora de hacer el pedido			
	Las compras estan centralizadas y dicho contacto se tiene desde las oficinas administrativas de la empresa			
2	Se realizan reuniones de planificación que incluyan a los sub-contratistas?	SI		NO
3	En caso de que se planteen, cuales de los siguientes objetivos se plantean en consenso con los subcontratistas,			
	Indicadores de productividad mínimos a obtener	Observaciones:		
	Cantidad de obra ejecutada mínima periódica			
	Plazos Mínimos			
	Calidad y cumplimiento			
	Otros (Cuales?)			

LOGÍSTICA DE INFORMACIÓN			
Fase de Construcción			
ID			
1	Se hacen mediciones para obtener indicadores claves de desempeño:		
	Todos los días	Observaciones:	
	Semanal		
	Quincenal		
	Mensual		
	No se hacen este tipo de mediciones		
2	Señale las herramientas que soportan la comunicación y el cruce de información en la obra		
	Radioteléfonos	Observaciones:	
	Cámaras		
	E-mails		
	Sitios Web (box-net, b-kin, etc.)		
	Formatos y actas en físico		
	Otros		
3	Las compras en su obra:		
	Son centralizadas y las gestiona el personal de la oficina	Observaciones:	
	Se tiene autonomía en el pedido, por lo tanto existe carta abierta con el proveedor		
	Se gestionan los recursos en la oficina, pero la compra la efectúa el personal de la obra.		
	Otros		

LOGÍSTICA DE EQUIPOS						
Fase de Presupuestación del Proyecto						
ID						
1	Respecto a la selección del equipo para transporte vertical:					
	Existe un estudio a partir del análisis de Layout para la elección de la mejor alternativa	Observaciones:				
	Prima el conocimiento empírico de la dirección de la obra					
	Se basa en las estadísticas con que cuenta la empresa de proyectos anteriores					
	Es basada en la disponibilidad de equipo con que cuenta la empresa					
	Otros					
2	Califique de uno a cinco (1-5), siendo 1 la calificación mas baja y cinco la más alta, la importancia los siguientes aspectos relacionados con la adquisición y/o arriendo de equipo					
	Aspecto	Calificación	Aspecto	Calificación	Observaciones:	
	Disponibilidad en el mercado		Consumo energético			
	Rendimiento		Seguridad			
	Costo		Mantenimiento			
	Vida Útil		Marca			
	Manejabilidad		Respaldo			
3	Al igual que los recursos, existe programación para cada uno de los equipos?				SI	NO

LOGÍSTICA DE EQUIPOS						
Fase de Preconstrucción y Construcción						
ID						
1	La operación del equipo se planifica:					
	<input type="checkbox"/>	Con las indicaciones dadas por la dirección del proyecto	Observaciones:			
	<input type="checkbox"/>	Cada contratista de equipo toma sus propias decisiones				
	<input type="checkbox"/>	La empresa cuenta con un manual de procedimiento				
	<input type="checkbox"/>	No se planifica				
	<input type="checkbox"/>	Otros				
2	Se hace mantenimiento preventivo a los equipos?				SI	NO
Si su respuesta anterior es SI, con que criterio se hace dicho mantenimiento?						
	<input type="checkbox"/>	Según especificación del fabricante	Observaciones:			
	<input type="checkbox"/>	Según experiencia del operario				
	<input type="checkbox"/>	Según experiencia de la dirección				
	<input type="checkbox"/>	El equipo se trabaja hasta que falle				
3	Existe una cuadrilla responsable del mantenimiento de equipo?				SI	NO

8.2 ANEXO B

La siguiente acta corresponde a la valoración del software "logística wi-fi" efectuado por la constructora CONCRETO S.A.



Medellín, Febrero 04 de 2011

*Ingeniero
Cristian Fonseca
Especialización en gestión de la construcción
EAFIT
Medellín*

Ref: Conclusiones de la implementación de una prueba piloto del sistema Logística WIFI en un proyecto de ConConcreto S.A..

De la experiencia de la aplicación del Software Logística WIFI en el proyecto Plaza Pilarica se concluye:

La idea del Software es buena pues permite realizar los requerimientos de material en línea desde cualquier lugar de la obra, en un dispositivo móvil, y transmitir la información en tiempo real al almacén donde inmediatamente se pueden organizar los kit solicitados y despacharlos a los respectivos frentes de trabajo, facilitaría la organización y planeación los despachos de recursos.

Sin embargo se presentan dificultades de conectividad por el alcance de los equipos lo que no permiten el desarrollo esperado del proceso, se hace necesario desplazarse hasta el almacén donde hay cobertura de red para sincronizar los datos recopilados en el recorrido.

La propuesta se percibe como una solución práctica y adecuada para una empresa que no tenga una plataforma para ello. En el caso de ConConcreto que cuenta con la plataforma SAP el sistema Logística WIFI representa un reproceso al tener que alimentar ambos sistemas, se presenta duplicidad de información.

La exportación e importación de información a Excel por experiencia facilita los fraudes en los despachos de material.

Cordialmente,

*Ana María Mesa Mejía
Gerente Técnica Nacional
ConConcreto S.A.*

8.3 ANEXO C

Las siguientes encuestas corresponden a la experiencia con la operación del software por parte del personal de la obra B. En dicha encuesta participaron el ingeniero residente de obra, el maestro general, el almacenista y el auxiliar del almacenista. A pesar de los inconvenientes que tiene la herramienta para acoplarse a un sistema de gestión de calidad mantenido bajo una plataforma ERP, se puede observar que la experiencia como tal es buena, considerando que este podría ser un aporte para mejorar el desempeño de la información en las obras, pues facilita el trabajo del personal encargado.



Medellín, Febrero 4 de 2011.

Valoración cualitativa del software Logística wi-fi en Obra B.

1. En escala de cero a cinco, siendo cero la calificación más baja y cinco la calificación más alta, califique las siguientes cualidades expuestas por el software logística wi-fi.

ID	Concepto	Nota					
		0	1	2	3	4	5
1	Facilidad de manejo						X
2	Presentación de la interfaz						X
3	información suministrada						X
4	Ahorro de digitación de información				X		
5	Conectividad	X					
6	Control de inventarios						X
7	Aporte para planificación de obra					X	
8	Ahorro de tiempo en elaboración de informes					X	
9	Facilidad en elaboración de ordenes de salida					X	
10	Complemento ERP SAP					X	

2. Enuncie brevemente los principales inconvenientes en la operación del software "logística wi-fi".

- Conectividad Mala - lo que implica perdida
- de Tiempo a lo hora de cargar datos al programa
- es una herramienta muy potente pero mientras
- no se tenga buena conectividad, no tiene nada
- de no innovador, el valor agregado es poder



3. Enuncie brevemente las principales ventajas en la operación del software "logística wi-fi".

- general los pedidos a distancia
- _____
- _____
- _____
- _____

SUGERENCIAS:

Nombre: Cristian Benitez L.

Cargo: Ing. Presidente

Firma: [Handwritten Signature]

MP: [Handwritten Signature] 05202130810 A.J.T.



M

Medellín, Febrero 4 de 2011.

Valoración cualitativa del software Logística wi-fi en Obra B.

1. En escala de cero a cinco, siendo cero la calificación más baja y cinco la calificación más alta, califique las siguientes cualidades expuestas por el software logística wi-fi.

ID	Concepto	Nota					
		0	1	2	3	4	5
1	Facilidad de manejo						X
2	Presentación de la interfaz						X
3	información suministrada						X
4	Ahorro de digitación de información			X			
5	Conectividad		X				
6	Control de inventarios						X
7	Aporte para planificación de obra						X
8	Ahorro de tiempo en elaboración de informes						X
9	Facilidad en elaboración de ordenes de salida					X	
10	Complemento ERP SAP			X			

2. Enuncie brevemente los principales inconvenientes en la operación del software "logística wi-fi".

- conectividad deficiente
- _____
- _____
- _____
- _____

1 de 2



3. Enuncie brevemente las principales ventajas en la operación del software "logística wi-fi".

- _____
- _____
- _____
- _____
- _____

SUGERENCIAS:

ORGANIZAR LA CONECTIVIDAD,
PARA TENER MAS AGILIDAD
en el sistema.

Nombre: JOAQUIN GARCIA BARRA A.
Cargo: MAESTRO
Firma: _____
MP: _____

2 de 2

Medellín, Febrero 4 de 2011.

Valoración cualitativa del software Logística wi-fi en Obra B.

1. En escala de cero a cinco, siendo cero la calificación más baja y cinco la calificación más alta, califique las siguientes cualidades expuestas por el software logística wi-fi.

ID	Concepto	Nota					
		0	1	2	3	4	5
1	Facilidad de manejo						X
2	Presentación de la interfaz					X	
3	información suministrada						X
4	Ahorro de digitación de información				X		X
5	Conectividad				X		
6	Control de inventarios					X	
7	Aporte para planificación de obra					X	
8	Ahorro de tiempo en elaboración de informes					X	
9	Facilidad en elaboración de ordenes de salida						X
10	Complemento ERP SAP					X	

2. Enuncie brevemente los principales inconvenientes en la operación del software "logística wi-fi".

- _____
- _____
- _____
- _____
- _____



3. Enuncie brevemente las principales ventajas en la operación del software "logística wi-fi".

- Conectado al sistema sap. se
- encuentran ventajas en las salidas
- de Almacén que elabora el producto
- _____
- _____

SUGERENCIAS:

Nombre: David Parba

Cargo: Almacén

Firma: [Signature]

MP: _____

C. 5

Medellín, Febrero 4 de 2011.

Valoración cualitativa del software Logística wi-fi en Obra B.

1. En escala de cero a cinco, siendo cero la calificación más baja y cinco la calificación más alta, califique las siguientes cualidades expuestas por el software logística wi-fi.

ID	Concepto	Nota					
		0	1	2	3	4	5
1	Facilidad de manejo					X	
2	Presentación de la interfaz					X	
3	información suministrada						X
4	Ahorro de digitación de información						X
5	Conectividad			X			
6	Control de inventarios						X
7	Aporte para planificación de obra						X
8	Ahorro de tiempo en elaboración de informes					X	
9	Facilidad en elaboración de ordenes de salida						X
10	Complemento ERP SAP	X					

2. Enuncie brevemente los principales inconvenientes en la operación del software "logística wi-fi".

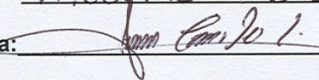
- que para serlo útil debe estar complementado
- con SAP.
- se debe tener una Buena conectividad.
- _____
- _____



3. Enuncie brevemente las principales ventajas en la operación del software "logística wi-fi".

- el fácil manejo de los Materiales.
- La facilidad de entrega al personal solicitado.
- _____
- _____
- _____

SUGERENCIAS:

Nombre: Juan Camilo Legarda.
Cargo: Acudante Mensajería.
Firma: 
MP: _____