

# PROCESO DE INDUSTRIALIZACIÓN LOCAL DE PROTOTIPOS FUNCIONALES.

Presentado por:

Ing. Juan Carlos Hernández Pérez  
(Ingeniero de Diseño de Producto)

Asesor:

Ing. Gilberto Osorio Gómez.



UNIVERSIDAD EAFIT  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA DE DISEÑO  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
MEDELLÍN  
COLOMBIA  
2014

## TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción .....	15
1.1	Objetivos.....	21
1.1.1	Objetivo general.....	21
1.1.2	Objetivos específicos.....	21
1.2	Marco teórico.....	22
1.2.1	Industrialización.....	22
1.2.2	Ingeniería de diseño.....	23
1.2.3	Prototipo funcional.....	24
1.2.4	Metodología de investigación.....	24
2.	Estado del arte.....	26
2.1	Análisis de metodologías de diseño.....	26
2.2	Contextualización del problema.....	29
2.2.1	Descripción de los cursos de proyecto en IDP:.....	30
2.3	Procesos de manufactura disponibles en los talleres de la Universidad EAFIT.....	38
3.	Desarrollo de la metodología .....	40
3.1	Análisis de prototipo.....	42
3.2	Recomendaciones de propiedad intelectual .....	44
3.2.1	Estado de la técnica: .....	44

3.2.2	Patente:	45
3.2.3	Carta de confidencialidad:	45
3.3	Datos de entrada	46
3.3.1	Lote	46
3.3.2	Capital estimado a invertir	48
3.3.3	Precio de venta	48
3.3.4	Modelación 3D	48
3.4	Consideraciones iniciales de protección de propiedad intelectual	49
3.5	Caracterización	53
3.5.1	Tabla de descripción de procesos de producción:	53
3.5.2	Selección de materiales.	53
3.5.3	Planos	53
3.5.4	Material y proceso.	54
3.6	Proveedores y fabricación (Toma de decisiones)	55
3.6.1	Cotizado por empresa	56
3.6.2	Proceso no existente en base de datos	75
3.7	Optimización y rediseño	76
3.7.1	DFM (Diseño para la manufactura)	76
3.7.2	DFA (Diseño para el ensamble)	83
3.7.3	CAD final	87

3.8	Proceso de patentamiento .....	89
3.8.1	Introducción a patentes .....	89
3.8.2	Tipos de patente.....	90
3.8.3	Como solicitar una Patente.....	91
3.8.4	Recomendaciones .....	92
3.8.5	Documentos necesarios para la solicitud de patente .....	93
3.8.6	Redacción del documento técnico de una Solicitud de Patente.....	93
3.8.7	Forma de organizar la solicitud .....	94
3.8.8	Tramite de solicitud .....	95
3.8.9	Solicitud de examen de patentabilidad .....	96
3.8.10	Examen de patentabilidad.....	97
3.8.11	Solicitud de patentes en otros países .....	97
3.8.12	Generalidades .....	97
3.8.13	Tratado de cooperación en materia de patente (PCT) .....	99
3.8.14	Fase internacional .....	100
3.8.15	Solicitud nacional.....	103
3.9	Planeación de producción .....	107
3.9.1	Introducción a la planeación de producción .....	107
3.9.2	Datos de entrada .....	108
3.9.3	Construir modelo de organización (Gantt/otro).....	110

3.10	Producción.....	112
3.10.1	Recomendaciones (Transporte, almacenamiento y personal) .....	112
3.10.2	Confirmar producción a proveedores. ....	113
3.10.3	Pruebas y evaluación del producto .....	113
4.	Caso de estudio.....	115
4.1	Análisis de prototipo. ....	117
4.1.1	Filtro. ....	118
4.2	Evaluación de criterios de propiedad intelectual. ....	119
4.2.1	Estado de la técnica: .....	119
4.2.2	Patente: .....	119
4.2.3	Carta de confidencialidad:.....	119
4.3	Datos de entrada.....	120
4.3.1	Lote.....	120
4.3.2	Capital estimado a invertir.....	120
4.3.3	Precio de venta.....	120
4.3.4	Modelación 3D. ....	120
4.4	Propiedad intelectual.....	121
4.5	Caracterización. ....	121
4.6	Proveedores y fabricación.....	122
4.6.1	Búsqueda de Proveedores .....	123

4.6.2	Cotizaciones.....	124
4.6.3	Calcular costo neto de producto con cotizaciones.....	125
4.6.4	Calcular utilidad .....	125
4.6.5	Calcular eficiencia del diseño.....	126
4.6.6	Selección de proveedores.....	127
4.6.7	Evaluación de proveedores.....	127
4.7	Optimización y rediseño.....	128
4.8	Calcular eficiencia del diseño.....	132
4.9	Proceso de patente.....	133
4.10	Planeación de producción.....	134
4.11	Producción.....	134
4.11.1	Recomendaciones (Transporte, almacenamiento y personal).....	134
4.11.2	Confirmar producción a proveedores.....	135
4.11.3	Pruebas y evaluación del producto.....	135
4.11.4	Evaluación proveedores.....	137
5.	Conclusiones .....	138
6.	Bibliografía.....	141
7.	Anexos.....	143
7.1	Procesos de Manufactura .....	143
7.1.1	Vacuum forming (Termoformado).....	143

7.1.2	Contact molding (Trabajo con fibra y resina) .....	143
7.1.3	Sheet metal forming (Formado de chapa o lámina metálica) .....	143
7.1.4	Automatic and manual turning and boring (Torneado manual y CNC) .....	144
7.1.5	Milling (Fresado) .....	144
7.1.6	Planning and shaping (Rectificado y Formado) .....	144
7.1.7	Drilling (Perforado o taladrado) .....	144
7.1.8	Reaming (Rimado) .....	145
7.1.9	Making molds (Fabricación de moldes) .....	145
7.1.10	Polystyrene and foams transformation (Transformación de icopor y espumas) 145	
7.1.11	Acrylic bending (Doblado de acrílico) .....	145
7.1.12	Cutting and Assembly of PVC (Corte y transformación de PVC) .....	145
7.1.13	Frosted and grinding (Esmerilado y afilado ) .....	145
7.1.14	Rolling and bending (Rolado y doblado) .....	146
7.1.15	Rapid prototyping (Prototipado rápido) .....	146
7.1.16	Tungsten inert gas welding (Soldadura TIG) .....	146
7.1.17	Metal inert gas welding (Soldadura MIG) .....	146
7.1.18	Plasma arc welding (Soldadura con plasma) .....	147
7.1.19	Manual assembly (Ensamble manual) .....	147
7.1.20	Heat wave for ceramics (Cocción en horno para cerámicos) .....	147

7.1.21	Polysthrene manual cutting (Proceso manual de icopor) .....	147
7.1.22	Gas Welding (Soldadura con gas) .....	147
7.1.23	Laser Cutting (Corte laser) .....	148
7.2	Procesos de acabado de superficies .....	148
7.2.1	Polyester putty (Masilla poliester).....	148
7.2.2	Stucco (Estuco).....	148
7.2.3	Wood patching (Resane para Madera) .....	149
7.3	Procesos de Pintura.....	149
7.3.1	Thinner based varnish (Laca a base de tiner) .....	149
7.3.2	Catalyzed varnish (Laca catalizada) .....	149
7.3.3	Domestic enamels (Esmaltes domésticos).....	149
7.3.4	Polyurethane enamles (Esmaltes poliuretanos).....	149
7.3.5	Bases (bases).....	150
7.3.6	Water based vinyls (Vinilos a base de agua).....	150
7.4	Tabla de descripción de procesos de producción:.....	150
7.5	Tablas de procesos de producción .....	155
7.6	Cotización. ....	159
7.7	Calcular eficiencia del diseño (Referencia LUCAS) .....	160
7.8	Clasificación de la forma A .....	161
7.9	Clasificación de la forma B.....	161

7.10	Clasificación de la forma C.....	162
7.11	Coefficiente de desperdicio .....	162
7.12	Costo de proceso base .....	164
7.13	Complejidad de la forma .....	165
7.14	Conveniencia material proceso .....	165
7.15	Sección mínima.....	166
7.16	Requisitos de tolerancia .....	166
7.17	Requisitos de acabado superficial .....	167
7.18	Limitaciones del proceso.....	168
7.19	Compatibilidad material – proceso .....	172
7.20	Manipulación y alimentación .....	173
7.21	Ajuste e inserción .....	175

## **TABLA DE DIAGRAMAS.**

Diagrama 1. Metodología de industrialización propuesta.....	41
Diagrama 2. Filtro de entrada a la metodología .....	43
Diagrama 3: Proceso legal de propiedad intelectual .....	50
Diagrama 4. Tipos de patentes .....	91
Diagrama 5. Como solicitar una patente .....	92
Diagrama 6. Solicitud internacional de patente.....	99
Diagrama 7. Ejemplo de modelo de organización .....	110
Diagrama 8. Comparación entre 1er y 2do prototipo .....	129
Diagrama 9. Comparación de partes manufacturas en el 1er y 2do prototipo .....	131
Diagrama 10. Comparación de pesos en partes manufacturas en el 1er y 2do prototipo....	132
Diagrama 11. Eficiencia funcional .....	160
Diagrama 12. Manipulación y alimentación .....	174
Diagrama 13. Ajuste e inserción .....	176

## TABLA DE TABLAS.

Tabla 1. Procesos de manufactura disponibles en EAFIT.....	39
Tabla 2. Lote vs Mercado.....	46
Tabla 3. Lote vs costos .....	47
Tabla 4. Lote vs tiempo.....	47
Tabla 5. Ejemplo de tabla de caracterización 1 .....	54
Tabla 6. Matriz de selección de proveedor.....	58
Tabla 7. Matriz de evaluación de prioridad de tiempo.....	59
Tabla 8. Matriz de evaluación de prioridad de calidad .....	59
Tabla 9. Matriz de evaluación de prioridad de precio.....	60
Tabla 10. Especificación de criterios .....	61
Tabla 11. Ejemplo de evaluación de criterios .....	64
Tabla 12. Ejemplo de ingreso de datos de cotizaciones .....	65
Tabla 13. Ejemplo de ponderación de datos de las cotizaciones.....	65
Tabla 14. Resultado de ponderación de datos de las cotizaciones .....	66
Tabla 15. Matriz filtrada por orden .....	67
Tabla 16. Ingreso de datos de cotizaciones .....	68
Tabla 17. Ejemplo de tabla lista para correr simulación. ....	68
Tabla 18. Ejemplo de resultados de simulación.....	69
Tabla 19. Plantilla para análisis del ensamble.....	85
Tabla 20. Datos de entrada para ejemplo de diagrama de Gantt.....	109
Tabla 21. Evaluación de producto.....	114
Tabla 22. Filtro - Caso de estudio .....	118

Tabla 23. Caracterización del 1er prototipo .....	122
Tabla 24. Comparación entre 1er y 2do prototipo.....	129
Tabla 25. Comparación de componentes entre 1er y 2do prototipo.....	130
Tabla 26. Evaluación del producto y proveedores .....	136
Tabla 27. Descripción de procesos de producción .....	154
Tabla 28. Procesos comunes - Fundición.....	155
Tabla 29. Procesos comunes – Moldeo .....	156
Tabla 30. Procesos comunes - Formado.....	156
Tabla 31. Procesos comunes - Maquinado.....	157
Tabla 32. Procesos no comunes – Mecanizado.....	157
Tabla 33. Convenciones de los materiales .....	158
Tabla 34. Clasificación de la forma A.....	161
Tabla 35. Clasificación de la forma B.....	161
Tabla 36. Clasificación de la forma C.....	162
Tabla 37. Coeficiente de desperdicio .....	163
Tabla 38. Costo de proceso base .....	164
Tabla 39. Complejidad de la forma.....	165
Tabla 40. Conveniencia material proceso .....	165
Tabla 41. Sección mínima.....	166
Tabla 42. Requisitos de tolerancia .....	166
Tabla 43. Requisitos de acabado superficial .....	167
Tabla 44. Limitaciones del proceso.....	171
Tabla 45. Compatibilidad material – proceso .....	172

## TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Margen de ganancia.....	70
Ecuación 2. Precio de venta .....	71
Ecuación 3. Ganancia neta .....	72
Ecuación 4. Costo total del fabricante.....	72
Ecuación 5. Eficiencia del diseño.....	74
Ecuación 6. Índice de Manufacturabilidad.....	78
Ecuación 7. Coeficiente de costo relativo .....	80
Ecuación 8. Manipulación y alimentación .....	86
Ecuación 9. Ajuste e inserción .....	86

## TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1. Resultado de proyecto 1 .....	31
Imagen 2. Resultado de proyecto 2 .....	32
Imagen 3. Resultado de proyecto 4 .....	34
Imagen 4. Resultado de proyecto 5 .....	35
Imagen 5. Resultado de proyecto 6 .....	36
Imagen 6. Resultado de proyecto 7 .....	37
Imagen 7. Criterios de puntuación de la evaluación .....	63
Imagen 8. Evaluando al proveedor.....	63
Imagen 9. Ejemplo de registro de evaluación de proveedores .....	64
Imagen 10. 1er Prototipo .....	117
Imagen 11. Comparación entre 1er y 2do prototipo - soporte de carga y apoya pies .....	130
Imagen 12. 2do prototipo .....	136

## 1. Introducción

Existen actualmente variedad de metodologías académicamente validadas, enfocadas en el diseño y desarrollo de nuevos productos, las cuales son comúnmente utilizadas tanto en ámbitos académicos como industriales. Algunos ejemplos claros, ampliamente referenciados en la literatura académica del tema son las metodologías propuestas por los libros *“Product design and development”* (Diseño y desarrollo de productos) de los autores Ulrich & Eppinger, y *“Engineering design: a systematic approach”* (Diseño en ingeniería: Un acercamiento sistémico) de los autores Pahl & Beitz. En una escala general, ambas metodologías se presentan de manera similar, partiendo del objetivo de desarrollar una solución a una problemática expresada por un grupo de personas o usuarios. De esta manera estas metodologías proponen tomar la información primaria de usuario y a través de herramientas de análisis convertirlas en requerimientos de diseño para un nuevo producto. Requerimientos que se expresan en lo posible de manera cuantitativa, y que por ende se pueden solucionar a partir de las especificaciones técnicas de un producto. De manera resumida, el proceso de desarrollo y diseño de producto toma entonces los requerimientos a través de fases de diseño conceptual, de detalle y producción hasta obtener finalmente un prototipo que expresa con un alto grado de precisión las características estéticas y funcionales de la idea o solución.

Pese a que son metodologías que incorporan aspectos de todo el ciclo de vida del producto a la fase de diseño, en última instancia estas metodologías plantean una segregación entre la fase de diseño, y las demás fases del ciclo de vida del producto. El equipo de diseño y desarrollo recibe normalmente como entrada de información un “brief” de un equipo de mercadeo y negocios, y entrega como salida un prototipo y un diseño de detalle a un equipo de personal de producción/administrativo/legal que se encarga de producirlo industrialmente. De aquí entonces se

evidencia una carencia en términos de la comunicación y multidisciplinariedad entre las diferentes pasos para la industrialización de un producto.

En el programa de Ingeniería de Diseño de Producto de la Universidad EAFIT, Medellín-Colombia, al estudiante se le ofrece una serie de materias a lo largo del pregrado que presentan diferentes áreas de conocimiento relevantes para el diseño y desarrollo de un producto. Así los estudiantes obtienen conocimientos de áreas como la ingeniería, diseño, mercadeo, administración, producción/manufactura y finanzas básicas. Tocando elementos fundamentales en el proceso de generación, desarrollo e implementación de un nuevo producto, con todo esto enmarcado en el aprendizaje y aplicación práctica de las metodologías de diseño y desarrollo de producto.

Como núcleo de esta formación está la materia “proyecto”, una asignatura que el estudiante cursa durante nueve de los diez semestres que dura el programa. Esta materia trata directamente con el desarrollo y diseño de nuevos productos desde un enfoque práctico, lo cual implica que el estudiante debe identificar dentro de su contexto un grupo de usuarios que expresan una necesidad no atendida, y desde ahí elaborar un proceso de diseño y desarrollo que concluye con la elaboración de un prototipo funcional, el cual se entrega al final de la asignatura. Estos prototipos exhiben las características funcionales, estéticas y de usabilidad del concepto de diseño que representan. No obstante es importante aclarar que no son diseñados optimizados para su desarrollo industrial.

Actualmente, según fuentes administrativas, dentro de cada “proyecto” (que se divide en P1, P2, P3... hasta P8 y Proyecto final) se producen en promedio unos ocho prototipos como resultado de los ejercicios académicos llevados a cabo. Como cada “proyecto” aborda una

temática específica los resultados abarcan un amplio espectro de productos, entre los cuales se cuentan juguetes, vehículos eléctricos, mobiliario, y artículos para el hogar entre otros. Estos proyectos se socializan por medio de exposiciones públicas, generando interés constante por parte del público general y de la industria local.

Pese a trabajar en ideas de productos para dar soluciones a problemas encontrados por grupos de usuarios reales, en la práctica es difícil que las ideas desarrolladas por los estudiantes lleguen a emprender un proceso de industrialización, y mucho menos ser comercializados. Pese a que este fenómeno no es exclusivo de la academia, puesto que la gran mayoría de ideas de productos que se gestan en la industria tampoco llegan a la realidad, dentro del programa se han encontrado problemáticas marcadas que hacen este proceso más difícil aún.

En primer lugar está el hecho que al ser profesionales en proceso de formación, la mayoría de estudiantes aún carece de la totalidad de conocimientos y competencias requeridas para llevar este proceso adelante por su propia cuenta. Factor que se evidencia en que las pocas ideas que históricamente han llegado a esta fase, provienen de estudiantes de los últimos semestres, o próximos a graduarse.

Por otra parte existe también un vacío en el acompañamiento que los estudiantes reciben por parte de la literatura y el entorno, y que finalmente los desincentiva a seguir con sus proyectos, puesto que el proceso de industrialización se les presenta como desconocido e incierto. Por estos motivos es que una vez las obligaciones académicas con la asignatura culminan, los estudiantes en una abrumadora mayoría optan por abandonar sus ideas, y simplemente seguir adelante con sus estudios.

En vista de los problemas encontrados en las metodologías actuales de diseño y desarrollo de productos, y del alto índice de abandono por parte de los estudiantes a ideas con importantes potenciales industriales y comerciales es que se plantea el desarrollo de una metodología de industrialización.

La metodología propone reducir la problemática que subyace en la industrialización de prototipos funcionales, al potencializar la capacidad de industrialización de estos últimos, entregándole al estudiante un método que lo ubica/contextualiza dentro del proceso de industrialización, guiándolo de una manera efectiva por una serie de pasos, desarrollando habilidades y competencias necesarias para afrontar las demandas de la industria actual. Lo cual resulta ser un complemento de suma importancia, puesto que las decisiones que se toman durante el desarrollo del producto afectan todo el ciclo de vida del mismo.

Cuando se desarrolla un producto industrial orientado al mercado, una pluralidad de disciplinas comienzan a intervenir. A diferencia de un proyecto académico enfocado en ingeniería y diseño, el desarrollo de un producto industrial también incluye temas legales, administrativos, mercadeo y manufactura, entre otros más. Esta multitud de disciplinas profesionales sumadas a la información que una empresa posee de su industria son factores que difícilmente se pueden replicar dentro del contexto académico, y que por ende, el estudiante normalmente desconoce.

Es importante recalcar que la metodología desarrollada funciona de manera exclusiva para el contexto local, dada las condiciones específicas del mismo. De la misma manera, la metodología también incorpora aspectos vitales para la industrialización como son la protección legal de la propiedad intelectual, la manufactura, optimización del diseño, y selección de

proveedores, entre otras. De esta forma, para iniciar el proceso de industrialización se requiere la existencia de un prototipo funcional que exhiba todas las características funcionales, estructurales y estéticas del producto final.

Esta metodología se aplica en un caso de estudio que parte de un prototipo funcional que se dio como resultado de un proyecto final en el pregrado de ingeniería de diseño de producto de la Universidad EAFIT. Este caso fue seleccionado gracias al potencial comercial de la idea al ser un vehículo impulsado por energía eléctrica diseñado para aumentar la eficiencia en el transporte del correo interno de la universidad. De esta manera dentro del contexto de lo planteado por la metodología, haciendo uso de las cotizaciones, el Modelo de Selección y Evaluación de proveedores (MSEP), las optimizaciones para la manufactura realizadas sobre el diseño, y la experiencia adquirida previamente entre la universidad EAFIT y proveedores industriales locales, se hace una selección de proveedores para producir una versión industrializable del producto.

Por último se obtiene una metodología compuesta por la siguiente serie de pasos:

1. Análisis de prototipo – Se encarga de definir el elemento necesario para comenzar la aplicación de la metodología, el “prototipo funcional”. El cual se define como: “Un modelo físico que representa de manera precisa la funcionalidad, resistencia, geometría e interacción con el usuario propuesta por un concepto de diseño. El cual no compromete la violación de propiedad intelectual perteneciente a terceros, y que puede ser construido haciendo uso exclusivo de partes y procesos disponibles en el contexto local.

2. Criterio de evaluación de propiedad intelectual - Pese a que secciones posteriores se discuten en profundidad, este paso introduce el tema, y los conceptos claves que se deben tener en cuenta durante las etapas iniciales de la metodología.
3. Datos de Entrada - En la industrialización de un prototipo intervienen una pluralidad de áreas de conocimiento que van más allá de los aspectos de ingeniería y diseño. Dentro de este capítulo se discute toda la temática que debe ser tenida en cuenta desde un punto de vista de negocios.
4. Protección de derechos de propiedad intelectual - Este hace énfasis en las condiciones necesarias, y pasos que deben ser llevados a cabo por el emprendedor a la hora de proteger su propiedad intelectual.
5. Caracterización - Es el paso que se encarga de preparar el prototipo para el proceso de manufactura e industrialización. Se enfoca principalmente en cómo se distribuyen las operaciones industriales entre los diferentes proveedores de procesos de manufactura y ensamble.
6. Proveedores y manufactura - Se encarga de definir y explicar los parámetros específicos a tener en cuenta durante el proceso de manufactura y ensamble del producto. Parámetros que en última instancia determinan los proveedores que se van a encargar de la producción a partir de herramientas de análisis de datos propuestas por la misma.
7. Optimización y rediseño - Pese a contar en este punto con un prototipo funcional, este no necesariamente representa la versión más eficiente en términos de costos y tiempo de manufactura. Por ende el capítulo introduce herramientas que permiten la optimización del mismo para estos propósitos.

8. Proceso de patente - Poseer una idea creativa no necesariamente implica que esta se pueda patentar. No obstante en caso de desear emprender este proceso, la metodología presenta al usuario guías y pautas para llevar a cabo el proceso.
9. Planeación de la producción - Plantea conceptos relativos a la planeación de la producción que trascienden lo relacionado al diseño para la manufactura, o la selección de proveedores, hacia un marco de referencia general de las operaciones y logística necesaria para obtener el producto terminado.
10. Producción - Trata directamente con la temática de la ejecución de la producción en la práctica, los elementos a tener en cuenta durante las operaciones, y los procedimientos necesarios para que ésta acontezca de manera eficiente y adecuada.

## **1.1 Objetivos.**

### **1.1.1 Objetivo general.**

Desarrollar una metodología sistemática para facilitar la industrialización de prototipos funcionales provenientes de proyectos académicos y de investigación, teniendo en cuenta el contexto local.

### **1.1.2 Objetivos específicos.**

- Analizar el estado del arte para el proceso de industrialización según las metodologías convencionales de diseño.
- Determinar los requerimientos para el desarrollo de la metodología.

- Caracterizar los prototipos funcionales de acuerdo con los procesos productivos.
- Estructurar los diferentes pasos de la metodología de industrialización definiendo actividades y recursos.
- Validar la metodología con un caso de estudio.

## **1.2 Marco teórico.**

Con el fin de estructurar y conceptualizar el problema que concierne a esta investigación, se han identificado algunos conceptos clave que se definirán a continuación.

### **1.2.1 Industrialización.**

Se puede considerar como una industria a quienes transforman los recursos utilizables y energía en productos industriales y bienes de consumo de fabricación correspondiente.

Desde el punto de vista de la ingeniería, el proceso de fabricación (industrialización) es un sistema de cruce donde se integran múltiples disciplinas. Este proceso no sólo incluye los materiales de entrada, la energía, el proceso de manufactura y la propia salida de productos terminados, sino también las connotaciones de ingeniería de los procesos y la fabricación ecológica. Estos se refieren al diseño del producto, el diseño de procesos de manufactura, el control del proceso de descarga, el reciclaje, el tratamiento para la eliminación de los peligros y la evaluación del ciclo de vida (LCA) en relación al uso y al reciclaje. (Yin, 2011, p.26)

La ingeniería de procesos se puede ver tanto como la ejecución del proceso de manufactura, como la suma de saberes ingenieriles que involucra llevar esta a cabo. Este sistema de saberes se basa en la descripción, simulación, proyección, optimización, control y manejo de procesos con el fin de mejorar la eficiencia de los mismos en términos de efectividad, orden, continuidad y compacidad. (Yin, 2011.)

Por esto el proceso de manufactura tiene influencia no sólo sobre la producción, sino sobre todo el ciclo de vida del producto. Desde el diseño de conceptos hasta el reciclaje y disposición de desechos; teniendo así repercusión en el sistema de saberes de la ingeniería de diseño de producto.

La metodología propuesta se concentra en aspectos de manufactura y ensamble, pero si se desea, durante los pasos de optimización y rediseño del producto se pueden aplicar otras metodologías de DFX, como aquellas orientadas al reciclaje, conservación del medio ambiente, mantenimiento, entre otras.

### **1.2.2 Ingeniería de diseño.**

La ingeniería de diseño debe “definir métodos, estrategias y tareas de gestión para el desarrollo eficaz de un producto, así como reducir los costos de manufactura e incrementar la productividad y la calidad. Estudiando así los recursos del proceso para aprender a asegurar el cumplimiento de las características y los atributos técnicos que deba ofrecer el producto.” (EAFIT)

Es por todo lo anterior que el proceso de manufactura se vincula necesariamente al proceso de diseño. Debido a que la ingeniería de diseño de producto enseña la aplicación de diversas metodologías, surge la necesidad de diseñar una metodología para el análisis y desarrollo del

proceso de industrialización de prototipos funcionales. Contribuyendo a la convergencia entre ingeniería y diseño.

### **1.2.3 Prototipo funcional.**

Existen muchos tipos de prototipos, pero para efectos de esta investigación un prototipo funcional es “un modelo físico que muestra las proporciones geométricas y dimensionales del producto, determina las condiciones de seguridad y comodidad permitiendo experimentar la operación del producto diseñado para usuario final, muestra los materiales reales aplicados, y permite probar y evaluar las funciones básicas del producto final en condiciones cercanas a la realidad con parámetros operacionales limitados.” (Böllinghaus et al. , 2009).

Los prototipos funcionales contribuyen al desarrollo de nuevos productos ayudando a crear la mejor solución para el problema de diseño actual, permitiendo evaluar las consecuencias de una determinada decisión de diseño. Durante el desarrollo, muchos procesos diferentes interactúan con el fin de determinar la mejor manera de llevar un producto desde la idea inicial hasta la "caja" que en última instancia llega a las estanterías de las tiendas.

### **1.2.4 Metodología de investigación.**

Esta metodología hace parte de lo que se conoce como “action research”, pues su objetivo es dar solución a un problema específico que se identificó dentro de un contexto local. En este caso son los problemas que encuentran cada semestre los estudiantes de IDP de la Universidad EAFIT en Medellín-Colombia. El action research difiere de las investigaciones experimentales en el sentido que tienen como objetivo solucionar un problema específico desde la práctica, y por ende no trata con experimentos y variables controladas. Lo cual se ve claramente reflejado en el hecho que la metodología se basa en un caso de estudio aplicado al contexto y usuario objetivo; a lo

cual se suma el hecho que la información recogida durante la fase de aplicación fue utilizada para corregir y refinar problemas en el planteamiento teórico de la misma con el fin de mejorar su efectividad como solución.

## 2. Estado del arte.

### 2.1 Análisis de metodologías de diseño.

Para el tema específico de metodologías de industrialización para prototipos funcionales se desarrolló un estado del arte actual que abarca una serie de métodos y metodologías establecidas, filosofías de trabajo colaborativo y herramientas en términos de software. La porción más relevante de acuerdo al caso de estudio, e intención de la metodología a desarrollar será discutida en este punto. A tal fin se analizan los sistemas CAM, la ingeniería concurrente, TRIZ, y las metodologías DFM, DFA y DFTM.

**Sistemas CAM** (Manufactura asistida por computador) Son software que “logran soportar las actividades de diseño y rediseño de prototipos proveyendo evaluación de manufacturabilidad, estimación de costos y estimación de tiempos de manufactura.” (Sharma y Gao, 2007). Estos software normalmente se usan en el desarrollo de piezas que se obtienen a partir de procesos de desbaste de viruta, lo cual los hace muy específicos para productos obtenidos a partir de dichos procesos. De esta forma, para el caso específico de proyectos de Ingeniería de Diseño de Producto (IDP) no aplica el uso exclusivo de estos sistemas.

**Ingeniería Concurrente** Estrategias empresariales las cuáles mediante la implementación de diversas metodologías y el soporte de plataformas tecnológicas, permiten el trabajo multidisciplinario entre todas las dependencias de la empresa involucradas en el ciclo de vida del producto. Con el fin de “desarrollar nuevos productos de mayor calidad y menores costos, tiempos de ensamble y tiempos de desarrollo”, optimizando así su capacidad de industrialización y tiempo al mercado. (Canciglieri, et al., 2010)

**TRIZ** (Teoría de la Solución Inventiva de Problemas) es una teoría que parte de la consideración de que muchos de los problemas de la ingeniería ya han sido resueltos tanto parcial como totalmente; aunque generalmente sea en contextos totalmente diferentes. Éste método desarrollado por Altshuller se basa en contradicciones y principios inventivos. TRIZ ayuda a identificar grandes contradicciones, y encontrar ideas para superarlas usando cuarenta principios inventivos derivados del análisis de cuarenta mil patentes.

**DFM** El Diseño para la Manufactura (DFM) define las características de un producto con el fin de permitir una manufactura eficiente y de alta calidad; En principio, diversos métodos de manufactura pueden aplicarse a un producto determinado, pero cada proceso de manufactura tiene diferentes requerimientos y características. (Filippi y Cristofolini. 2010, p. 15)

De esta manera se enfoca en encontrar la estrategia de manufactura más óptima para cada diseño, maximizando el uso de herramientas, materiales estándar, y la minimización de la complejidad geométrica, tolerancias amplias, etc.

**DFA** El Diseño para el Ensamble (DFA) por otro lado, se concentra en la minimización del número de componentes a ensamblar, la optimización de la secuencia de ensamble y la geometría de las piezas a ensamblar. Cuya simetría, filo, grosor, redondez, flexibilidad, etc. afectan la eficiencia del proceso de ensamblaje. (Boothroyd, (1994))

**DFTM** (Design for test and maintenance) se relaciona con la medición del funcionamiento de las partes críticas de un producto, y de la necesidad de mantenerlas bajo condiciones reguladas. Por tanto deben primero identificarse dichos componentes, ya que estos deben tener fácil accesibilidad para su mantenimiento, así como también la definición de procedimientos de

mantenimiento preventivo. El stock de repuestos de componentes críticos y la capacidad de minimizar el tiempo de inactividad del producto en caso de presentar fallas. (Filippi y Cristofolini, 2010, p. 19)

Todas estas metodologías de diseño “DFX”, presentan una guía completa que garantiza en cuanto al diseño del producto, una alta factibilidad para su industrialización, sin embargo estos métodos difieren ampliamente de la metodología que se pretende desarrollar por las siguientes razones:

Una de las principales diferencias entre la metodología a desarrollar y las metodologías DFX es que “el diseño para la manufactura (DFM), y el diseño para el ensamble (DFA) se desarrollan por el reconocimiento de que el costo de producción de un producto está ampliamente determinado por su diseño.” (Holt y Barnes, 2010, p. 124). Por el contrario la metodología que se está desarrollando va más allá del costo. Pues trabaja con parámetros multi-criterio para la optimización como tiempos, la calidad, y también el costo entre otros.

Como ya se dijo, el enfoque de estas técnicas consiste en reducir el costo de desarrollo del producto, bien sea minimizando los costos de ensamble y de la manufactura, o evadiendo iteraciones de diseño innecesarias. (Holt y Barnes, 2010). Para esto las diferentes técnicas y manuales hacen referencia constante al uso de una modelación 3D, pues la facilidad de edición, y control que se tiene sobre esta herramienta verdaderamente hacen que las técnicas sean efectivas en términos de tiempo.

A diferencia de esto la metodología desarrollada basa su análisis no en una modelación 3D, sino en el prototipo funcional físico. Ya que la construcción de este mismo prototipo y su manufactura *artesanal*, sirven como base para el rediseño y para la evaluación de la

manufacturabilidad de las distintas partes. Además un modelo virtual por sí solo no permite una verificación total de un nuevo producto, se hace necesario construir un prototipo físico que permita una transición más suave entre el modelo virtual y la producción en serie. Las propiedades mecánicas de los prototipos son, desde el punto de vista de su aplicación en etapas subsecuentes del desarrollo del producto, características importantes que son prerequisites de la efectividad de un método dado para diseñar propiedades del producto.

Sin importar la técnica adoptada, las metodologías DFM y DFA siempre buscan el mismo propósito, identificar diseños costosos o inviables lo antes posible, minimizar el rediseño y reducir el costo total que requiere hacer el producto. (Böllinghaus, 2009), por lo tanto, éstas se consideraran como parte de la metodología propuesta.

## **2.2 Contextualización del problema.**

La Ingeniería de Diseño de Producto es el término empleado para definir la profesión de aquellas personas que diseñan y desarrollan productos desde el punto de vista del usuario final y la producción industrial. Fuera del rendimiento técnico y económico de los productos, estos deben ser novedosos, fáciles de entender, de operar y capaces de generar una atracción visual y estética para competir en el mercado exitosamente. Es así como en la Ingeniería de Diseño de Producto convergen los factores de diseño, que hacen que un producto sea deseado por los usuarios; factores de ingeniería, que garantizan la factibilidad tecnológica del mismo; y por último los factores de mercado, que soportan la viabilidad del producto como negocio. (EAFIT)

Del primero hasta el octavo semestre se trabaja en una materia llamada proyecto, en esta materia se concentran todos los conocimientos aprendidos en otras asignaturas para así desarrollar

unos buenos productos, se analizará cada uno para de esta manera entender bien que se desarrolla semestre a semestre en el pregrado de IDP. Adicional a esto, se mostraran las capacidades productivas de la universidad EAFIT con la que los estudiantes cuentan a la hora de desarrollar y materializar cada uno de sus proyectos. No se tiene en cuenta para la descripción el proyecto del octavo semestre ya que el enfoque de este curso no está orientado a la construcción de prototipo, de igual forma proyecto final que es el último curso antes de graduarse ya que en este punto los asesores son los que proponen los proyectos a desarrollar y los objetivos y resultados varían dependiendo de cada uno de estos.

### **2.2.1 Descripción de los cursos de proyecto en IDP:**

Al final de cada semestre en estas asignaturas se obtienen prototipos funcionales, la intención es que los estudiantes que desarrollan estos proyectos continúen en una etapa posterior de industrialización, para así llevar estos prototipos funcionales a unos productos comercializables y que no queden en el olvido.

#### **1) Proyecto 1**

Diseñar unos contenedores y superficies con el fin de que los estudiantes adquieran experiencia y competencias, como se ve en la imagen 1.

#### **Objetivos:**

- Conocer y utilizar los principios y elementos de *diseño e ingeniería*.
- Conocer y utilizar las herramientas y equipos de manufactura básicos del Taller de IDP.
- Comprender la importancia del análisis del *contexto y del usuario final* para el proceso de diseño.

- Conocer materiales y técnicas para hacer *modelos o prototipos* de primera serie.



Imagen 1. Resultado de proyecto 1

## 2) Proyecto 2

Diseñar un sistema de mobiliario mediante el uso de herramientas de *dibujo y expresión gráfica, exploración de materiales y leyes fundamentales del diseño*, como se ve en la imagen 2.

### Objetivos:

- Aplicar sistemas de representación gráfica para apoyar la labor de diseño.
- Investigar y analizar productos desde el punto de vista histórico, formal y estético.
- Explorar con modelos de estudio para mejorar el desarrollo del proyecto y su concepción tridimensional.
- Explorar materiales alternativos para la creación de nuevos productos con lenguajes innovadores.



Imagen 2. Resultado de proyecto 2

### 3) Proyecto 3

Diseñar una escena animada (modelo 35 x 35 x 50 cm) en MDF, con mecanismos básicos. Juguete de acción-reacción. (Se exige modelo en cartón corrugado y con ensambles).

Entender *la conceptualización* como una etapa fundamental en el proceso de diseño y desarrollo de un producto. Al finalizar el semestre, el estudiante estará en capacidad de aplicar métodos y herramientas de diseño para generar un concepto de producto que cumple con una serie de requisitos funcionales y formales.

#### **Objetivos:**

- *Identificar*, mediante la reflexión sobre la acción en el proceso de diseño, las herramientas o métodos que la metodología de EAFIT recomienda para generación de conceptos de diseño.
- *Elaborar*, a partir de investigaciones de usuarios y contexto (social, tecnológico, etc.), listas de requerimientos de diseño que sirvan de guía para el proceso de generación del concepto de producto.

- **Desarrollar** sistemáticamente arquitecturas de producto, utilizando para el efecto las herramientas y métodos propios del análisis funcional, que permitan generar un concepto de diseño funcionalmente acorde con los requerimientos de la situación de diseño.
- **Generar** sistemáticamente, mediante la aplicación de métodos y herramientas de análisis gráfico propias del Lenguaje de Productos, múltiples alternativas formales que deriven en un concepto de producto estéticamente acorde con los requerimientos de la situación de diseño.

#### 4) Proyecto 4

Crear un producto (utensilios-herramientas) comprendiendo la estrecha **relación entre humano – artefacto – ambiente**, con el fin de solucionar problemáticas específicas en un espacio de trabajo. Esta solución debe ser, **posible tecnológicamente, viable** desde la perspectiva del mercado y que contribuyan la **productividad y bienestar** de los usuarios, como se ve en la imagen 3.

##### **Objetivos:**

- Identificar las implicaciones de aspectos, **formales, funcionales y ergonómicos**.
- Documentar y evidenciar todos los aspectos analizados durante el proceso académico.
- Usar todo tipo de herramientas para la descripción gráfica de los ejercicios y **aplicar todo lo aprendido** en materias vistas o en paralelo a P4 con el fin de ser creativos e innovadores en el desarrollo de productos.



Imagen 3. Resultado de proyecto 4

## 5) Proyecto 5

Desarrollo de una solución de transporte, impulsado por motor de combustión interna o energía humana a partir del uso de *metodologías de diseño y cálculos de ingeniería* para uso dentro del contexto Colombiano, como se ve en la Imagen 4.

### Objetivos:

- Desarrollar *habilidades de comunicación* dentro de un *grupo de trabajo* mediante una correcta *planeación* de actividades con el propósito de optimizar el uso de los recursos disponibles (tiempo, dinero, materiales).
- Realizar de forma adecuada los *cálculos básicos de ingeniería* requeridos durante el proceso de diseño con el propósito de garantizar el adecuado funcionamiento del artefacto diseñado.
- Hacer el levantamiento correcto de *planos de ensamble y de taller* del diseño final usando las herramientas aprendidas en las asignaturas de modelación 3D con el propósito de *evitar errores* que retrasen y aumenten el costo del proceso de fabricación.

- Identificar los *procesos de manufactura* adecuados para la fabricación de las diferentes piezas del vehículo.
- Verificar las especificaciones de diseño del producto final mediante la realización de pruebas de usuario-*competencia*.



Imagen 4. Resultado de proyecto 5

## 6) Proyecto 6

Diseñar y fabricar un sistema interactivo con un enfoque de desarrollo social, mediante la implementación de metodologías de desarrollo de productos, incorporando conceptos básicos de mecatrónica, como se ve en la Imagen 5.

### Objetivos:

- Implementar conocimientos adquiridos en asignaturas previas a Proyecto 6.
- Investigar y conocer el usuario por medio de estudio etnográfico.
- Investigar y aplicar estrategias y metodologías enfocadas a la Innovación Social.
- Emplear conceptos de electrónica en el diseño de interfaces.
- Aplicar una metodología general de diseño y desarrollo de nuevos productos.

- Investigar y aplicar conceptos básicos de Mercadeo
- Aplicar conocimientos de diseño gráfico.
- Involucrar al usuario real del proyecto en diferentes etapas.
- Concientizar y empezar a desarrollar procesos profesionales tanto en el aspecto personal como académico.



Imagen 5. Resultado de proyecto 6

## 7) Proyecto 7

Desarrollar un prototipo funcional, formal e innovador de movilidad eléctrica que se ajuste a los requerimientos de la necesidad identificada en P7 aplicando los conocimientos adquiridos hasta el momento en la carrera (Ingeniería, Mercadeo, Proyectos) con la asesoría de 3 docentes y una adecuada planeación, como se ve en la Imagen 6.

### Objetivos:

- Sintetizar, integrar y llevar a la práctica los conocimientos adquiridos.
- Tener un prototipo potencial para crear una empresa.

- Procurar un impacto positivo en la movilidad regional
- Evidenciar la utilidad en seguir una metodología para obtener un producto final de calidad, factura y que sea viable.



**Imagen 6. Resultado de proyecto 7**

Cada proyecto tiene unos objetivos académicos acordes al nivel de preparación del estudiante que no solo sirven para que todos los conocimientos aprendidos en cada semestre sean aplicados en un solo proyecto sino que también desarrolla capacidades para el desempeño profesional. Por otro lado ninguno de estos proyectos se enfoca en promover el desarrollo de los conceptos hasta un producto industrial ni prepara al estudiante para enfrentarse a un reto de dicha naturaleza.

### 2.3 Procesos de manufactura disponibles en los talleres de la Universidad EAFIT.

La Universidad dispone de talleres de maderas, soldadura, metalmecánico, cabinas de acabados y pintura, talleres de moldes, resinas y fibras de vidrio los cuales poseen diversas herramientas y máquinas para dichos procesos.

Desde Proyecto 1 los estudiantes aprenden las diferentes dinámicas y procesos disponibles en la Universidad EAFIT para realizar los proyectos, reciben asesorías e inducciones para adquirir experiencia en todos los talleres de la universidad, por esta razón todos los estudiantes de Ingeniería de Diseño de productos pueden usar y/o realizar los procesos que se muestran en la tabla 1 y más a detalle en el anexo 1 dependiendo del proyecto que estén realizando.

<b>Procesos de Manufactura</b>	Termoformado
	Trabajo con fibra y resina
	Formado de chapa o lámina metálica
	Torneado manual y CNC
	Fresado
	Rectificado y Formado
	Perforado o taladrado
	Rimado
	Fabricación de moldes
	Transformación de icopor y espumas
	Doblado de acrílico
	Corte y transformación de PVC
	Esmerilado y afilado
	Rolado y doblado
	Prototipado rápido
	Soldadura TIG
	Soldadura MIG
Soldadura con plasma	

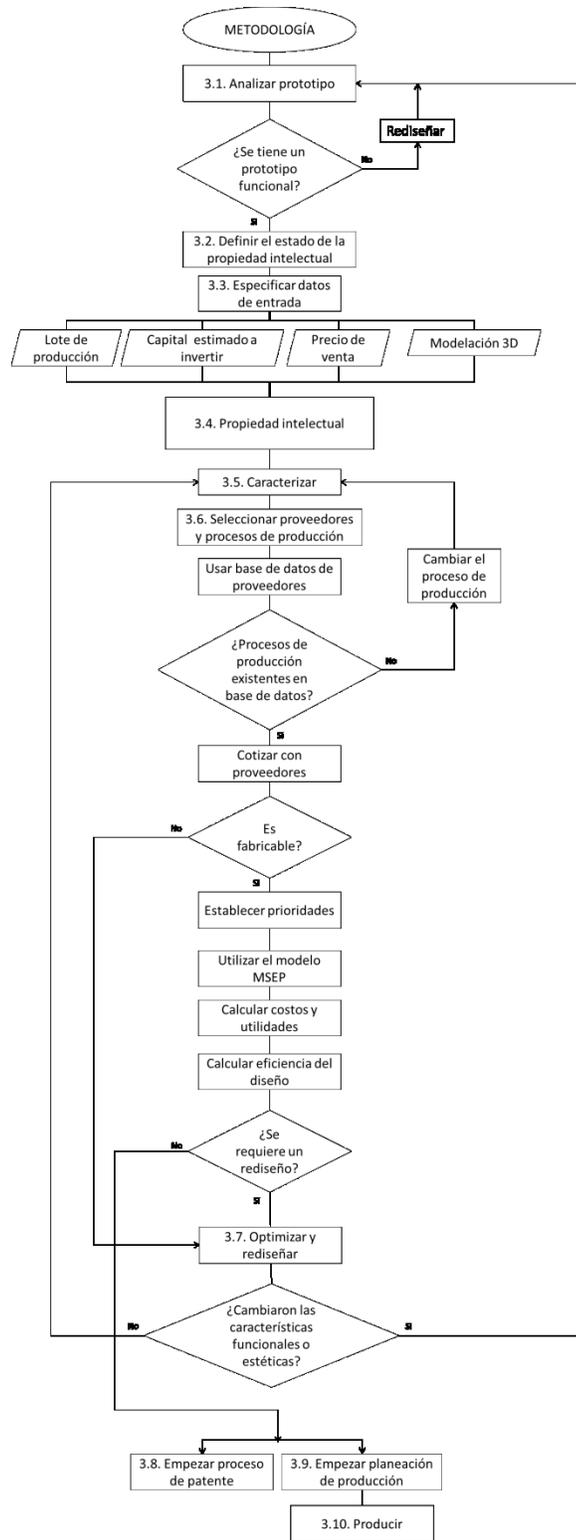
	Ensamble manual
	Cocción en horno para cerámicos
	Proceso manual de icopor
	Soldadura con gas
	Corte laser
<b>Procesos de acabado de superficies</b>	Masilla poliéster
	Estuco
	Resane para Madera
<b>Procesos de Pintura</b>	Laca a base de tiner
	Laca catalizada
	Esmaltes domésticos
	Esmaltes poliuretanos
	Bases
	Vinilos a base de agua

**Tabla 1. Procesos de manufactura disponibles en EAFIT**

En las instalaciones de la Universidad EAFIT no se dispone de todos los procesos existentes en la industria local pero aún se tienen excelentes capacidades para la fabricación de todos los prototipos que se desarrollan cada semestre. La maquinaria disponible es para que los estudiantes tengan un proceso de aprendizaje y de acercamiento a ellas, no son para procesos productivos en serie. Las disponibilidades y tiempos son netamente académicos y no corresponden a una situación real de industrialización.

### **3. Desarrollo de la metodología**

Es importante recalcar que la metodología que se discute en el presente informe está enfocada de manera exclusiva hacia el propósito de facilitar el proceso de industrialización de los prototipos funcionales que se obtienen como resultado de los proyectos académicos llevados a cabo dentro de la Universidad EAFIT. Pese a que la intención y naturaleza del prototipo funcional de cada proyecto varía considerablemente de los demás, todos ellos comparten como núcleo central el ser construido haciendo uso de una base común de materiales, espacios físicos y herramientas disponibles dentro del campus universitario. Adicionalmente todos estos prototipos tienen como objetivo primordial el servir como un medio de validación y visualización tanto estética como funcional de un concepto de diseño, desarrollado con fines exclusivamente académicos. La metodología ayuda a considerar los aspectos para que un prototipo pueda llegar a una etapa de industrialización, pero en ningún momento se garantiza el éxito del producto en el mercado. En la metodología se evalúan temas de procesos de producción y manufactura, de propiedad intelectual, de caracterización, de proveedores, de optimizaciones y rediseño, entre otros. En el diagrama 1 se muestra todos los pasos de la metodología propuesta. Se entrará en detalle en cada uno de los pasos a medida que se avance.



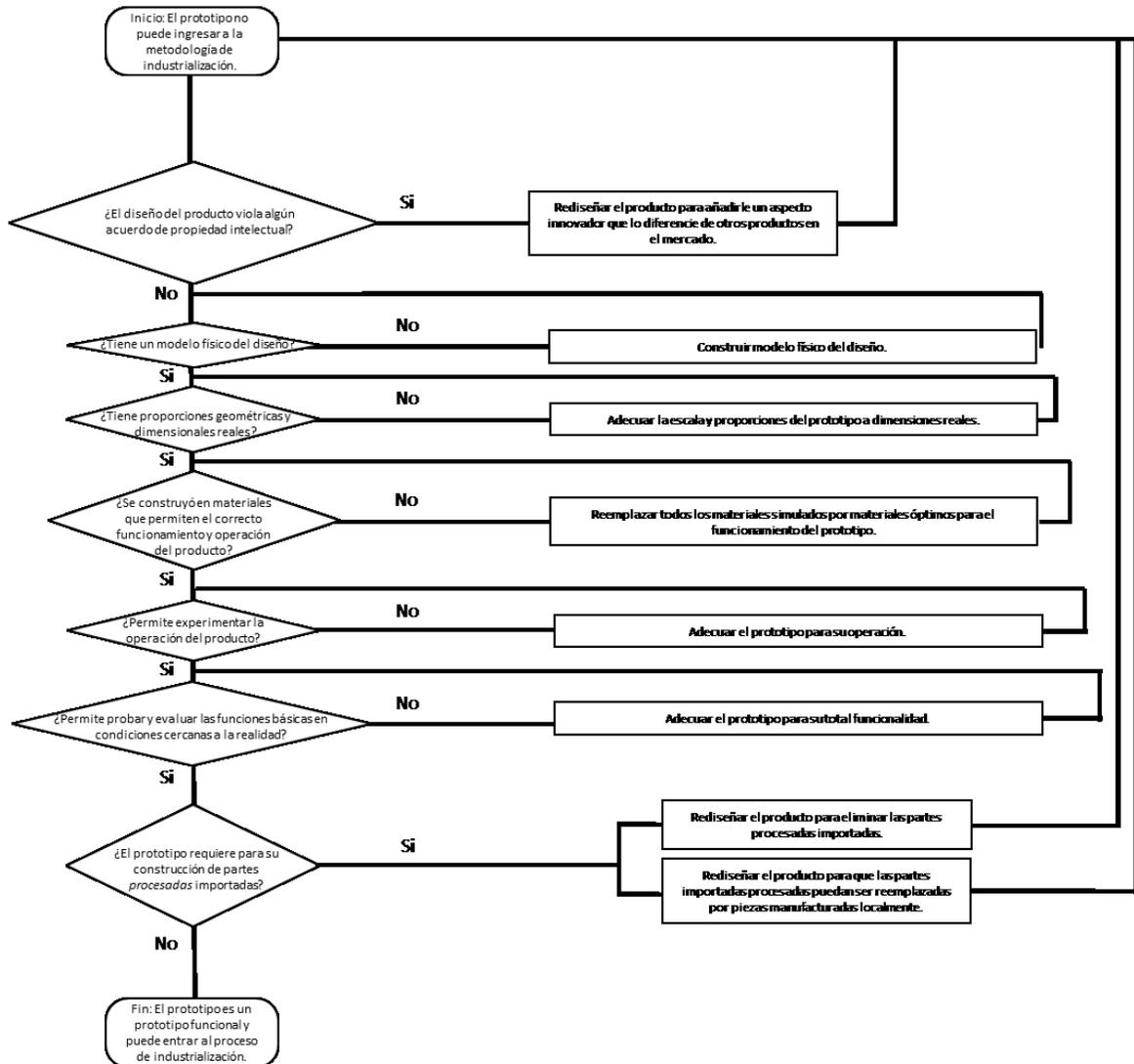
**Diagrama 1. Metodología de industrialización propuesta**

### **3.1 Análisis de prototipo**

El punto inicial de la metodología es que el usuario cuente con lo que se conoce como prototipo funcional o modelo funcional. El cual no es más que un modelo que se desarrolla a partir de un concepto y unas especificaciones de diseño que generalmente se han llevado a una modelación CAD. Sin embargo dentro del contexto de esta metodología se conforma una definición estricta a la que un modelo se debe adherir para ser acreedor de este status. (Definición de prototipo funcional en el punto 1.2.3)

Para comenzar, es necesario evaluar el prototipo, con el fin de saber si cumple o no con los requerimientos de un prototipo funcional, y de esta forma conocer si puede ingresar al proceso de industrialización. Lo anterior se pretende realizar a través de un filtro (un proceso condicional que evalúa que los criterios que definen el “prototipo funcional” están presentes en el modelo con el que se cuenta), el cual le permite al emprendedor responderse las preguntas anteriores, con el objetivo de ofrecerle distintos caminos y posibles soluciones.

El primer paso a seguir debe ser entonces la verificación del tipo de prototipo que se tiene, para ello el diagrama de flujo (Diagrama 2) se empleará como filtro para evaluar si el prototipo del cuál dispone el emprendedor cumple con todas las características funcionales del producto final.



**Diagrama 2. Filtro de entrada a la metodología**

Al realizar el filtro, se pueden obtener dos resultados, el prototipo es o no funcional. En caso de no serlo, el filtro sugiere posibles opciones y áreas de rediseño para obtener el resultado deseado e ingresar a la metodología, en caso si ser un prototipo funcional se debe continuar con los siguientes pasos de la metodología.

## **3.2 Recomendaciones de propiedad intelectual**

Más allá de contar efectivamente con un prototipo funcional, un punto vital y que es virtualmente desconocido para los estudiantes de pregrado del Ingeniería de Diseño de Producto es el de la protección de la propiedad intelectual. Este punto conforma un punto primordial en la viabilidad de la industrialización de un producto, pues si este no cuenta con protección o por si por el contrario infringe la propiedad de otro, difícilmente podrá sobrevivir en el mercado en el corto y mediano plazo.

Para industrializar es necesario conocer ciertos criterios de propiedad intelectual que le permitirán al emprendedor proteger a futuro su proyecto. Pese a que en capítulos posteriores el proceso de protección se discute en detalle, el capítulo actual resulta un paso vital pues sirve para contextualizar, y como una herramienta de decisión simple pero efectiva para que el usuario haga una revisión global de la situación de su idea en lo referente a este tema. Los siguientes puntos sirven de apoyo.

### **3.2.1 Estado de la técnica:**

Antes de explotar el producto o proceso, es necesario realizar un estado de la técnica; preferiblemente se recomienda realizarlo de forma paralela a la investigación. Lo anterior, debido a que el producto, proceso o tecnología que se pretende comercializar puede ser propiedad de terceros. Para realizar esta búsqueda se puede recurrir a bases de datos gratuitas en Internet. (Organización mundial de la Propiedad Intelectual [OMPI], s.f.).

### **3.2.2 Patente:**

Ya que la invención puede ser objeto de una futura patente, es importante que no sea publicada ni utilizada o comercializada antes de haber presentado una solicitud de patente. (Superintendencia de Industria y comercio [SIC], 2008).

### **3.2.3 Carta de confidencialidad:**

Antes de comenzar con la fase de cotizaciones, es necesario realizar una carta de confidencialidad entre ambas partes, con el fin de establecer ciertos acuerdos o pactos donde las empresas terceras se comprometan a no divulgar, revelar, copiar o transmitir información competente al proyecto. (Superintendencia de Industria y comercio [SIC], 2008).

### 3.3 Datos de entrada

Después de conocer si el proyecto cumple con los requisitos necesarios para ingresar en la metodología de industrialización de prototipos funcionales y de contar con algunas de las recomendaciones de propiedad intelectual, el emprendedor debe realizar un análisis detallado de la información que posee, con el fin de conocer ciertos datos que finalmente le permitirán seleccionar variables como el lote de producción y precio de venta, a partir del capital inicial tiempo y costos. Estos aspectos se relacionan con aspectos de viabilidad económica y de negocios de la idea, lo cual para cualquier emprendimiento comercial resulta un apartado de suma importancia.

#### 3.3.1 Lote

El objetivo es observar y analizar el producto en determinado mercado, con el fin de detectar fallas, posibles mejoras y oportunidades de diseño, que permitan refinar el proceso de industrialización del producto. A continuación las tablas 2, 3 y 4 presentan la comparación entre el lote de producción, el mercado, los costos y el tiempo.

<b>LOTE DE PRODUCTOS</b>	<b>MERCADO</b>
1-100	Mercado pequeño
100-1000	Mercado mediano
1000-10000	Mercado grande-amplio

**Tabla 2. Lote vs Mercado**

<b>LOTE DE PRODUCTOS</b>	<b>COSTOS</b>
1-100	Bajo costo del lote, alto el costo por unidad
100-1000	Aumenta el costo del lote, disminuye el costo por unidad
1000-10000	Alto el costo del lote, bajo el costo por unidad

**Tabla 3. Lote vs costos**

A medida que el número de productos por lote aumenta el precio del lote también aumenta, pero el precio por unidad disminuye debido al monto elevado del lote y a que cuando son demasiados productos las empresas rebajan un poco el precio del lote haciendo que el precio por unidad se reduzca.

<b>LOTE DE PRODUCTOS</b>	<b>TIEMPO</b>
1-10	Poco tiempo
100-1000	Aumenta el tiempo
1000-10000	Mucho tiempo

**Tabla 4. Lote vs tiempo**

El tiempo es una variable que en su mayoría depende del nivel de automatización que poseen los proveedores, pues a medida que aumenta la utilización de tecnología lo hace proporcionalmente la productividad y la calidad del producto. Por tal razón, reducen significativamente los costos y el tiempo total del desarrollo de producto.

Otra forma de evaluar la calidad, es la opinión de clientes, usuarios y expertos, con el fin de tener en cuenta comentarios y reclamos. Se puede también, realizar un análisis de productos similares en el mercado para finalmente realizar la mejor elección entre proveedores.

### **3.3.2 Capital estimado a invertir**

El capital o monto de dinero que se tiene disponible para invertir, es de vital importancia, ya que a partir del análisis de costos, utilidades y otras variables, permite definir la escala que se quiere alcanzar y la necesidad o no de posibles inversionistas.

### **3.3.3 Precio de venta**

Se recomienda:

- Definir el precio con homologación de la competencia. (Si se tiene)
- Definir el precio con homologación de productos similares en el mercado.
- Analizar la relación precio-margen de ganancia, para finalmente elegir el precio de venta más acertado tanto para el productor como para el consumidor.

### **3.3.4 Modelación 3D**

Es necesario partir de un modelo paramétrico, pues permite:

- Llegar a una aproximación más detallada del producto en diferentes áreas.
- Representar de manera intangible el producto final.
- Evaluar aspectos formales del diseño.
- Elaborar planos de taller.
- Realizar simulaciones y evaluar aspectos que afectan el diseño.

- Realizar con mayor facilidad y rapidez cambios en el diseño del producto.

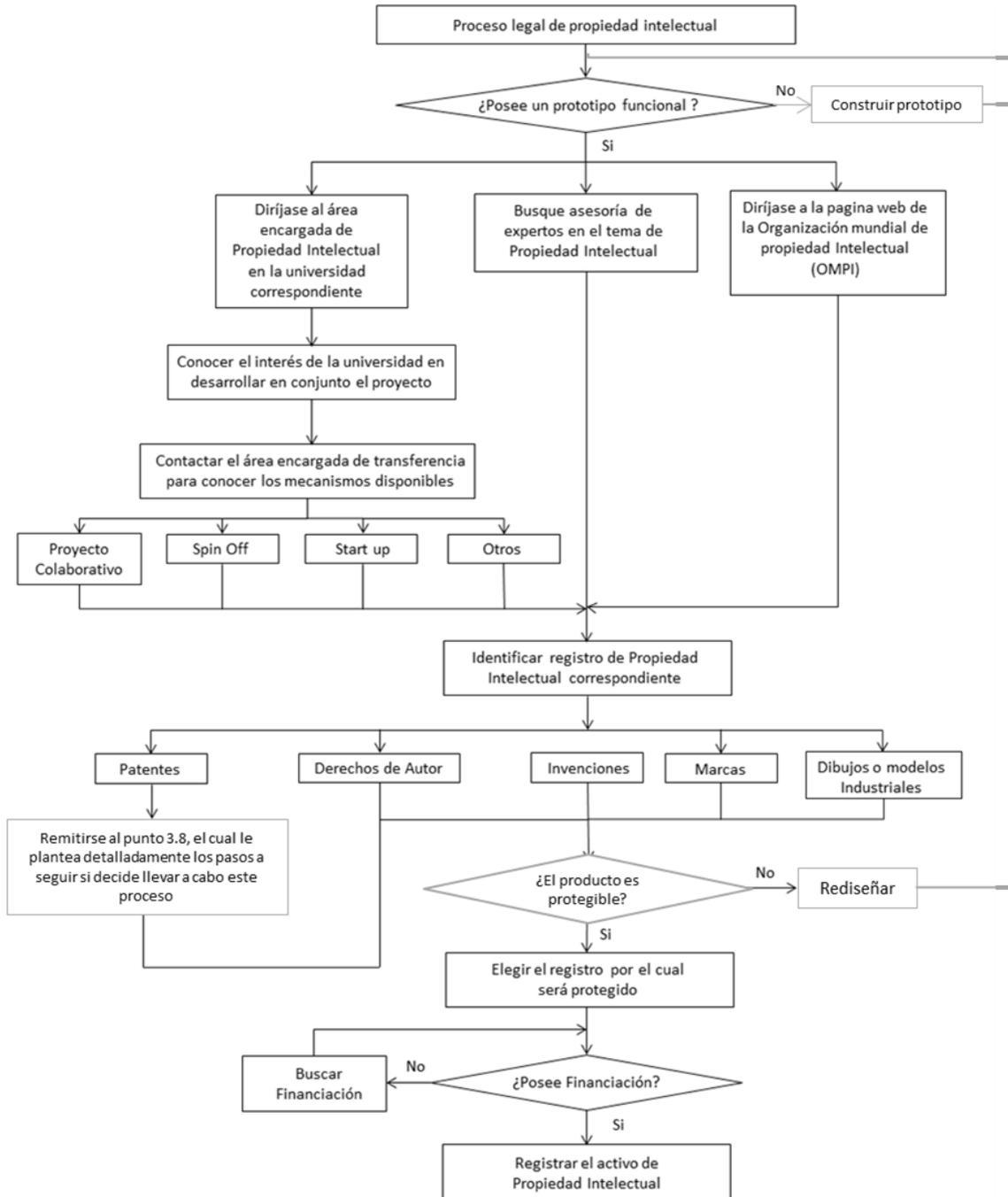
### **3.4 Consideraciones iniciales de protección de propiedad intelectual**

Teniendo en cuenta lo dicho en el punto 3.2, para la metodología es de vital importancia que el usuario de la misma pueda beneficiarse de su idea/proyecto a través de la protección de su propiedad moral e intelectual. Por estos motivos se enfatiza en el proceso de protección de derechos de propiedad intelectual, para así promover el progreso a través de nuevos desarrollos que brindan innovación y la transferencia de tecnología. Los siguientes datos, se toman a partir de la información brindada por el CICE (Centro para la innovación y consultoría y empresarismo) de la Universidad EAFIT, el cual es el área que se encarga de la transferencia tecnológica y de la explotación comercial de la propiedad intelectual de la Universidad.

Los derechos de propiedad intelectual le permiten al emprendedor beneficiarse de su proyecto o invención. Es por tal razón, que la metodología hace énfasis en esta parte del proceso con el fin de incentivar el progreso a partir de nuevas creaciones que promuevan la innovación y la transferencia de tecnología.

Por otro lado, para llevar a cabo el proceso de industrialización, es necesario realizar un estado del arte o estado de la técnica con el objetivo de verificar si la tecnología que se pretende desarrollar ya es propiedad de un tercero, y de esta forma no gastar grandes sumas de dinero en investigación, sin antes detectar las patentes válidas que podrían dificultar la explotación de la invención del emprendedor.

Teniendo en cuenta lo anterior, se expone el diagrama 3, el cual indica cada uno de los pasos a seguir, si el emprendedor decide llevar a cabo el proceso legal de Propiedad Intelectual.



**Diagrama 3: Proceso legal de propiedad intelectual**

Para comenzar con el proceso de propiedad Intelectual, es necesario partir de un prototipo funcional, el cual se definió en el punto 3.1 de la metodología. De esta forma, se procede con las opciones que el emprendedor tiene a su disposición para conocer lo referente al tema, ya sea dirigiéndose al área encargada en la universidad correspondiente, buscando asesoría de expertos, o simplemente indagando personalmente acerca del tema a partir de la página web de la Organización mundial de propiedad Intelectual (OMPI), en busca de la información necesaria para comprender a cabalidad el proceso que debe llevarse a cabo.

Uno de los requisitos de mayor importancia para que el proyecto sea protegido, es el alto nivel de novedad o innovación, si el proyecto no cumple con esta condición no se podrá continuar con el proceso.

De esta forma, si el emprendedor es un estudiante, investigador o profesor de una entidad Universitaria, puede optar por exponer su idea y conocer el interés de la misma en desarrollar en conjunto el proyecto planteado. La Universidad es autónoma y puede decidir según sus parámetros si el proyecto es viable o no, evaluando variables como potencial de mercado, equipo técnico, potencial de internacionalización o nivel de novedad e innovación, lo anterior dependiendo de cada institución.

En el caso específico de EAFIT, la Universidad apoya únicamente los proyectos de bases tecnológicas con altos contenidos de valor agregado de innovación, es por esta razón que después de exponer la idea, la Universidad realiza una entrevista con los inventores o las personas interesadas, con el objetivo de analizar detalladamente la propuesta y así proceder a la aceptación del proyecto.

Conociendo el interés de la institución en desarrollar conjuntamente el proyecto, el emprendedor debe contactar el área encargada de transferencia, para conocer los mecanismos disponibles y así elegir junto con la Universidad el tipo de convenio que se realizará, ya sea a partir de un Proyecto Colaborativo, una Spin Off, un Start up u otras opciones que dependen de cada Institución.

Las anteriores son solo algunos de los caminos que puede elegir el emprendedor, ya que no existe un protocolo o reglas específicas, y cada caso tiene sus características particulares. Igualmente cada Universidad está en la obligación de ayudar al estudiante y tratar de consolidar una solución.

El paso a seguir en el proceso, es identificar el registro de Propiedad Intelectual correspondiente. Ya sea a través de Patentes, Derechos de autor, Marcas, Invenciones o Modelos Industriales; y dependiendo de las características del proyecto, validar que la invención sea protegible y elegir finalmente el tipo de registro por el cual será protegido.

Para concluir, es importante saber que este proceso requiere de una inversión significativa, por lo que es necesario tener un buen capital inicial, suficiente para llevar a cabo el desarrollo del proyecto. En el caso de no tenerlo, el emprendedor debe buscar financiación para poder registrar el activo de propiedad Intelectual o deberá llegar a un acuerdo con la Universidad para lograr la protección.

### **3.5 Caracterización**

Esta etapa comienza a avanzar el prototipo en términos de su adaptación para el proceso de industrialización. El objetivo entonces es compilar en una lista todos los procesos, materiales y formas que conforman el prototipo. Es importante tabular estas variables para cada pieza ya que permitirá visualizar que tan bien planeada está la manufactura y abrirá la posibilidad de empezar a detectar posibles fallas o incongruencias entre estos tres aspectos para una misma pieza.

#### **3.5.1 Tabla de descripción de procesos de producción:**

En el anexo 2 se presenta una tabla en la que se describe cada uno de los procesos de producción con la intención de que se pueda asociar más fácilmente estos procesos con el prototipo que ya está construido.

Dicha información se toma del libro *Process Selection from Design to Manufacture*. (Swift y Booker, 2003)

#### **3.5.2 Selección de materiales.**

Teniendo en cuenta el lote de producción elegido, considere las tablas en el anexo 3 como guía para la elección de materiales y procesos compatibles entre ellos y con el número de unidades a producir.

#### **3.5.3 Planos.**

Partiendo de la modelación 3D del prototipo, se procede a realizar los planos de taller, los cuales deben especificar dimensiones, tolerancias dimensionales y geométricas, uniones, u otras características que sean necesarias para la buena comprensión del mismo. Es necesario que cada

una de las piezas no estándar tenga su respectivo plano y nombre, además de tener en cuenta los planos de cada sub ensamble y ensamble total del producto.

#### **3.5.4 Material y proceso.**

Elabore una lista con todas las piezas de su prototipo (A excepción de las piezas estándar), y a continuación especifique para cada una de ellas tanto el material como el proceso involucrado en su fabricación. Utilice nombres comerciales para denotarlos, puede basarse en la tabla 5 de descripción de procesos.

<b>Número #</b>	<b>Pieza</b>	<b>Material</b>	<b>Proceso</b>	<b>Cantidad</b>

**Tabla 5. Ejemplo de tabla de caracterización 1**

Finalmente, elabore una lista detallada de los componentes estándar que se emplearon en la fabricación del prototipo para tenerlo en cuenta a la hora de hacer los pedidos o compras respectivas y también para poder estimar desde una etapa temprana los costos de estas partes.

### **3.6 Proveedores y fabricación (Toma de decisiones)**

Al finalizar la selección de procesos y materiales que van a ser utilizados, y de tener los planos de taller con las especificaciones necesarias para pasar al proceso de producción, es necesario realizar diferentes cotizaciones de la totalidad de partes que conforman el prototipo, con el fin de elegir el proveedor que cumpla con las prioridad del emprendedor.

De esta forma, se presentan una serie de recomendaciones frente a los proveedores, se plantea el desarrollo de una herramienta de selección y evaluación de proveedores en conjunto con la estudiante Juliana Montoya Blandón como parte de su trabajo de grado titulado “Modelo de selección y evaluación de proveedores para industrialización de productos en el ámbito local” (Blandón, 2013), además se plantea el uso de dicho modelo de selección y evaluación de proveedores (MSEP) con el objetivo de realizar una correcta selección de proveedores.

#### **Recomendaciones frente a los proveedores:**

- Se recomienda cotizar con al menos 3 proveedores para cada servicio ya que tener más de dos opciones permite analizar tendencias en costo, tiempo y calidad. Además el modelo usado para la selección de proveedores MSEP, requiere de al menos 3 cotizaciones para realizar el análisis.
- Se recomienda no tener un solo proveedor que realice la totalidad del producto, para no depender enteramente de una empresa, y también por cuestiones de propiedad intelectual.
- Se recomienda centralizar procesos, es decir, buscar un proveedor que realice varios procesos o pueda tercerizarlos, con el fin de recibir piezas terminadas. En este punto

se plantea una segunda opción, consiste en la selección de proveedores por proceso, lo cual requiere una mejor gestión de la manufactura y el ensamble, pero podría disminuir tiempos y costos.

- Se recomienda, con respecto al ensamble, buscar una empresa confiable, conocida o referenciada, ya que pueden haber problemas de propiedad intelectual. Así mismo se recomienda para este proceso usar contrato de confidencialidad con el proveedor.

### **3.6.1 Cotizado por empresa**

Hay que aclarar que si la empresa hace una cotización es porque los procesos de producción existen y están disponibles en la empresa, dado el caso de que la empresa no lo cotiche por que no lo puede fabricar dirigiese al punto 3.6.1.2. Si por otro lado no se encuentra el proceso de producción dentro de la base de datos dirigirse al punto 3.6.2.

Para el desarrollo de cotizaciones se debe realizar una preselección de proveedores en BasedeDatos.xls, archivo que filtra compañías con base en los procesos, servicios y materia prima que ofrecen.

Es importante preseleccionar entre 3 y 5 empresas que ofrezcan el mismo servicio, para desarrollar diferentes cotizaciones según las prioridades que el emprendedor exponga. Lo anterior con el fin de tener opciones, en caso de que el proveedor no tenga disponibilidad o capacidad de producción.

Como segundo paso es importante que el emprendedor desarrolle una carta de confidencialidad dirigida a los proveedores con los cuales desee cotizar. Esto antes de hacer conocer el diseño y la funcionalidad del producto, protegiéndolo y así evitando cualquier tipo de

copia o piratería. Es importante que el representante legal de la empresa con la que se busca cotizar la firme. Seguido a esto se envían los planos junto al formato de cotización, en donde se deberán pedir los precios de un prototipo, de un tiraje de prueba y de una producción total. Anexando una solicitud donde la empresa reenvíe una respuesta especificando que tanta capacidad y disponibilidad de tiempos y plazos tiene ante el proyecto.

### **3.6.1.1 Si lo fabrican.**

Realizar la preselección de proveedores permite que el emprendedor tenga contacto directo con las empresas que podrían realizar el trabajo. El proveedor expone sus servicios y el emprendedor muestra interés en los que posiblemente pueden cubrir a totalidad sus necesidades.

A lo anterior, la empresa debe entregar una respuesta clara y con las especificaciones necesarias para llevar a cabo el diseño, aclarando por medio de qué procesos puede realizar lo solicitado. Es posible que el proveedor no emita la cotización debido a las exigencias necesarias para el desarrollo del proyecto, por tal razón se recomienda tener una cantidad mínima de tres proveedores.

#### ***3.6.1.1.1 Definición de prioridad***

La selección de proveedores exige ciertas prioridades de precio, tiempo y calidad, las cuales en la mayoría de situaciones son dependientes entre sí. Además, le permiten al emprendedor justificar la mejor opción y evaluar los resultados.

Es importante saber qué proveedor cumple con la totalidad de los requisitos exigidos; para ello se diseña una matriz evaluativa en la cual se asigna en orden un valor de 1 a 8 según la importancia de cada una de las variables (siendo 1 el de mayor peso), generando automáticamente los pesos, como se ve en la tabla 6.

Variable	Unidad de Medida	Orden	Peso
Precio	Pesos	1	22,22%
Tolerancia	Milímetros	6	8,33%
Plazo de entrega	Días	5	11,11%
Transporte	Pesos	4	13,89%
Descuento por volumen	Porcentaje	2	19,44%
Plazo de pago	Días	3	16,67%
Certificación	Catagórica	8	2,78%
Tiempo de garantía	Meses	7	5,56%

**Tabla 6. Matriz de selección de proveedor**

- **Tiempo**

El tiempo es cuánto tarda el proveedor en dar respuesta ágil y eficaz ante la necesidad del emprendedor antes y después de la cotización.

En este caso la matriz de tiempo manifiesta un grado de importancia mayor a todo lo relacionado con plazos, como se puede ver en la tabla 7, corriendo el riesgo de que las prioridades de precio y calidad no cumplan completamente con las exigencias del emprendedor.

Variable	Unidad de Medida	Orden	Peso
Precio	Pesos	2	19,44%
Tolerancia	Milímetros	7	5,56%
Plazo de entrega	Días	1	22,22%
Transporte	Pesos	5	11,11%
Descuento por volumen	Porcentaje	3	16,67%
Plazo de pago	Días	4	13,89%
Certificación	Catagórica	6	8,33%
Tiempo de garantía	Meses	8	2,78%

Tiempo

Correr Simulación

**Tabla 7. Matriz de evaluación de prioridad de tiempo**

- **Calidad**

La calidad cubre toda satisfacción que espera obtener el emprendedor tanto en el momento de la entrega como en la realización de pruebas en determinada pieza, como se ve en la tabla 8. Depende del precio y tiempo exigido y pactado en la cotización. El grado de calidad que tiene la pieza depende de en qué porcentaje el proveedor se mantiene fiel a las especificaciones establecidas en el diseño de la pieza/parte, si esta resulta ser inferior al 85% de lo especificado entonces no puede considerarse de calidad.

Variable	Unidad de Medida	Orden	Peso
Precio	Pesos	4	13,89%
Tolerancia	Milímetros	1	22,22%
Plazo de entrega	Días	6	8,33%
Transporte	Pesos	8	2,78%
Descuento por volumen	Porcentaje	5	11,11%
Plazo de pago	Días	7	5,56%
Certificación	Catagórica	3	16,67%
Tiempo de garantía	Meses	2	19,44%

Calidad

Correr Simulación

**Tabla 8. Matriz de evaluación de prioridad de calidad**

- **Precio**

Es recomendable simular la matriz de precio, como se ve en la tabla 9, luego de tener claro el rango de tiempo que se ofrece para cada entrega y finalización del producto, justificado en que a mayor calidad y entrega rápida, mayores los costos. El emprendedor también puede guiarse por el costo promedio de una parte/servicio dentro del mercado, y compararlo con el precio que actualmente se le ofrece. Por otra parte los volúmenes de producción que se necesiten también van a influir directamente sobre el precio que el proveedor ofrezca. Lotes pequeños de producción van a tener altos costos unitarios y bajos costos totales, mientras que lotes que progresivamente van aumentando en envergadura evidencian una disminución en valor unitario y aumento del valor total de las partes/servicio.

Variable	Unidad de Medida	Orden	Peso
Precio	Pesos	1	22,22%
Tolerancia	Milímetros	6	8,33%
Plazo de entrega	Días	5	11,11%
Transporte	Pesos	4	13,89%
Descuento por volumen	Porcentaje	2	19,44%
Plazo de pago	Días	3	16,67%
Certificación	Categoría	8	2,78%
Tiempo de garantía	Meses	7	5,56%



**Tabla 9. Matriz de evaluación de prioridad de precio**

### ***3.6.1.1.2 MSEP (Modelo de Selección y Evaluación de Proveedores)***

Para desarrollar del modelo se exploró el *ToolBox FuzzyLogic*, de MatLab. Debido a que este programa es pago se buscaron herramientas sustitutas, se encontró un software llamado QTFuzzyLite (Rada-Vilela., 2014). Se hizo una programación típica de propinas para comparar el resultado en MatLab y en QTFuzzyLite, el resultado de ambos fue el mismo, por lo que se decidió usar el programa QTFuzzyLite ya que es Open Source y es confiable.

Partiendo de los criterios de selección más comunes en los diferentes métodos de selección y un panel de expertos se seleccionaron criterios que pueden servir para seleccionar proveedores de materia prima, partes estándar o servicios a la vez, estos criterios se pueden ver en la tabla 10.

La intención principal de dicha herramienta es considerar mínimo tres proveedores para evaluar con base en las prioridades generales que exige cualquier emprendedor. El modelo de selección ofrece tres matrices precalificadas (Tiempo-Calidad-Precio), en donde se puede asignar un orden según el grado de importancia de cada una de los criterios establecidos.

<b>Criterio</b>	<b>Unidad de medida</b>
Precio	COP
Descuento por volumen	%
Plazo de pago	Días
Certificaciones	ICONTEC u otras
Tiempo de garantía	Meses
Tolerancias	mm, $\mu$ m
Plazo de entrega	Días
Transporte	COP

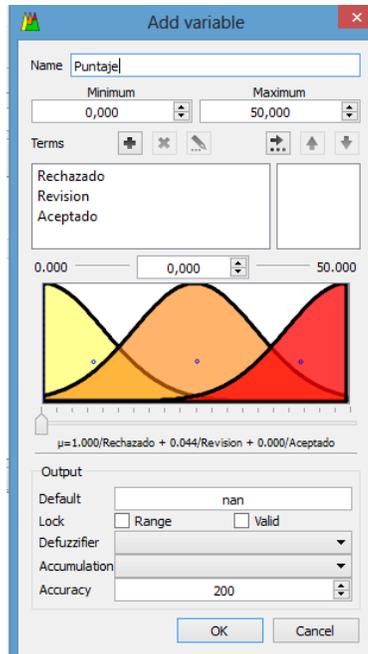
**Tabla 10. Especificación de criterios**

Se definieron unos puntos a evaluar y teniendo en cuenta los criterios anteriormente mencionados se desarrolla la programación en QTFuzzyLite de la siguiente manera:

- **Servicio:** Hace referencia a las relaciones con el proveedor como la rapidez para responder las inquietudes, correos y la atención al cliente.
- **Relación beneficio costo:** Satisfacción con la calidad del producto, teniendo en cuenta cuanto pago por el producto o servicio y el resultado que recibió.
- **Entregas:** Cumplimiento de los plazos planteados en las cotizaciones o retrasos en las entregas.
- **Piezas defectuosas:** Cantidad de piezas con defectos por cada lote de producción.

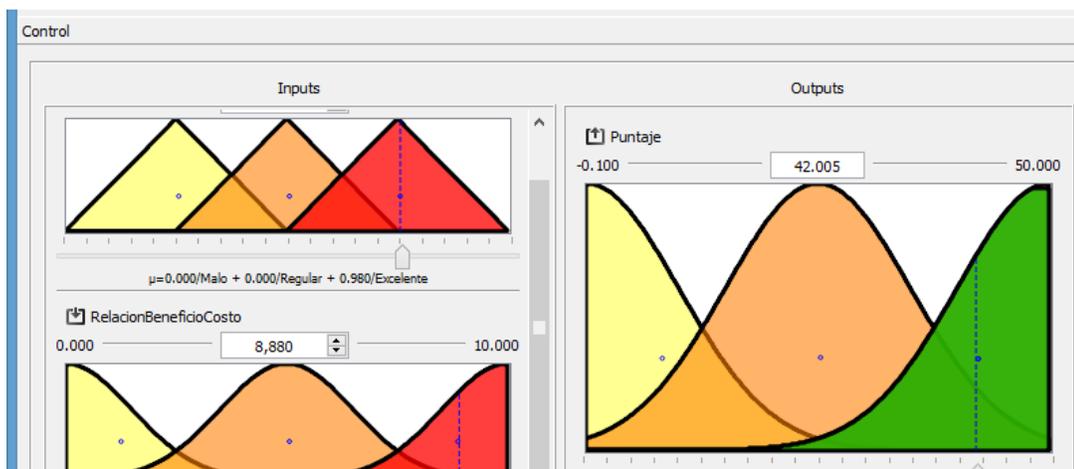
Teniendo en cuenta los puntos a evaluar y los criterios se define un puntaje de la evaluación, como se muestra en la imagen7:

- **Proveedor aceptado:** cuando la calificación de un proveedor sea 40 o mayor será resaltado en la base de datos, lo que indicara a los nuevos usuarios de la metodología de selección que se ha tenido una buena experiencia con este proveedor. También se sugiere que el evaluador ponga una nota donde haga las aclaraciones que crea pertinentes y que pueda a otros usuarios.
- **Proveedor provisional:** Se denomina así al proveedor que tenga una calificación entre 30 y 40, se deben tomar medidas para ayudar a mejorar el proveedor y si el responde que no tiene como superar las dificultades se debe buscar un nuevo proveedor
- **Proveedor rechazado:** el proveedor tiene una calificación entre 0 y 30, esto quiere decir que no se cumplen con las expectativas del usuario y por tanto no se recomienda a otras personas contratar con este proveedor.



**Imagen 7. Criterios de puntuación de la evaluación**

Como paso final de la evaluación de proveedores se debe ingresar al programa y en la pestaña de control se deben calificar cada ítem de la evaluación. En la imagen 8 se muestra como hacer la evaluación.



**Imagen 8. Evaluando al proveedor**

En la imagen 9 se muestra como queda registrada la evaluación del proveedor.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	RAZON SOCIAL	Estado	Promedio	Evaluacion 1	Ecaluacion 2	Evaluacion 2	Ecaluacion 3	Evaluacion 3
2	Ejemplo Evaluacion	Aceptado	42	42,05				
3	A.G. ALFA INGENIERIA							
4	ACERIAS PAZ DEL RIO S.A				Descripcion de el servicio o producto que se compro, cuantas unidades se encargaron y como fue la respuesta del proveedor.			
5	ACEROS INDUSTRIALES S.A.							
6	ACEROS MAPA S.A.							
7	ACINOX S.A.							

**Imagen 9. Ejemplo de registro de evaluación de proveedores**

La matriz permite que el emprendedor pueda asignar el orden de importancia de los criterios siendo **1 el más importante** y **8 el menos importante**; seguido a esto automáticamente dará la ponderación a los criterios, como se ve en la tabla 11. En la matriz personalizada por peso, el emprendedor puede asignar el porcentaje de importancia a cada criterio teniendo en cuenta que la suma de los pesos debe ser igual a 1.

Criterio	Orden	Valor	Peso
Precio	4	5	13,889%
Descuento por volumen	5	4	11,111%
Plazo de pago	7	2	5,556%
Certificaciones	3	6	16,667%
Tiempo de garantía	2	7	19,444%
Tolerancias	1	8	22,222%
Plazo de entrega	6	3	8,333%
Transporte	8	1	2,778%

**Tabla 11. Ejemplo de evaluación de criterios**

El modelo de selección tiene un espacio donde se deben ingresar los datos para las cotizaciones, que permitirán que un proceso de normalización establezca y entregue como resultado cual es la mejor cotización. En la tabla 12 se muestra un ejemplo donde se ingresan datos ficticios suponiendo tres cotizaciones.

	Precio	Tolerancia	Plazo de entrega	Transporte	Descuento por volumen	Plazo de pago	Certificación	Tiempo de garantía
Alternativa 1	1000	0,04	80	400000	5	30	No	12
Alternativa 2	1200	0,5	60	400000	7	60	Si	10
Alternativa 3	1500	0,00004	120	400000	3	90	Si	20

**Tabla 12. Ejemplo de ingreso de datos de cotizaciones**

Luego de este paso, el modelo automáticamente genera unos resultados en porcentajes con base en los datos ya ingresados, como se ve en la tabla 13.

	Precio	Tolerancia	Plazo de entrega	Transporte	Descuento por volumen	Plazo de pago	Certificación	Tiempo de garantía
<b>ALTN 1</b>	0,270	0,079993601	0,307692	0,33333	0,33333	0,1666	0	0,28571
<b>ALTN 2</b>	0,324	0,999920006	0,230769	0,33333	0,46666	0,3333	0,5	0,23809
<b>ALTN 3</b>	0,405	7,99936E-05	0,461538	0,33333	0,2	0,5	0,5	0,47619

**Tabla 13. Ejemplo de ponderación de datos de las cotizaciones**

Las matrices indican el puntaje obtenido de las alternativas en cada uno de los ítems evaluados, y dependiendo de la prioridad del emprendedor (en este caso precio) arroja la alternativa ganadora, además de indicar la ganadora en el escenario de tiempo y calidad, como se ve en la tabla 14.

<b>Puntaje 1</b>	28,81784815
<b>Puntaje 2</b>	33,82341727
<b>Puntaje 3</b>	37,35873458
<b>Alternativa Ganadora</b>	Alternativa 3
<b>Alternativa por Tiempo</b>	Alternativa 2
<b>Alternativa por Calidad</b>	Alternativa 3

**Tabla 14. Resultado de ponderación de datos de las cotizaciones**

La alternativa con mayor puntaje será la ganadora. En el caso anterior, se puede ver que para el criterio precio, la alternativa ganadora no fue la de menor costo, pues los demás criterios evaluados tienen tan bajo puntaje que afectan directamente los resultados finales de la alternativa.

- **Paso a paso MSEP**

El modelo de selección y evaluación (MSEP), usado para la correcta selección de proveedores propuesto anteriormente, consta de tres pasos:

1. Búsqueda de Proveedores (uso de tabla proveedores definidos por proceso)
2. Cotizaciones (Acercamiento con el proveedor y conocimiento del producto)
3. Selección de proveedores. El modelo posibilita la selección de los proveedores que ofrezcan los mejores beneficios integralmente para la industrialización de un producto, sobre la base de una serie de criterios definidos.

El paso 3, Selección de Proveedores, establece el uso de la herramienta para evaluar las cotizaciones ya existentes y ofrecer un resultado equivalente a las necesidades que el emprendedor expone.

El emprendedor ingresa al modelo y hace uso de las matrices precalificadas para cada una de las prioridades, agregando a estas el orden (1 a 8) especificado para cada variable según su importancia (casilla orden), y en la pestaña de Personalizado por Orden especificaría la prioridad que desea evaluar (Tiempo-Calidad-Precio), como se muestra en la tabla 15.

Variable	Unidad de Medida	Orden	Peso
Precio	Pesos		
Tolerancia	Milímetros		
Plazo de entrega	Días		
Transporte	Pesos		
Descuento por volumen	Porcentaje		
Plazo de pago	Días		
Certificación	Catagórica		
Tiempo de garantía	Meses		

Personalizado por Orden ▾

Correr Sumulación

**Tabla 15. Matriz filtrada por orden**

Luego con base en el orden, automáticamente se genera el peso considerado de cada variable. El emprendedor puede manipular el peso de cada variable, siempre siendo coherente con la especificación de orden

Después de asignarle los valores a los criterios, se deben ingresar los valores de las cotizaciones, en la tabla 16 se muestra un ejemplo del formato. Aunque se sugiere hacer tres cotizaciones como mínimo, el programa permite el ingreso de más de tres. Es necesario aclarar que en el ingreso de valores no se deben hacer uso de signos como peso y porcentaje.

	Precio	Tolerancia	Plazo de entrega	Transporte	Descuento por volumen	Plazo de pago	Certificación	Tiempo de garantía	
Alternativa 1									
Alternativa 2									
Alternativa 3									

**Tabla 16. Ingreso de datos de cotizaciones**

Cuando haya completado los datos haga clic en correr simulación.

Variable	Unidad de Medida	Orden	Precio
Precio	1	1	22,22%
Tolerancia	6	6	8,33%
Plazo de entrega	5	5	11,11%
Transporte	4	4	13,89%
Descuento por volumen	2	2	19,44%
Plazo de pago	3	3	16,67%
Certificación	8	8	2,78%
Tiempo de garantía	7	7	5,56%

Precio

	Precio	Tolerancia	Plazo de entrega	Transporte	Descuento por volumen	Plazo de pago	Certificación	Tiempo de garantía
Alternativa 1	10	100	60	400000	5	30	0	12
Alternativa 2	1200	10	1	400000	7	60	1	4
Alternativa 3	1500	0,00004	120	400000	3	90	1	8

**Tabla 17. Ejemplo de tabla lista para correr simulación.**

Al correr la simulación el programa le indicará cual fue el puntaje de cada cotización que recibió, como se ve en la tabla 17. En la parte inferior aparecerá que proveedor cumple de la mejor forma con las especificaciones planteadas, y finalmente mostrará la cotización ganadora, como se ve en la tabla 18.

Puntaje 1	38,74115347
Puntaje 2	32,59666427
Puntaje 3	28,66218226
Alternativa Ganadora	Alternativa 1
Alternativa por Tiempo	Alternativa 2
Alternativa por Calidad	Alternativa 3

**Tabla 18. Ejemplo de resultados de simulación**

- **Proveedores y cotizaciones finales.**

La selección de proveedores se recomienda hacerla por medio de los procesos que el emprendedor necesita para su proyecto. Es primordial que él se dirija personalmente con el proveedor, conozca de servicios, precios y tiempos. Es indispensable estar enterado de la calidad que maneja la empresa y de sus estrategias de confidencialidad.

El proveedor estudia los planos dados por el emprendedor, y entrega una respuesta donde acepta o niega la solicitud. En caso de aceptarla adjunta una cotización con el precio de cada uno de los procesos y cuanto sería el costo total del proyecto; agrega los posibles tiempos de entrega y espera la autorización por parte del emprendedor para comenzar.

Con el uso del modelo MSEP el emprendedor puede ingresar mínimo tres de sus cotizaciones según las prioridades que tenga el proyecto (Tiempo-Calidad-Precio), y la herramienta arrojará la mejor opción.

### ***3.6.1.1.3 Calcular costo neto de producto con cotizaciones.***

A partir de la elección de los proveedores finales puede generarse una estimación de costo neto del producto en términos de materiales y procesos. Este estimado surge a partir de la

sumatoria de los costos finales de todas las cotizaciones. Es importante tener en cuenta que existen otros costos adicionales que deben asumirse, tales como transporte, distribución, salarios, materiales indirectos, impuestos, certificaciones, gastos de administración de comercialización, entre otros. Los cuales varían según el modelo de negocio que se esté trabajando.

#### ***3.6.1.1.4 Calcular utilidad***

Un modelo de negocio describe la base lógica mediante la cual una organización crea, entrega y captura el valor; es la lógica mediante la cual una compañía intenta hacer dinero. Es por esto que pueden existir tantos modelos de negocio como empresas, en la medida en que siempre pueden encontrarse nuevas e innovadoras maneras de hacer negocios.

Cada modelo de negocios tiene una estructura de costos diferente, no obstante estos costos pueden calcularse en cualquier modelo de manera relativamente fácil si se tienen definidos los recursos claves, las actividades clave y las alianzas o asociaciones claves. (Osterwalder, 2010)

Inicialmente se plantea que se estime un valor que llamaremos “margen de ganancia” que consiste en restarle al precio de venta inicialmente planteado, el costo neto de las cotizaciones encontrado en el punto anterior, esto se puede ver en la ecuación 1.

$$Mg = Pv - Cn$$

#### **Ecuación 1. Margen de ganancia**

Dónde:

**Mg**= Margen de ganancia

**Pv**= Precio de venta

**Cn**= Costo neto a partir de la sumatoria de todas las cotizaciones

Si el margen es negativo, indica que el producto generará pérdidas, por lo que será necesario modificar alguno de los valores de la ecuación ya sea subiendo el precio de venta o reduciendo el costo neto, modificando proveedores y por lo tanto cotizaciones.

Por el contrario si el resultado es positivo, significa que el producto puede generar ganancias, sin embargo a ese margen se deben restarle otros costos, los cuales se mencionaron anteriormente, que dependen del modelo de negocio con el que se está trabajando.

A continuación, se plantean unas fórmulas que pueden ayudar a estimar las utilidades reales de la venta del lote de productos a producir, teniendo en cuenta todos los costos que implica el diseño, producción y venta del producto en cuestión; para esto se necesita saber el precio de venta, el cual se puede hallar a partir de la ecuación 2.

$$\text{Precio de venta} = P = \frac{1}{N_{pm}} (C_{pm} + C_{sa} + P_r)$$

**Ecuación 2. Precio de venta**

Dónde:

**P**= Precio de venta.

**N<sub>pm</sub>**= Número total de unidades producidas durante el ciclo de vida del producto.

**C<sub>pm</sub>**= Costo total del fabricante para producir N<sub>pm</sub> unidades.

**C<sub>sa</sub>**= Costo de hacer la venta al cliente. Incluye costos de marketing y publicidad, transporte, espacio en estantería, salarios de vendedores y descuentos.

**Pr**= Acumulación de todas las ganancias en todas las unidades, cargadas por cada entidad individual involucrada en la cadena de distribución: Fabricante, distribuidor y detallista (Vendedor).

La ecuación anterior se puede despejar en la ecuación 3 para encontrar las ganancias netas y adicionalmente la ecuación 3 se puede despejar para así encontrar el costo total del fabricante, como se muestra en la ecuación 4.

$$Pr = (P * N_{pm}) - C_{pm} - C_{sa}$$

### **Ecuación 3. Ganancia neta**

$$C_{pm} = N_{pm}(C_M + C_L + C_c + C_W) + C_T + C_{OH} + C_D + C_{WR} + C_Q$$

### **Ecuación 4. Costo total del fabricante**

Dónde:

**C<sub>M</sub>**= Costos del material por unidad.

**Cl**= Costo laboral de manufactura y ensamble por unidad.

**Cc**= Costo de capital por unidad no incluido anteriormente. (Ejemplo: Equipos e infraestructura).

**Cw**= Disposición de desechos por unidad, incluyendo manejo de desechos peligrosos y no peligrosos generados durante el proceso de manufactura.

**Cr**= Costos en los que se incurre una sola vez que no estén incluidos en los costos arriba descritos. (Ejemplo: Costos de herramientas)

**Coh**= Costo indirecto de sobrecarga. (Ejemplos: Renta, gasolina, electricidad, salarios, impuestos, etc.)

**Cd**= Costo de diseño y desarrollo.

**Cwr**= Costos de soporte del ciclo de vida del producto.

**Cq**= Costos de calificación y certificación.

Encontrar la ganancia neta final permite tomar decisiones frente al proceso de industrialización elegido para producir el producto y al modelo de negocios con el que se está trabajando. Se puede definir si la ganancia modelada es la esperada o si debe hacerse cambios para obtener mejores utilidades.

### **3.6.1.1.5 Calcular eficiencia del diseño.**

A continuación se plantea utilizar una herramienta empleada en el método DFA de LUCAS, la cual permitirá analizar la funcionalidad de los componentes del producto.

Lo primero que se debe realizar, es dividir los componentes de su producto entre: esenciales (A) y no esenciales (B), para ello se sugiere utilizar el diagrama que se encuentra en el anexo 7.

A continuación debe medirse la eficiencia del diseño mediante la siguiente ecuación 5:

$$E = A \times 100 / (A + B)$$

#### **Ecuación 5. Eficiencia del diseño**

La eficiencia da cuenta del número de componentes útiles dentro del diseño, es decir, una eficiencia del 10% significa que de 10 componentes que tenga su diseño, sólo 1 es necesario, útil y realmente funcional.

Por tanto LUCAS propone que para tener un diseño óptimo, la eficiencia debe ser igual o mayor al 60%, recomendando así que para una eficiencia inferior a ese valor, se recurra al rediseño.

- **No se desea rediseñar**

Esta decisión la debe tomar el emprendedor basado en los cálculos anteriores. En caso de que la respuesta sea negativa dirigirse al punto 3.8, donde se explica el proceso de patente.

- **Optimizar y rediseñar**

Esta decisión la debe tomar el emprendedor basado en los cálculos anteriores. En caso de que la respuesta sea positiva dirigirse al punto 3.7, el cual propone herramientas para realizar este proceso.

### **3.6.1.2 No lo fabrican**

Si los proveedores no fabrican la pieza requerida, significa que existe una incongruencia entre las variables de material, proceso y forma. Por tanto, el paso a seguir consiste en modificar alguna(s) de estas variables, con el fin de obtener un proceso de manufactura viable para la industria local. Es por esto que se recomienda seguir con el punto 3.7.

### **3.6.2 Proceso no existente en base de datos**

Si después de hacer la búsqueda en la base de datos filtrada por proceso sin resultados satisfactorios hay dos posibilidades:

- Si se puede y se desea cambiar el proceso regresar al punto 3.5 para realizar de nuevo la caracterización del prototipo funcional.
- Si no se desea cambiar el proceso o no se puede, dirigirse al punto 3.8 para empezar un análisis a profundidad y saber si este proceso es patentable.

### **3.7 Optimización y rediseño**

Para el rediseño del prototipo se propone utilizar el DFM y el DFA. El DFM (Diseño para la manufactura) en relación con la optimización de cada componente del producto y la mejor selección de la pareja material-proceso. Además del DFA (Diseño para el ensamble) en relación a la estructura del producto, identificando las partes que pueden ser eliminadas, combinadas o rediseñadas.

Sin embargo, las herramientas que proponen el DFM y el DFA pueden entrar en conflicto: ya que en DFM se concentra en la simplificación de las piezas, mientras que el énfasis del DFA está en combinar partes para simplificar la estructura del producto. Por lo tanto, aplicar cualquiera de las metodologías por su cuenta puede llevar a falsas economías, por ejemplo, una pequeña reducción en costos de manufactura a costo de gigantescos incrementos en los costos de ensamble. (Holt y Barnes, 2010).

Se recomienda entonces que se apliquen herramientas tanto de DFM como de DFA para lograr un análisis completo del prototipo que permita un rediseño realmente eficiente que facilite el proceso de industrialización. Se plantea realizar primero un ejercicio de DFM y luego uno de DFA.

#### **3.7.1 DFM (Diseño para la manufactura)**

A continuación, se presentan una serie de herramientas que le ayudarán al emprendedor a plantear preguntas referentes al diseño de su prototipo, y en relación a la manufactura del mismo;

todo con el propósito de guiar un rediseño en el CAD que optimice la manufactura del prototipo final, sin cambiar su funcionalidad o estética general. (Swift, 2003)

### **3.7.1.1 Recomendaciones**

Inicialmente se recomienda leer la siguiente lista de reglas de diseño para lograr un efectivo DFM:

- Minimizar el número total de partes.
- Estandarizar componentes.
- Usar partes comunes en diferentes líneas de producto.
- Estandarizar características de diseño (diámetros de agujeros, tipos de roscas, radios de dobléz, etc.)
- Mantener diseños funcionales y simples.
- Diseñar partes para que sean multifuncionales.
- Diseñar partes que sean fáciles de fabricar (sin sacrificar funcionalidad).
- Evitar tolerancias excesivas.
- Minimizar las operaciones secundarias y terciarias.
- Utilizar las características especiales de algunos procesos.
- Separar los agujeros en partes maquinadas, fundidas, moldeadas o estampadas, de modo que se puedan obtener en una sola operación sin debilitar la pieza.
- Evitar especificaciones generales en los planos, como “pulir esta superficie”.
- Las dimensiones se deben especificar desde superficies o puntos específicos de la parte, y no desde el espacio.

- Las dimensiones deben utilizar el menor número de superficies o puntos de referencia.
- El diseño debe procurar el menor peso con el cumplimiento de los requerimientos de resistencia y rigidez.
- Diseñar herramientas de uso general (a excepción de altos volúmenes de producción).
- Utilizar redondeos y chaflanes “generosos” en piezas moldeadas, formadas y maquinadas.
- Tratar de realizar el mayor número de operaciones de fabricación sin necesidad de reorientar la parte.

### **3.7.1.2 Herramientas**

#### **3.7.1.2.1 Índice de Manufacturabilidad (Mi)**

Para el análisis del DFM se recomienda inicialmente calcular el índice de manufacturabilidad del prototipo por medio de la ecuación 6, ya que es una herramienta que permite “calcular el efecto de la complejidad de la parte vs la reducción de las partes”. Por tanto es una herramienta que permite tener en cuenta el ensamble y la manufactura al mismo tiempo para guiar un rediseño integral, el Mi se calcula para cada pieza del producto:

$$Mi = V \times Cmt \times Wc + Rc \times Pc$$

#### **Ecuación 6. Índice de Manufacturabilidad**

Dónde:

**Mi**= Índice de manufacturabilidad.

**V**= Volumen final del componente (mm<sup>3</sup>).

**Cmt**= Costo del material por unidad de volumen (\$/mm<sup>3</sup>).

**Wc**= Coeficiente de desperdicio.

**Rc**= Coeficiente Costo relativo.

**Pc**= Costo proceso base.

Tanto el volumen del componente (V) como el costo del material (Cmt) pueden obtenerse del diseño CAD y de las cotizaciones anteriormente realizadas. Si el volumen del componente que se tiene incluye el volumen del bloque de material requerido para la fabricación, el coeficiente de desperdicio (Wc) puede ignorarse, sin embargo si no se conoce el volumen del material de desperdicio, debe calcularse el Wc; El coeficiente de desperdicio se refiere al volumen total de material necesario para fabricar el componente *incluyendo el material de desperdicio*, puede calcularse de la siguiente forma:

Inicialmente debe clasificarse la forma del componente como A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2, B3, B4, B5, C1, C2, C3, C4 o C5 utilizando las tablas en los anexos 8, 9 y 10.

A continuación debe determinarse el coeficiente de desperdicio a partir de la tabla en el anexo 11, en la que se busca por tipo de componente y proceso de manufactura.

El costo del proceso base  $P_c$  es un valor que depende del proceso, e incluye costos de todo tipo como, equipo e instalación, costos de operación (mano de obra, jornadas de trabajo, supervisión, suministros y costos fijos, etc.), tiempos de procesamiento, costos de herramientas (compra o fabricación), demanda de componentes, entre otros.

En esta metodología se determinará el  $P_c$  mediante una gráfica que se puede ver el anexo 12, teniendo en cuenta únicamente el proceso de manufactura y la cantidad de componentes a producir en una base anual, todo enfocado a un estándar idealizado.

El coeficiente de costo relativo ( $R_c$ ) permite conocer los sobrecostos implicados al producir un componente con características más demandantes que el “diseño ideal”. Este puede obtenerse mediante la ecuación 7.

$$R_c = C_c \times C_{mp} \times C_s(C_t \text{ ó } C_f)$$

#### **Ecuación 7. Coeficiente de costo relativo**

Dónde:

**$R_c$** = Coeficiente de costo relativo.

**$C_c$** = Complejidad geométrica.

**$C_{mp}$** = Conveniencia de la pareja material-proceso.

**$C_s$** = Sección mínima.

**$C_t$** = Requisitos de tolerancias.

**$C_f$** = Requisitos de acabado superficial.

La complejidad de la forma (Cc) puede obtenerse mediante la tabla en el anexo 13, considerando la forma del componente (A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2, B3, B4, B5, C1, C2, C3, C4 o C5) obtenida anteriormente, y considerando el proceso de manufactura de la parte.

La conveniencia de la pareja material-proceso (Cmp) indica la viabilidad de la manufactura planteada y puede obtenerse mediante la tabla en el anexo 14 mirando para cada componente tanto el material como el proceso de manufactura:

La sección mínima (Cs) consiste en relacionar la sección mínima de la pieza en relación con el proceso de manufactura para identificar el grado de dificultad que representa obtener dichas características mediante dicho proceso, esto se puede ver en la tabla del anexo 15.

Los requisitos de tolerancias (Ct) corresponden a la dificultad de obtener un determinado valor de tolerancia para un proceso de manufactura específico. Puede encontrarse utilizando la tabla en el anexo 16 y teniendo en cuenta el proceso, el valor de tolerancia requerido y el número de ejes o planos ortogonales 1, 2, 3 ó más, en los cuales se encuentran las tolerancias críticas y que no pueden obtenerse desde una sola dirección usando el proceso de manufactura.

El mismo proceso realizado para encontrar los requisitos de tolerancias debe seguirse para identificar los requisitos de acabado superficial (Cf), es importante resaltar que no toda pieza debe tener ambos requisitos (Ct y Cf), puede ser alguno, ambos o ninguno. Esto se puede ver en la tabla del anexo 17.

Finalmente, cuando se obtiene el Mi para cada componente del diseño, deben sumarse todos con el fin de obtener el índice de manufacturabilidad del diseño total, este valor se comparará al final de este punto con el índice de manufacturabilidad del prototipo rediseñado.

Se recomienda realizar una hoja de cálculo o plantilla con todas las ecuaciones necesarias, para facilitar el proceso.

El ideal es que el índice de manufacturabilidad tienda a reducirse, ya que al tratarse de una estructura de costos, lo que se busca finalmente es reducir los mismos.

### **3.7.1.2.2 Capacidades del proceso**

Se sugiere considerar dos tablas (Anexos 18 y 19). La primera para verificar que las características de la pieza cumplen las especificaciones de diseño del proceso. Lo anterior, partiendo de la tabla en el anexo 18 (Limitaciones del proceso) donde pueden realizarse cambios en las características referentes al tamaño, tolerancia o acabado; además de la forma de la pieza. Se evidencian también, limitantes antes no consideradas que pueden incurrir en cambios del diseño o proceso, entrando en un ciclo de rediseño que recurre constantemente a la tabla para verificación de los cambios en la forma y de las capacidades del proceso.

Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Generalmente es más económico hacer el mejor uso de las capacidades del proceso inicial de manufactura y lograr la mayor cantidad de atributos posibles.
- Muchas combinaciones entre procesos y materiales no son posibles
- Muchas combinaciones de procesos no son posibles.
- Algunos procesos afectan sólo un atributo de la parte, en particular los tratamientos térmicos y superficiales.

- La secuencia de los procesos tienen un orden natural de generación de la forma, la adición o refinación de características a través de la remoción de material y la mejora de las propiedades de material.

La siguiente tabla se empleará tanto para corroborar la compatibilidad entre material y proceso, como para buscar la posibilidad obtener una mejor combinación entre estas dos variables, que permita el incremento de la eficiencia de la manufactura de la pieza, esta se puede ver en el anexo 19.

### **3.7.2 DFA (Diseño para el ensamble)**

A continuación, se presentan una serie de herramientas que le ayudarán al emprendedor en el planteamiento de preguntas referentes al ensamble del prototipo, y en relación a la manufactura del mismo; todo con el propósito de guiar un rediseño en el CAD que optimice el ensamble del prototipo final, sin cambiar su funcionalidad o estética general. (Swift, 2003)

#### **3.7.2.1 Recomendaciones.**

Reglas de diseño para lograr un efectivo DFA:

- Minimizar el número de partes.
- Minimizar la variabilidad de las partes.
- Desarrollar componentes multifunción.
- Estimular el ensamble modular.

- Usar materiales y componentes estándar.
- Evitar que el trabajador deba tomar decisiones o realizar ajustes.
- Diseñar partes a prueba de errores.
- Asegurar la accesibilidad y la visibilidad.
- Facilitar el acceso de las herramientas.
- Evitar el uso de herramientas de ensamble y calibradores, diseñando piezas que se auto posicionen y auto bloqueen.
- Evitar o minimizar la necesidad de orientar las partes.
- Evitar los tornillos.
- Si los tornillos son necesarios, unificar los tipos y formas de la punta.
- Diseñar partes que encajen juntas o que se unan a presión.
- Las partes deben ser uniformes, de alta calidad y tener tolerancias estrechas para evitar tiempos inactivos debidos a piezas incompatibles o defectos de manufactura.
- Evitar partes frágiles, flexibles, abrasivas, resbaladizas, pequeñas, cortantes, etc.
- Usar partes con la suficiente rigidez y resistencia que puedan alimentarse automáticamente a la línea de montaje.
- Diseño de sujeciones.
- Diseño de partes para manipulación e inserción.

### 3.7.2.2 Herramientas del método de LUCAS

Para el análisis del ensamble se utilizarán 2 herramientas de la metodología de LUCAS, el análisis de manipulación y alimentación, y el análisis de ajuste e inserción.

La tabla 19 presenta una plantilla que facilita la suma de resultados en el análisis:

Nombre del componente	Número #	Análisis de manipulación y alimentación				Análisis de ajuste e inserción						
		A	B	C	D	A	B	C	D	E	F	
TOTAL												

**Tabla 19. Plantilla para análisis del ensamble**

#### 3.7.2.2.1 Análisis de manipulación y alimentación

Para cada componente se realiza el siguiente análisis, asignando un valor para A, B, C y D, según las tablas del anexo 20.

Al final debe hacerse la sumatoria de  $A+B+C+D = H_i$  para cada componente, los componentes que presenten  $H_i > 1.5$ , deberán ser considerados para rediseño.

Debe realizarse también el cálculo general de la relación entre manipulación y alimentación para el diseño completo, este se conoce como H y debe ser menor a 2.5 ( $H < 2.5$ ), esto se puede ver en la ecuación 8.

$H = \text{Sumatoria de índices de manipulación} / \# \text{ de partes esenciales.}$

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{A}$$

### **Ecuación 8. Manipulación y alimentación**

#### **3.7.2.2.2 Análisis de ajuste e inserción**

Para cada componente se realiza el siguiente análisis, asignando un valor para A, B, C, D, E, F y el índice de operaciones secundarias, según las tablas del anexo 21.

Al final debe hacerse la sumatoria de A+B+C+D+F+ (índice de operaciones secundarias) =  $F_i$  para cada componente, los componentes que presenten  $F_i > 1.5$ , deberán ser considerados para rediseño.

Debe realizarse también el cálculo general de la relación entre ajuste e inserción para el diseño completo, este se conoce como F y debe ser menor a 2.5 ( $F < 2.5$ ), este calculo se hace con la ecuación 9.

$F = (\text{Sumatoria de índices de ajuste} + \text{Índice de operaciones secundarias}) / \# \text{ de partes esenciales (A)}$

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Índice\_inserción}_i + \text{Índice\_OpSec}_i)}{A}$$

### **Ecuación 9. Ajuste e inserción**

### **3.7.2.2.3 Rediseño y comparación**

Finalmente con las recomendaciones de los dos puntos anteriores se procede al proceso de rediseño en el CAD, el cuál puede incluir eliminación y rediseño de componentes. Una vez se termina este proceso se recomienda repetir los puntos (3.7.2.2.1 y 3.7.2.2.2) para el nuevo diseño, para comparar resultados y evidenciar si se logró optimizar o no el diseño. Este proceso puede repetirse cuantas veces sea necesario hasta que se llegue a un resultado satisfactorio.

### **3.7.2.2.4 Verificación final de rediseño**

Finalmente se recomienda calcular el índice de manufacturabilidad para el nuevo diseño, evaluando si en efecto se redujeron los costos de industrialización. (Punto 3.7.1.2.1)

Puede calcularse así mismo la eficiencia del diseño para evidenciar que efectos tuvo el rediseño sobre la funcionalidad de los componentes. (Punto 3.6.1.1.5)

## **3.7.3 CAD final**

En este punto debe llegarse a la modelación CAD final del prototipo rediseñado, con todo el diseño de detalle incluido.

Después de los cambios efectuados en el diseño, debe analizarse si estos fueron tan relevantes que la esencia del producto inicial haya cambiado, o si se mantiene a pesar del rediseño; puede ocurrir una de dos cosas:

- Que no se hayan obtenido cambios significativos en la estética ni cambios funcionales de ningún tipo. Esto indica que debemos regresar al punto 3.5 y continuar desde ahí la metodología.

- Si hay cambios significativos en la estética o cualquier cambio funcional se debe construir un nuevo prototipo funcional y volver al punto 3.1.

### **3.8 Proceso de patentamiento.**

Para que una invención o grupos de invenciones, puedan ser protegidas mediante patentes, el proyecto desarrollado debe tener una ventaja en comparación con lo ya conocido y debe solucionar un problema técnico. Es importante analizar los costos y beneficios para patentar un invento, ya que requiere una inversión importante.

#### **3.8.1 Introducción a patentes**

Una patente es un título de propiedad otorgado por el gobierno de un país, que da a su titular el derecho a impedir por un tiempo determinado a otros la fabricación, venta y/o utilización comercial de la invención protegida. A cambio de la protección que el Estado concede al inventor, éste debe revelar detalladamente la manera de producir y utilizar la invención.

Una invención debe, por lo general, satisfacer diferentes condiciones para ser protegida. Por lo tanto se debe tener en cuenta qué no se considera invención y qué no es patentable, además de qué puede ser objeto de una patente de invención o una patente de Modelo de Utilidad.

En Colombia la legislación contiene una lista de lo que no se considera invención:

- Los descubrimientos, las teorías científicas y los métodos matemáticos.
- Los seres vivos o una parte de él tal como se encuentran en la naturaleza.
- Los procesos biológicos naturales, el material biológico existente en la naturaleza o aquel que pueda ser aislado, inclusive genoma o germoplasma de cualquier ser vivo.
- Las obras literarias y artísticas.

La legislación también contempla distintas invenciones en las que no es posible la patentabilidad:

- Las invenciones, cuya explotación comercial deba impedirse necesariamente para lo siguiente:
- Proteger el orden público, o la moral:
  - Proteger la salud, o la vida de las personas y los animales.
  - Preservar los vegetales.
  - Evitar daños al medio ambiente.
- Los métodos de diagnóstico, terapéuticos y quirúrgicos para el tratamiento de las personas, o animales.
- Las plantas y los animales, y los procedimientos esencialmente biológicos para la producción de plantas y animales.
- Los usos y segundos usos para productos o procedimientos.

### **3.8.2 Tipos de patente.**

Existen dos tipos de protección, patente de invención y patente de modelo de Utilidad. La patente de invención protege todo proyecto que ofrece una nueva solución técnica y la patente de modelo de utilidad protege toda nueva forma, configuración o disposición de elementos, que permita un mejor o diferente funcionamiento, en el diagrama 4 se muestra el proceso.

Puede ser objeto de una Patente de Modelo de Utilidad un artefacto, una herramienta, un instrumento, un mecanismo, un aparato, un dispositivo o una parte del mismo. No se pueden

proteger como modelos de utilidad, los procedimientos, las obras plásticas, las arquitectónicas, ni los objetos que tienen únicamente carácter estético.

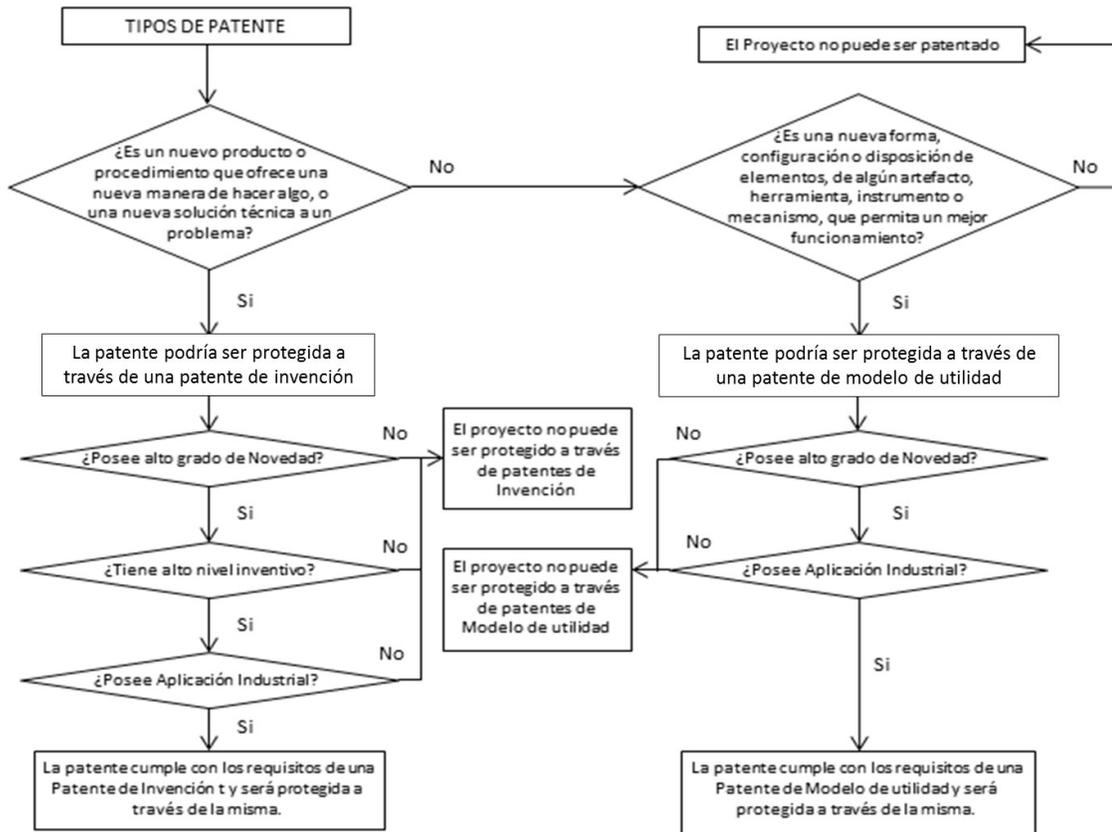


Diagrama 4. Tipos de patentes

### 3.8.3 Como solicitar una Patente.

En el diagrama 5 se encuentra el proceso de solicitud de una patente, con recomendaciones a tener en cuenta, enuncia toda la documentación necesaria para el proceso y tramites en general.

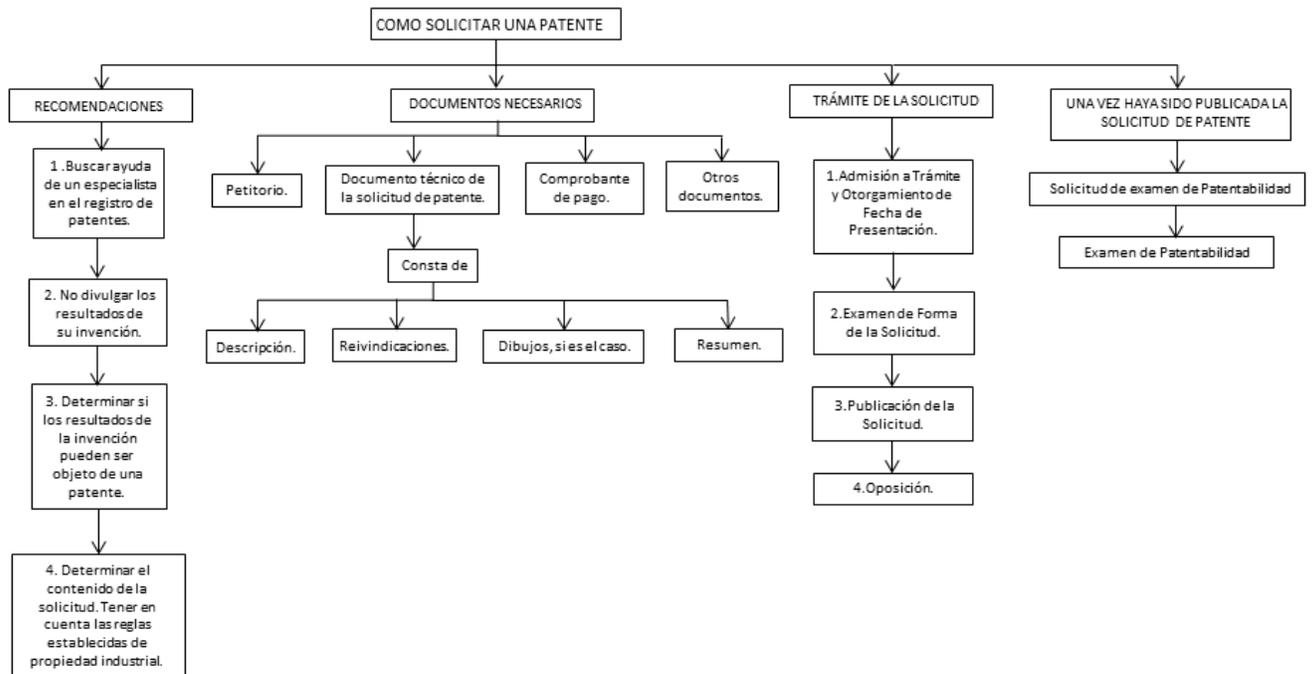


Diagrama 5. Como solicitar una patente

### 3.8.4 Recomendaciones

El solicitar una patente conlleva a una serie de consideraciones estratégicas, técnicas y financieras, ya que este proceso es complejo y costoso. El éxito de la solicitud depende de la redacción, es por esta razón que se recomienda seguir las siguientes instrucciones y si es necesario buscar ayuda de un especialista.

Existen una serie de recomendaciones antes de presentar una solicitud de patente:

- No divulgar los resultados de su invención. Mantener la confidencialidad.
- Determinar si los resultados de la invención pueden ser objeto de una patente.  
Realizar una búsqueda de anterioridades.

- Determinar el contenido de la solicitud. Tener en cuenta las reglas establecidas de propiedad industrial.

### **3.8.5 Documentos necesarios para la solicitud de patente**

Para la presentación de una solicitud de patente hay que aportar una serie de documentos, indicados de forma general en normativa de patentes

- Petitorio. Es el formulario mediante el cual se solicita formalmente la patente.
- Documento técnico de la solicitud de patente. Es donde el inventor describe de una manera detallada la invención.
- Comprobante de pago. Correspondiente a la tasa establecida por la presentación de la solicitud.
- Otros documentos, si es necesario

### **3.8.6 Redacción del documento técnico de una Solicitud de Patente**

- Descripción: debe divulgar la invención de manera clara y completa para su comprensión y debe proporcionar la información suficiente para obtenerla o reproducirla contando sólo con la información de la descripción de la patente.
- Reivindicaciones: son las características técnicas novedosas de la invención, para las cuales se reclama la protección legal mediante la patente.
- Dibujos, si es el caso: la finalidad principal de los dibujos o figuras es servir de apoyo para el entendimiento de la invención y del objeto reivindicado.

- Resumen: información breve sobre la invención permitiendo una fácil comprensión del problema técnico planteado, la solución aportada y los principales usos de la invención. Permite al lector, comprender rápidamente el carácter del tema tratado en la descripción técnica. El resumen servirá sólo para fines de información técnica y no tendrá efecto alguno para interpretar el alcance de la protección solicitada.

### **3.8.7 Forma de organizar la solicitud**

Una vez terminada la redacción de la descripción, reivindicaciones, resumen y se cuente con los dibujos necesarios, se debe organizar la solicitud para su presentación de la siguiente manera:

- Petitorio.
- Resumen.
- Descripción.
- Reivindicaciones.
- Dibujos.
- Comprobante de pago de la tasa de solicitud de patente.
- Otros documentos si son necesarios, esto depende del tipo de invención que quiere proteger.

Una vez se haya preparado la solicitud de patente, se debe presentar ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) colombiana, entidad encargada para el efecto.

### **3.8.8 Tramite de solicitud**

El procedimiento de concesión de una solicitud de patente, está sometido a una serie de requisitos formales de presentación, técnicos, plazos para los distintos trámites, publicación en la gaceta oficial, pago de tasas, etc. Por esto, el solicitante requiere tener un cierto conocimiento práctico de las normas legales vigentes y hacer un cuidadoso seguimiento del trámite, para no incumplir los plazos previstos.

#### **3.8.8.1 Admisión a Trámite y Otorgamiento de Fecha de Presentación.**

La solicitud se debe presentar ante la SIC, si cumple con los requisitos mínimos exigidos para que sea admitida a trámite se le asignará la fecha de presentación y el número de radicación mediante el cual se podrá identificar la solicitud.

#### **3.8.8.2 Examen de Forma de la Solicitud.**

Después de que ha sido admitida la solicitud, la entidad examina si cumple con los requisitos de forma establecidos en la legislación. Si no cumple, se requerirá al solicitante y se notificará por fijación en lista, para que complete la solicitud.

El solicitante tiene un período de tiempo a partir de la fecha de notificación para complementar su solicitud; este plazo puede ser prorrogado por una vez y por el mismo período. Si es una patente de invención el solicitante tiene 2 meses, pero si es una patente de modelo de utilidad solo tiene 1 mes.

### **3.8.8.3 Publicación de la Solicitud.**

La solicitud se publica en la Gaceta de Propiedad Industrial a los 18 meses para patentes de invención y 12 meses para patentes de modelo de utilidad, contados a partir de la fecha de presentación o cuando sea el caso, desde la fecha de prioridad invocada, una vez superados los requisitos de examen de forma.

### **3.8.8.4 Oposición.**

La publicación se realiza con el objeto de que terceras personas conozcan la solicitud de patente, para que "quien tenga legítimo interés, presente por una sola vez oposición fundamentada que pueda desvirtuar la patentabilidad de la invención".

Se da un plazo de 60 días contados a partir de la fecha de publicación, para que terceras personas presenten las oposiciones; dicho término es prorrogable por otros 60 días para que la oposición sea sustentada debidamente.

### **3.8.9 Solicitud de examen de patentabilidad**

Una vez haya sido publicada la solicitud de patente en la Gaceta de Propiedad Industrial, el solicitante debe pedir la realización del examen de patentabilidad. Para solicitar este examen se tiene un plazo de 6 meses, contados a partir de la fecha de publicación si se trata de una solicitud de Patente de Invención y 3 meses si se trata de una solicitud de Patente de Modelo de Utilidad.

### **3.8.10 Examen de patentabilidad**

La SIC examinará si la invención es patentable. Si encuentra que la invención no es patentable o no cumple con alguno de los requisitos establecidos para la concesión de la patente, se requerirá al solicitante volver a presentar el examen según sea necesario.

### **3.8.11 Solicitud de patentes en otros países**

Es indispensable también, conocer el procedimiento que debe ejecutarse al momento de realizar una solicitud de patente en otros países, es por esta razón que se visualiza la siguiente síntesis de Propiedad Industrial como herramienta que contribuye a apoyar e impulsar la divulgación de la innovación y actualización tecnológica a través de la difusión masiva del conocimiento y la promoción de la propiedad industrial, como bien mercantil generador de riqueza y empleo en Colombia. Así mismo, se esfuerza en explicar en términos simples la mejor manera de utilizar el sistema, bien como fuente de información tecnológica, bien como mecanismo de protección.

### **3.8.12 Generalidades**

Para proteger una invención en varios países, existen diferentes opciones:

- Se pueden presentar solicitudes de patente al mismo tiempo en todos los países en los que se desee proteger la invención.
- Se puede presentar una solicitud de patente en un país que haga parte del Convenio de París, y posteriormente en otros países parte del mismo dentro de un plazo de 12 meses.

- Se puede presentar una solicitud en virtud del PCT (Tratado de Cooperación en materia de Patente), que es un medio más simple, fácil y presenta mayores ventajas que las dos primeras opciones.

El PCT es un tratado internacional administrado por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) y suscrito por más de 135 países parte en el Convenio de París.

En líneas generales el procedimiento del PCT comprende las siguientes etapas:

- **Presentación:** Solicitud internacional, en cumplimiento de los requisitos de forma del PCT, en un idioma determinado y pagando un único conjunto de tasas.
- **Búsqueda Internacional:** Una administración identifica los documentos publicados que pueden influir en la patentabilidad de la invención y establece un dictamen sobre su posible patentabilidad.
- **Publicación Internacional:** El contenido se divulga a todo el mundo inmediatamente después de que expire el plazo de 18 meses contados a partir de la fecha de presentación más antigua.
- **Examen preliminar internacional:** Una administración realiza a petición del solicitante un nuevo examen de patentabilidad, normalmente sobre una versión modificada de la solicitud.
- **Fase Nacional:** Una vez finalizado el procedimiento, el solicitante solicita la concesión de la patente a las oficinas nacionales (o regionales) de patente de los países en los que se desee obtenerla.

### 3.8.13 Tratado de cooperación en materia de patente (PCT)

El PCT se conformó con el objetivo de simplificar la obtención de protección para las invenciones que se quieren proteger en varios países y facilitar el acceso de todos a las informaciones técnicas contenidas en los documentos de patente.

El Sistema del PCT es un Sistema de “presentación” de solicitudes de patente, no un sistema de “concesión” de patentes. En el diagrama 6 se puede ver todo el proceso de cómo realizar una solicitud internacional de patente.

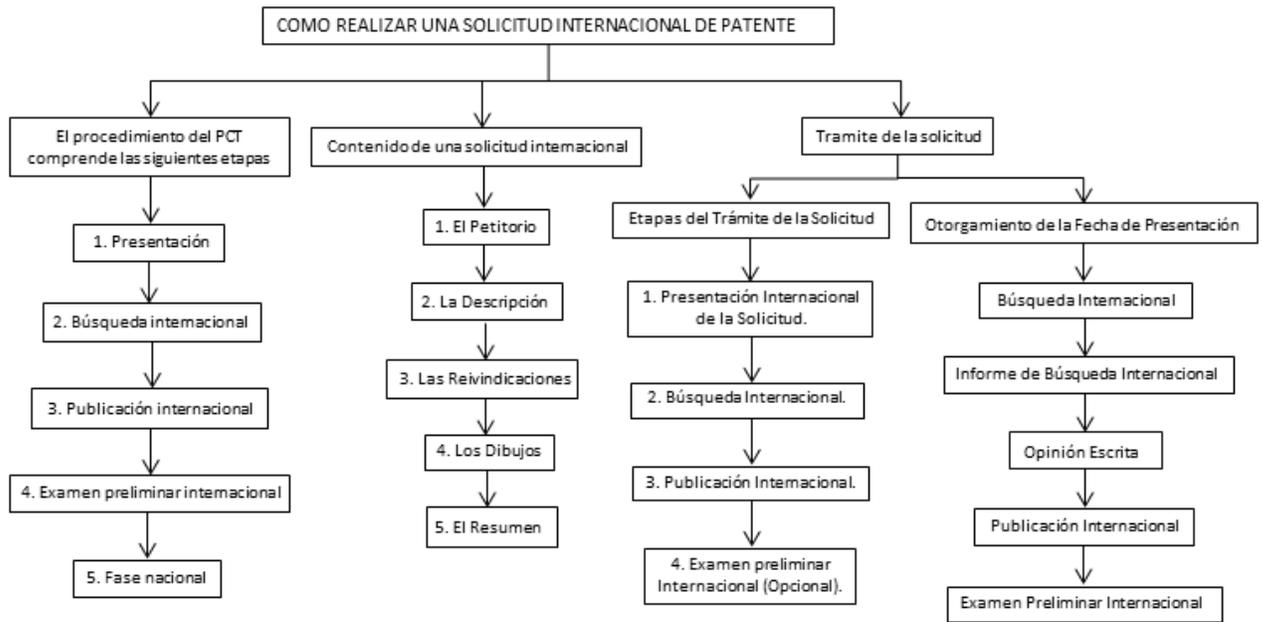


Diagrama 6. Solicitud internacional de patente

### **3.8.14 Fase internacional**

Se desarrolla en diferentes oficinas: la oficina receptora, la administración encargada de realizar la búsqueda Internacional, la oficina internacional y si el solicitante opta por solicitar el examen preliminar internacional, la administración encargada de dicho examen.

La Fase Internacional comprende:

- La presentación de la solicitud internacional: Se realiza luego de analizar la invención y cuando se desea solicitar protección no sólo en Colombia sino en otros países. Este proceso se lleva a cabo ante "La Oficina Receptora".
- La búsqueda internacional: Su objetivo es descubrir lo que se denomina el "Estado de la Técnica" es decir, todo aquello que se ha hecho accesible al público antes de la fecha de presentación de la solicitud. Las administraciones encargadas de las búsquedas internacionales son oficinas nacionales o intergubernamentales.
- La publicación internacional: Busca dar a conocer al público el objeto de la solicitud, es decir, el posible progreso tecnológico realizado en la invención y fija también el ámbito de protección que se puede obtener. Quien se encarga de dicha publicación es la oficina internacional (IB).
- El examen preliminar internacional (opcional del solicitante): Tiene como finalidad investigar si la invención es nueva, tiene nivel inventivo y es susceptible de aplicación industrial. Brinda la oportunidad de evaluar tanto las posibilidades de explotar comercialmente la invención como la probabilidad de que la solicitud supere satisfactoriamente la fase nacional o regional, antes de decidir si se debe

proceder con la fase nacional o regional e incurrir en gastos considerables por concepto de traducción, tasas nacionales y representación por mandatarios locales.

- Trámite de la Solicitud: Son las etapas que sigue la solicitud Internacional en la oficina receptora, en el caso colombiano, la OMPI.

#### **3.8.14.1 Solicitud internacional**

Las solicitudes de patente, en términos generales, tienen una estructura y contenido muy uniforme. La solicitud internacional, al igual que muchas otras, debe contener un petitorio, una descripción, reivindicaciones, dibujos (cuando sean necesarios) y un resumen; además debe cumplir con unos requisitos materiales establecidos. La solicitud internacional se compone de:

- El Petitorio: Mediante el petitorio se hace la petición formal para que la solicitud sea tramitada. Debe contener el título de la invención y los datos necesarios relativos al solicitante. Cuando se diligencia un petitorio automáticamente se designan todos los estados que pertenecen al Tratado en el momento de su diligenciamiento y a todos los tipos de protección disponibles en el momento.
- La Descripción: Deberá divulgar la invención de una manera suficientemente clara y completa para que pueda ser realizada por un experto en la materia.
- Las Reivindicaciones: Definen el objeto de la invención cuya protección se solicita. Estas deberán ser claras, y concisas y fundarse enteramente en la descripción.
- Los Dibujos: Su finalidad es contribuir a una mejor comprensión y divulgación de la invención. Deben estar explicados en la descripción, ser esquemáticos, libres de

detalles inútiles, leyendas y/o palabras, poniendo en evidencia lo esencial, o sea, las características de la invención.

- El Resumen: Consiste en una síntesis de la divulgación contenida en la descripción, las reivindicaciones y los dibujos, preferiblemente de 50 a 150 palabras. Debe redactarse de tal forma que permita una clara comprensión.
- Requisitos materiales de la solicitud internacional: Entre ellos, se encuentran el petitorio y la forma en que debe ser diligenciado, la forma de redactar la descripción, reivindicación o reivindicaciones, el resumen y la manera de presentar los dibujos (si es el caso) así como otros aspectos que se deben tener en cuenta.

Una vez se haya preparado la solicitud debe presentarse ante la oficina receptora, que para el caso colombiano es la OMPI. Así mismo para que se otorgue la fecha de presentación se debe cumplir con ciertos requisitos mínimos, entre ellos que el solicitante sea nacional o residente en el país, que la solicitud se presente en idioma español, y que esta contenga como mínimo la indicación de la intención de presentar su solicitud por el PCT, el nombre del solicitante, una descripción y una reivindicación. Las etapas del trámite de la solicitud son:

- Presentación Internacional de la Solicitud.
- Búsqueda Internacional.
- Publicación Internacional.
- Examen preliminar Internacional (Opcional).

### **3.8.15 Solicitud nacional.**

Es el proceso correspondiente a conceder o negar las patentes. Se lleva a cabo exclusivamente en las oficinas nacionales del país donde se requiere proteger la invención.

Luego del informe de búsqueda, la publicación internacional, el informe de examen preliminar y de haber tenido la posibilidad de modificar la solicitud, el solicitante puede decidir si continúa el procedimiento acudiendo a las oficinas nacionales (Fase nacional). Para tomar esta decisión se cuenta con un período de entre 20 a 31 meses, de acuerdo al país donde se desea llegar.

Durante este tiempo, también se puede realizar un estudio de mercado, el cual tiene como propósito económicamente en que países puede resultar estratégica la protección por patente.

Para poder entrar en la fase nacional, es necesario que el solicitante ejecute ciertos actos:

- Pagar la tasa nacional correspondiente.
- Cuando la solicitud no haya sido presentada ni publicada en el idioma oficial de la oficina a través de la cual se esté solicitando la protección, debe presentarse una traducción de la solicitud internacional en presentación original.

Para entrar a fase nacional en Colombia en primer lugar debe presentarse ante la SIC y debe cumplir con unos requisitos mínimos:

- Si la solicitud internacional fue depositada en idioma español, el solicitante debe presentar ante la Superintendencia, una copia de la solicitud internacional tal como fue presentada.

- Si la solicitud internacional no fue depositada en idioma español, el solicitante debe presentar ante la Superintendencia, una traducción al español de la solicitud internacional tal como fue presentada.
- Si como resultado del informe de búsqueda internacional el solicitante ha hecho modificaciones a las reivindicaciones, la traducción proporcionada por el solicitante debe contener las reivindicaciones tal como fueron presentadas inicialmente y tal como fueron modificadas.
- Si durante el examen preliminar internacional el solicitante ha hecho modificaciones a la descripción, reivindicaciones y resumen de la solicitud, el solicitante debe proporcionar la traducción de esas modificaciones (anexos).
- Se debe cancelar la tasa nacional establecida correspondiente al trámite en el momento de la presentación de la solicitud.

Si el solicitante no da cumplimiento a estos requisitos para entrar en la fase nacional en el plazo de 31 meses a partir de la fecha de la prioridad, la solicitud se considerará retirada.

Una vez se haya admitido a trámite la entidad realiza los siguientes pasos:

- Examen de Forma de la Solicitud: La solicitud se somete a un examen para verificar si contiene los requisitos previstos en la legislación nacional aplicables y admisibles de conformidad con el Tratado. Si cualquiera de los requisitos antes señalados no se cumplen al entrar en la fase nacional, la Superintendencia notifica al solicitante.

- **Publicación Nacional de la Solicitud:** La Superintendencia publica las solicitudes internacionales en idioma español cuando entran a la fase nacional, siempre que cumplan los requisitos establecidos. Esta publicación surte los mismos efectos que las publicaciones de las solicitudes nacionales.
- **Solicitud de Examen de Patentabilidad:** Dentro del plazo de seis meses siguientes a la publicación de la solicitud, el solicitante debe pedir que se examine si la invención es patentable. Para las solicitudes de patente de modelo de utilidad el plazo es de 3 meses. Esta petición de examen deberá acompañarse del comprobante de pago de la tasa respectiva.
- **Modificaciones a la Solicitud:** El solicitante puede modificar las reivindicaciones, la descripción y los dibujos presentados una vez entre a la fase nacional. A partir de este momento, lo podrá hacer en cualquier momento del trámite.
- **Unidad de Invención:** Si la Superintendencia encuentra justificados los requerimientos por falta de unidad de invención procede de conformidad con lo dispuesto en la Decisión 486 de 2000 para tales casos. Si el solicitante no paga las tasas respectivas a las solicitudes fraccionarias, la Superintendencia considera retiradas, sin necesidad de declaración, las partes de la solicitud internacional que no hayan sido objeto de búsqueda o de examen preliminar. Cuando en la solicitud internacional que ha entrado a la fase nacional se ha establecido un informe de búsqueda internacional o de examen preliminar internacional, el solicitante cancela, según el caso, una tasa de examen de patentabilidad a favor de la Superintendencia.
- **Examen de Fondo:** Si la Superintendencia encuentra que la invención no es patentable, o que no cumple con alguno de los requisitos establecidos en la Decisión

para la concesión de la patente, se notifica mediante fijación en lista. Si el examen definitivo es favorable, se otorga el título de la patente. Si fuere parcialmente favorable, se otorga el título solamente para las reivindicaciones aceptadas y si fuere desfavorable se deniega. Este acto administrativo debe ser notificado personalmente o por listado.

### **3.9 Planeación de producción**

Hasta este punto en la metodología se ha trabajado de manera extensiva los procesos industriales del producto en términos de su diseño, ingeniería, materiales y procesos. No obstante esto último sólo describe de manera parcial la producción de un producto, puesto que esta también se compone de las operaciones, y logística que posibilitan la obtención de éste. Esta metodología propone el uso de los diagramas de Gantt con el fin de mostrar gráficamente la “relación entre el rendimiento previsto y el rendimiento real” de cada una de las actividades o tareas que componen un proyecto en general.

#### **3.9.1 Introducción a la planeación de producción**

Los diagramas de Gantt “son una herramienta efectiva para resolver los problemas de programación de la producción, y tienen como finalidad conocer rápidamente si la producción estará a tiempo, antes de lo previsto o por el contrario si estará retrasada”. (Fang y Du, 2012)

Existen varios tipos de gráficos de Gantt, los cuales representan diferentes visiones de un sistema de fabricación, miden distintas unidades y siempre están representados por el tiempo. En este caso se propone el uso de los gráficos de programación o “schedule chart” ya que son empleados para la realización de un “trabajo específico donde se planifican y se realiza un seguimiento de las tareas necesarias para el progreso del proyecto”. (Herrmann, 2006)

En términos del proceso de Industrialización, los gráficos de programación pueden ser empleados en tareas tales como la planificación y organización de la totalidad de actividades que deben llevarse a cabo para el desarrollo del proyecto, evaluación de proveedores en términos de tiempo y entrega oportuna, además de la selección definitiva de proveedores o empresas

encargadas de la construcción del producto si se tiene un tiempo límite para la finalización del mismo.

Aunque los diagramas tienen diversos usos, tal y como se mencionan anteriormente, esta metodología recomienda que sean empleados exclusivamente en el control y planificación de la producción; Lo anterior debido a la necesidad de tener cierto orden en los tiempos de entrega que permitan la buena ejecución del proyecto, ya que es en esta fase del proceso donde se destinan trabajos a terceros y gran cantidad de actividades dependen de otros, lo que finalmente conlleva a la necesidad de tener control sobre cada una de ellas.

Por otro lado, los gráficos de programación pueden ser más útiles en esta fase ya que se hace necesario conocer el tiempo que tardan los proveedores en desarrollar las tareas que se les han asignado y así tener un tiempo estimado de finalización. Lo anterior debido a que los procesos de producción dependerán de otros y no de la persona o grupo de personas pertenecientes al grupo que realiza el proyecto, los cuales son capaces de controlar fácilmente el tiempo que gastarán en cada una de las fases.

### **3.9.2 Datos de entrada**

Para comenzar, es necesario tener ciertos datos de entrada, tales como las empresas que se encargarán de cada una de las actividades que componen el proyecto, la duración en tiempo que tardan cada una de ellas para realizar dichas tareas, además de la fecha de inicio y fecha límite del proyecto en general.

Para comprender con mayor claridad que es y cómo se realiza un diagrama de Gantt se expone el siguiente ejemplo el cual contiene la totalidad de tareas necesarias para el desarrollo de un proyecto específico.

El grafico surge de la tabla 20 que contiene los datos de entrada:

<b>Empresa</b>	<b>Tareas</b>	<b>Fecha Inicio</b>	<b>Duración (Días)</b>	<b>Fecha de Finalización</b>
Empresa 1	Corte de tubería	02/11/2013	3	05/11/2013
Empresa 2	Doblado de tubería	05/11/2013	2	07/11/2013
Empresa 3	Soldado de tubería	07/11/2013	5	12/11/2013
Empresa 4	Ensamble	12/11/2013	4	16/11/2013

**Tabla 20. Datos de entrada para ejemplo de diagrama de Gantt**

### **3.9.2.1 Fecha de inicio**

Esta fecha indica el día exacto en el cual la tarea debe comenzar a desarrollarse, algunas de ellas son independientes y pueden comenzar en la fecha que inicia el proyecto, otras necesitan de la finalización de una o varias actividades para poder ejecutarse.

### **3.9.2.2 Fecha límite**

Es el plazo disponible que se tiene en tiempo para llevar a cabo cada una de las tareas o actividades necesarias para la ejecución del proyecto.

### 3.9.2.3 Proveedores y cotizaciones

Son las empresas que se encargan de cada una de las actividades que componen el proyecto. Cada proveedor invierte determinado tiempo para la realización de dichas tareas. (Tomar los datos de proveedores y cotizaciones del punto 3.6.2.1.1.2.2)

### 3.9.3 Construir modelo de organización (Gantt/otro)

El diagrama 7 se construyó a partir de la información contenida en la tabla anterior.

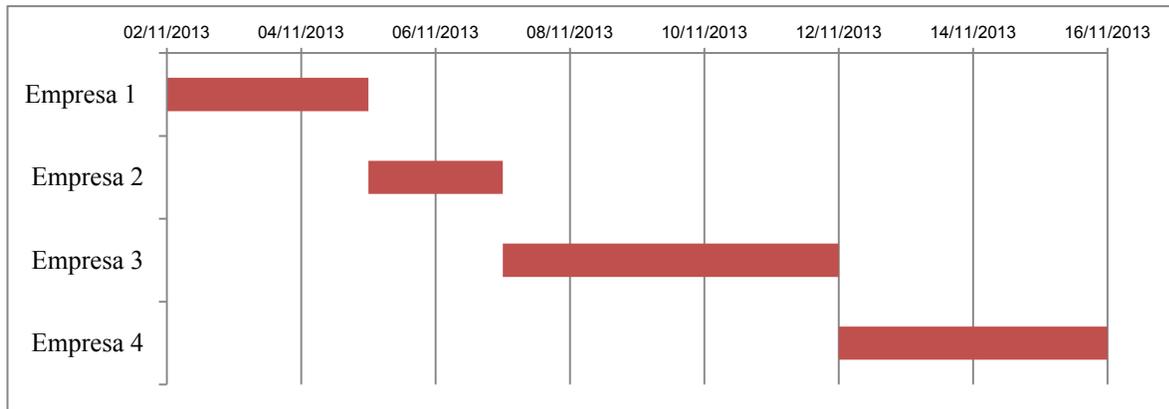


Diagrama 7. Ejemplo de modelo de organización

En el eje vertical izquierdo del gráfico, se encuentran cada una de las empresas destinadas a realizar cada una de las actividades necesarias para ejecutar la totalidad del proyecto tales como corte, doblado, soldado y finalmente ensamble de toda la tubería. Así mismo, a cada una de estas empresas, se le asigna una barra horizontal de color que corresponde a la duración en que debe ejecutarse la actividad a realizar.

El eje horizontal cuenta con un calendario, en el cual se define una unidad determinada de tiempo, esta depende del número de tareas requeridas o de la complejidad de las mismas, es por

esta razón que el calendario puede estar en unidades de tiempo tales como horas, días, semanas o meses.

En el gráfico anterior, se aprecia con claridad que cada una de las tareas depende de la finalización de otra para poder llevarse a cabo, es por lo anterior cada una de las barras horizontales de color indica cuando la actividad previa ha finalizado y así mismo cuando comenzará la siguiente ya que su longitud es proporcional a la duración. En otros casos se encuentran actividades que no dependen de otras para poder ejecutarse, por lo que las mismas comienzan cuando se inicia el calendario.

- Excede fecha límite: Por lo general, el proyecto debe desarrollarse en cierto tiempo y es por esta razón que se estima una fecha límite para la finalización de los procesos de producción realizados por las empresas externas. Si al realizar el diagrama de Gantt la fecha de finalización de las actividades excede la fecha límite estimada se puede recurrir a las siguientes opciones:
  - Cambiar fecha límite
  - Cambiar proveedores (Siguiendo proveedor con mejor calificación en el modelo MSEP, paso 3.6.2.1.1.2)
- Cumple fecha límite: Por el contrario si cumple con la fecha estimada para la finalización de las tareas, tanto los proveedores como la fecha límite permanecen y el Diagrama de Gantt es utilizado para supervisar que las empresas cumplan con el tiempo requerido para la realización de cada una de las actividades.

## **3.10 Producción**

### **3.10.1 Recomendaciones (Transporte, almacenamiento y personal)**

Es necesario tener en cuenta que existen costos adicionales, los cuales varían dependiendo del modelo de negocio con el que se está trabajando, e incluyen aspectos como el transporte, distribución, almacenamiento y personal.

Respecto al transporte, algunas empresas no cuentan con este servicio, por lo que se hace necesario contratar un tercero que lo realice. De igual forma, ciertos proveedores no incluyen en sus cotizaciones el servicio, por tal razón, se recomienda tener en cuenta el costo que representa desde un principio para no estimar valores erróneos de costo neto del producto. En otros casos, el servicio de transporte se incluye, siempre y cuando el valor supere uno que ya está estipulado por la misma empresa.

Por otro lado, se recomienda visualizar aspectos como el almacenamiento, pues luego de terminado el lote de producción, puede que no se cuente con el espacio necesario o indicado para las respectivas existencias por el tiempo estimado. De esta forma es preciso, alquilar bodegas o espacios suficientemente grandes o aptos para guardar la producción previamente realizada.

Como se dijo anteriormente, es indispensable, tener en cuenta si es o no necesario la contratación de personal para realizar trabajos o tareas durante el desarrollo de industrialización del producto. Es por esto, que antes de comenzar se deben evaluar cada una de las variables que intervienen en el proceso para tener en cuenta el valor que las mismas representan.

### **3.10.2 Confirmar producción a proveedores.**

Después de elegir los proveedores que realizarán los procesos necesarios para llevarse a cabo para la realización del proyecto, es necesario confirmar, para que sea posible comenzar con la producción y cumplir con los tiempos estimados para la correcta finalización del mismo.

### **3.10.3 Pruebas y evaluación del producto**

Se considera importante, como paso final de la metodología, probar el producto terminado, no para evaluar posibles cambios y mejoras al diseño, sino para evaluar tanto el desempeño como la efectividad de los proveedores. De esta forma se sugiere entonces que se dé una calificación a cada uno de los aspectos referentes a las piezas correspondientes a cada proveedor, para poder así evaluarlo y dejar constancia para futuros proyectos.

De esta forma se presenta la tabla 21, con el fin de evaluar estos aspectos y poder comparar diferentes proveedores respecto a los planos presentados por el grupo de diseño.

La tabla permite evaluar tres proveedores con una calificación en un rango de 1 a 3, siendo 1 el más bajo puntaje y 3 el más alto. De esta forma se puede entender que 1, simboliza malo, 2 bueno, y finalmente 3 muy bueno.

Es necesario, utilizar las mismas herramientas para la evaluación de los ítems, se recomienda el uso de la metrología para medir cada una de las variables de forma correcta y confiable además de especificar los elementos se utilizaron para realizar el respectivo análisis.

#	ÍTEMS A EVALUAR	Proveedor 1			Proveedor 2			Proveedor 3		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>1</b>	<b>Tolerancias Dimensionales</b>									
	Coherencia dimensional respecto a planos									
<b>2</b>	<b>Acabados</b>									
	Estética y calidad									
	Resistencia a la oxidación y corrosión									
	Rugosidad superficial									
<b>3</b>	<b>Calidad de los Materiales</b>									
	Durabilidad "comportamiento a largo plazo"									
	Coherencia con especificaciones del material									
<b>4</b>	<b>Ensamble</b>									
	Coherencia entre interfaces									
<b>5</b>	<b>Ajuste entre piezas móviles</b>									
	Buena Interacción entre piezas									
<b>6</b>	<b>Soldadura</b>									
	Soldadura homogénea									
	Soldadura con buena apariencia									
	Cordones Resistentes									
	Soldadura con acabado liso									
<b>7</b>	<b>Calidad de los componentes estándar</b>									
	Garantías									
	Coherencia con especificaciones del componente									

**Tabla 21. Evaluación de producto**

#### **4. Caso de estudio**

En segundo semestre del año 2011 el grupo de Investigación en Ingeniería de Diseño (GRID) en conjunto con el Centro de Administración Documental (CAD) y Rectoría plantearon desarrollar un proyecto que mejorara la entrega de la documentación y el puesto de trabajo de los empleados del CAD.

De acuerdo al crecimiento que ha tenido la universidad EAFIT (tanto en área física como en programas académicos) durante los últimos años y sumado a los diferentes cambios en cada una de las dependencias, se ha generado un incremento significativo en la documentación interna, lo cual representaba un problema para el Centro de Administración Documental (CAD) que debe garantizar que dicha documentación llegue a sus destinatarios de forma eficiente. En ese momento la documentación era entregada únicamente por empleados del CAD quienes realizaban los recorridos a pie. Esto, unido a las distancias que cada vez van en aumento, generaban un retraso en las actividades creando un impacto negativo a las labores de entrega de la documentación.

El Grupo de Investigación en Ingeniería de Diseño de Producto (GRID), en su línea de Investigación en Movilidad Eléctrica, junto con el Centro de Administración Documental (CAD) plantearon la realización de un prototipo de vehículo eléctrico que fuera amigable con el medio ambiente, diseñado para solucionar el problema de desplazamiento fuera de los edificios con el fin de minimizar los tiempos de entrega de la documentación, mejorando las condiciones del puesto de trabajo de los empleados encargados de la mensajería interna; permitiendo una rápida respuesta a eventualidades.

Este vehículo debía adaptarse a las condiciones de terreno del campus de la Universidad EAFIT, contando con una forma esbelta, la cual facilitaría el desplazamiento dentro de la misma, tratando de pasar desapercibido entre las personas que transitan por los mismos sectores, optimizando el desempeño de la entrega de documentación interna y cumpliendo así con sus tareas en tiempos más cortos.

Después de realizar todo un análisis de recorridos, terrenos, distancias, tiempos y pendientes dentro de la Universidad se obtuvieron los datos de entrada necesarios para comenzar con el diseño del vehículo eléctrico para el CAD. Uno de estos datos fue los 15 km de distancia que recorrían a diario. De estos 15 km totales se recorren 9.3 km en exteriores (por fuera de los bloques), eso equivale a un 62% del recorrido que ya no tendrían que hacer a pie; es por este motivo que se eligió diseñar un vehículo para hacer los recorridos al exterior de los bloques. Posterior a los datos recolectados en la primera fase de investigación se obtuvieron todas las especificaciones de diseño del producto (PDS) y se prosiguió con la etapa de diseño conceptual, en esta etapa se evaluaron diferentes componentes y mecanismos que podrían formar el vehículo eléctrico. Al obtener los resultados de las matrices de evaluación de los componentes se continuó con toda la etapa de cálculos de ingeniería, lo que comprende: cálculos de baterías, cálculos de motor y análisis de elementos finitos de las partes manufacturadas (chasis y mecanismos). Después de tener el diseño en una modelación 3D, el PDS y todos los cálculos de ingeniería, se prosiguió con la etapa de construcción de prototipo el cual no tenía los materiales reales pero si las dimensiones para estar seguros de tener una excelente ergonomía. Por último se inició con la etapa de construcción del prototipo real y en la imagen 10 se presenta el resultado.



Imagen 10. 1er Prototipo

A continuación se verá como este prototipo funcional fue sometido a cada uno de los pasos que comprende la metodología de industrialización y su resultado final.

#### 4.1 Análisis de prototipo.

De antemano se tenía totalmente claro que el prototipo que iba a iniciar el proceso de industrialización era totalmente funcional ya que tuvo un periodo de pruebas con los usuarios reales durante 6 meses, lo que correspondió al segundo semestre del 2012 y sigue en funcionamiento hasta el momento (2 años después).

#### 4.1.1 Filtro.

Se le dio respuesta a cada una de las preguntas que comprendía el filtro inicial de la metodología, como se ve en la tabla 22. Este filtro define si un prototipo es funcional o no y si puede iniciar el proceso de industrialización.

PREGUNTA	RESPUESTA
a. ¿El diseño del producto viola algún acuerdo de propiedad intelectual?	No
b. ¿Tiene un modelo físico del diseño?	Si
c. ¿Tiene proporciones geométricas y dimensionales reales?	Si
d. ¿Se construyó en materiales que permiten el correcto funcionamiento y operación del producto?	Si
e. ¿permite experimentar la operación del producto?	Si
f. ¿Permite probar y evaluar las funciones básicas en condiciones cercanas a la realidad?	Si
g. ¿El prototipo requiere para su construcción de partes procesadas importadas?	No

**Tabla 22. Filtro - Caso de estudio**

El resultado del filtro fue el esperado, se obtuvo que el prototipo si es funcional y podía continuar con el proceso de industrialización.

## **4.2 Evaluación de criterios de propiedad intelectual.**

En este paso se evaluó y analizó cada una de las recomendaciones que la metodología proponía.

### **4.2.1 Estado de la técnica:**

Este estudio demostró que existían algunos productos similares pero nada igual, lo que nos llevó a seguir trabajando paralelamente en la presentación formal de una patente de invención. Cabe mencionar que aún antes de iniciar con el proceso de industrialización de prototipos se hizo un registro de diseño industrial para el vehículo eléctrico. El nombre del respectivo registro fue: Vehículo eléctrico de tres ruedas, y el número es 13-108580.

### **4.2.2 Patente:**

Por tener certeza de que esta invención podía ser objeto de una futura patente nunca se mostró por fuera de las instalaciones de la Universidad EAFIT.

### **4.2.3 Carta de confidencialidad:**

Esta fue redactada por uno de los abogados de la Universidad EAFIT para evitar problemas legales en un futuro con las empresas a las que se tenía que mandar a cotizar.

### **4.3 Datos de entrada.**

#### **4.3.1 Lote.**

Se estimó inicialmente que para este tipo de producto había un mercado potencialmente pequeño, además de que no se tenía inicialmente gran capital a invertir para la producción de las primeras unidades.

Lote inicial= 10 Unidades.

#### **4.3.2 Capital estimado a invertir.**

Inicialmente se va a suponer que se tiene un capital de cincuenta millones de pesos. (\$50.000.000 COP)

#### **4.3.3 Precio de venta.**

Teniendo en cuenta que productos similares en el mercado están entre los \$18.000.000 COP y \$25.000.000 COP se definió que este producto se vendería en \$8.000.000 COP para poder competir fácilmente en precio con los productos importados y aun así tener un buen margen de ganancia.

#### **4.3.4 Modelación 3D.**

Este requisito se cumplía a la perfección ya que al hacer el diseño del vehículo se hizo mucho énfasis en el perfeccionamiento de la modelación 3D y planos de taller.

#### 4.4 Propiedad intelectual.

En este caso en particular se trabajó muy de la mano con el área encargada de propiedad intelectual de la Universidad EAFIT y El Centro para la innovación, consultoría y emprendimiento (CICE).

Como anteriormente se mencionó se presentó un registro de diseño industrial y se inició con el trabajo de la redacción de la patente con la Firma de abogados expertos en el tema *Olarte Moure abogados*. La redacción de la patente se realizó en paralelo al resto de pasos de la metodología de industrialización.

#### 4.5 Caracterización.

El resultado de este paso fue la tabla 23 en la que se describe cada uno de los componentes manufacturables del vehículo:

#	Nombre pieza	Cantidad	Material	Procesos
1	Chasis superior	1	Acero 1020 CR	-Corte convencional: Tubería. -Corte laser: Lámina. -Doble CNC: Lámina, Tubería. -Torneado. -Soldadura. -Pintura.
2	Chasis inferior	1	Acero 1020 CR	-Corte laser: Lámina, tubería -Torneado. -Soldadura. -Pintura. -Fresado.
3	Apoya pies	1	Acero 1020 CR	-Corte laser: Lámina. -Doble CNC: Lámina.

				-Soldadura. -Pintura.
<b>4</b>	Bocín	2	Acero 1020 CR	-Corte laser: Lámina. -Doble CNC: Lámina. -Torneado. -Soldadura. -Pintura.
<b>5</b>	Tijera	1	Acero 1020 CR	-Corte convencional: Tubería. -Corte laser: Lámina. -Doble CNC: Lámina, Tubería. -Torneado. -Soldadura. -Pintura.
<b>6</b>	Eje	6	Acero 1020 CR	-Torneado.

**Tabla 23. Caracterización del 1er prototipo**

Otro resultado del paso de caracterización son los planos de taller. Estos estaban listos desde la producción del prototipo antes de ingresar a la metodología.

#### **4.6 Proveedores y fabricación.**

Con base en la herramienta MSEP (Modelo de selección y evaluación de proveedores), se buscó soportar y facilitar la selección de proveedores para la industrialización de proyectos dentro de la Universidad EAFIT.

Dicho método ofrece la posibilidad de seleccionar un proveedor final con base en criterios ya definidos previamente que cumplen con el nivel de satisfacción exigido por el emprendedor. Por ello el MSEP da resultados dependientes a la necesidad del cliente, dentro de los cuales

puede calcular el precio, servicio y/o calidad, aspectos indispensables en cualquier tipo de manufactura de productos. Con el método se busca también que el emprendedor conozca de la industria local y vea un soporte para perfeccionar sus ideas y diseños.

#### **4.6.1 Búsqueda de Proveedores**

Para comenzar con el proceso de selección de proveedores con la herramienta MSEP, se debían tener claros los procesos y materiales necesarios para el desarrollo del proyecto, al tenerlos previamente definidos, se ingresó cada uno de ellos al filtro del programa.

Entre ellos estaban:

- Corte de lámina.
- Corte laser.
- Corte y dobléz de lámina.
- Corte y dobléz de tubería.
- Doblez
- Doblez CNC.
- Fresado.
- Plegado de lámina.
- Rolado.
- Rolado CNC.
- Soldadura.
- Torneado.
- Tubería.

De esta forma, el programa arrojó 11 proveedores los cuales realizaban uno o varios de los procesos seleccionados. Los proveedores correspondientes fueron:

- Aceros mapa S.A.
- Acinox S.A.
- Corteaceros S.A.
- Ferroindustrial S.A.
- CDI Exhibiciones S.A.S.
- Metalcam S.A.S
- Coyper.
- Ferrocortes S.A.S
- Riascos soldadores 1A S.A.S.
- Soldaduras industriales S.A.S.
- Construtubos S.A

De igual forma se realizó una búsqueda con ayuda de la Universidad EAFIT a partir de los proveedores de la misma.

#### **4.6.2 Cotizaciones**

Con el fin de proteger el proyecto, se realizó una carta de confidencialidad, la cual se adjuntó por correo a todos los proveedores, estableciendo un compromiso a no divulgar la información competente al proyecto.

La empresas con las que se realizaron cotizaciones fueron: Industrias metálicas Miller, CDI Exhibiciones S.A.S y Metalcam S.A.S.

#### 4.6.3 Calcular costo neto de producto con cotizaciones.

Sumatoria de los costos finales de todas las cotizaciones:

<b>Pieza</b>	<b>Costo</b>
Chasis superior	\$ 2.000.000 + IVA
Chasis inferior	\$ 370.000
Piezas estándar	\$ 1.000.000

$$\begin{aligned}\text{Costo neto de producto} &= \text{Chasis superior} + \text{Chasis inferior} + \text{Piezas estándar} \\ &= (\$ 2.000.000 + \$ 320.000) + \$370.000 + \$ 1.000.000 \\ &= \$ 3.690.000 \text{ COP}\end{aligned}$$

#### 4.6.4 Calcular utilidad

$$Mg = Pv - Cn$$

$$Mg = \$ 8.000.000 - \$ 4.120.000$$

$$Mg = \$ 3.880.000$$

Dónde:

**Mg**= Margen de ganancia

**Pv**= Precio de venta (Tomado de los datos de entrada punto 3.3)

**Cn**= Costo neto a partir de la sumatoria de todas las cotizaciones (Punto 6.1.1.1.3)

Ya que el resultado obtenido, es positivo, significa que el producto puede generar ganancias, sin embargo a ese margen se deben restarle otros costos adicionales dependiendo del modelo de negocio con el que se está trabajando.

#### **4.6.5 Calcular eficiencia del diseño**

Se toman en cuenta la totalidad de las piezas que conforman el producto, y a su vez se dividen en componentes esenciales y no esenciales, evaluando la funcionalidad de los mismos al interior del producto. En este caso, se toman a consideración 14 componentes, de los cuales 9 se toman como esenciales y 5 no esenciales. De esta forma, se realiza el cálculo que finalmente arroja el porcentaje de eficiencia que posee el diseño.

$$E = A \times 100 / (A + B)$$

$$E = 9 \times 100 / (9 + 5)$$

$$E = 64.28 \%$$

Dónde:

**A**= Componentes Esenciales (9)

**B**= Componentes no Esenciales (5)

La eficiencia fue del 64.28 %, lo que indica según el método de LUCAS, que el diseño es bueno, ya que el resultado supera el 60% de eficiencia recomendado.

Así pues, el prototipo puede considerarse netamente funcional por lo que podría ser lanzado al mercado como producto sin tener que hacer ningún tipo de modificación, rediseño u

optimización pero por motivos de evaluación de la metodología se decidió continuar con los pasos propuestos e inicia con la etapa de rediseño.

#### **4.6.6 Selección de proveedores.**

Teniendo en cuenta las cotizaciones, el programa MSEP y la percepción de las empresas respecto a los trabajos ya realizados por parte de las empresas a la Universidad EAFIT, se realiza la selección de proveedores. De esta forma, se decide finalmente que Industrias Metálicas Miller se encargará de la realización del chasis superior, CDI Exhibiciones S.A del chasis inferior e Inmotion group del ensamble total del vehículo.

#### **4.6.7 Evaluación de proveedores.**

De las respuestas recibidas por los proveedores seleccionados es fácil notar como la temporada y alcance de tiempo influyeron para que no se llevara a cabo la etapa de manufactura y ensamble del vehículo en el tiempo que inicialmente se había planteado (finales de Noviembre y Diciembre del 2013). De esta forma, se puede concluir que es necesario, tener en cuenta el tiempo que se tardan en dar respuesta los proveedores seleccionados, pues no siempre se tiene la capacidad, tecnología o la disponibilidad de tiempo ni de personal. De igual se siguió en contacto con ellos, con la intención de darle continuidad al proceso y llegar al punto de una construcción completa del vehículo.

Es importante aclarar que se logró conocer acerca de los procesos que brindan las diferentes empresas y la manera en que los realizan. Los acercamientos, permitieron alcanzar la etapa de

Cotización y Aprobación, donde las empresas conocieron el proyecto y respondieron según su capacidad de tiempo, personal y tecnología para lograr lo que el emprendedor solicitó por medio de los planos.

De las pocas empresas que dieron una cotización, entre ellas, METALCAM, consideró el valor bajo las condiciones de la temporada, el cual es bastante alto dentro de la capacidad de pago de la Universidad, por eso, hasta el momento se detiene el proceso con dicho proveedor.

Por otro lado CDI Exhibiciones, empresa que ya ha dado buenos resultados a algunos de los proyectos de la Universidad, entrega una cotización mucho más clara y con una descripción más lógica a las condiciones de pago, por eso se desea continuar el proceso con este proveedor.

#### **4.7 Optimización y rediseño.**

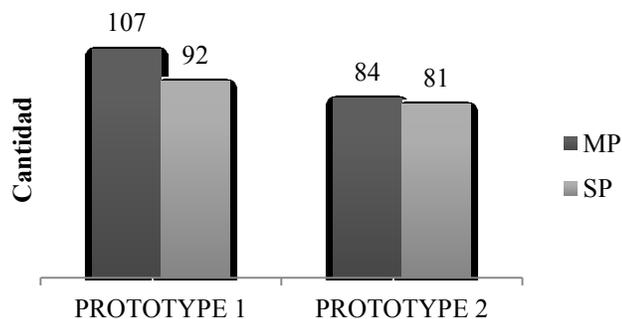
Siguiendo cada uno de los pasos y recomendaciones que son propuestos en la metodología en cuanto al DFM y el DFA se obtuvieron diferentes modificaciones y mejoras que se concluirán en la siguiente tabla comparativa entre el primer modelo 3D y el resultado de todo el proceso de Optimización y rediseño.

En la tabla 24 se puede observar la disminución en la cantidad de partes que componen el segundo prototipo. El prototipo que entró a la metodología se componía de 107 partes manufacturadas (MP) y 92 partes estándar o comerciales (SP). Luego de aplicar la metodología de rediseño se obtuvo un excelente resultado disminuyendo un 21.5% las partes manufacturadas y una reducción 12% en partes estándar.

	PROTOTIPO 1	PROTOTIPO 2
MP	107	84
SP	92	81
TOTAL	199	165

**Tabla 24. Comparación entre 1er y 2do prototipo**

Se pasó de tener un total de 199 partes a 165 lo que significa una disminución total en partes que componen el prototipo del 17%, esto se evidencia mejor en el diagrama 8.



**Diagrama 8. Comparación entre 1er y 2do prototipo**

En la siguiente tabla se evidencia la disminución de partes manufacturadas (MP) por subsistema. Se sacaron 12 subsistemas que componen el vehículo, tanto en el primer prototipo como en el segundo. En el caso del soporte de carga en el primer prototipo se componía de 5 partes manufacturadas y en el segundo prototipo solo tiene una pieza; esto es gracias a que se unificó con los apoya pies y estas 3 partes que antes eran individuales ahora son una sola, como se muestra en la imagen 11. En el caso de los separadores se tuvieron que agregar en el segundo prototipo con el fin de disminuir peso y costos.

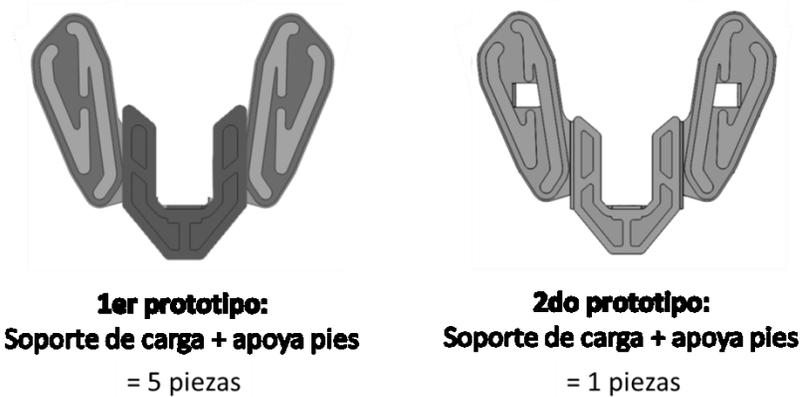


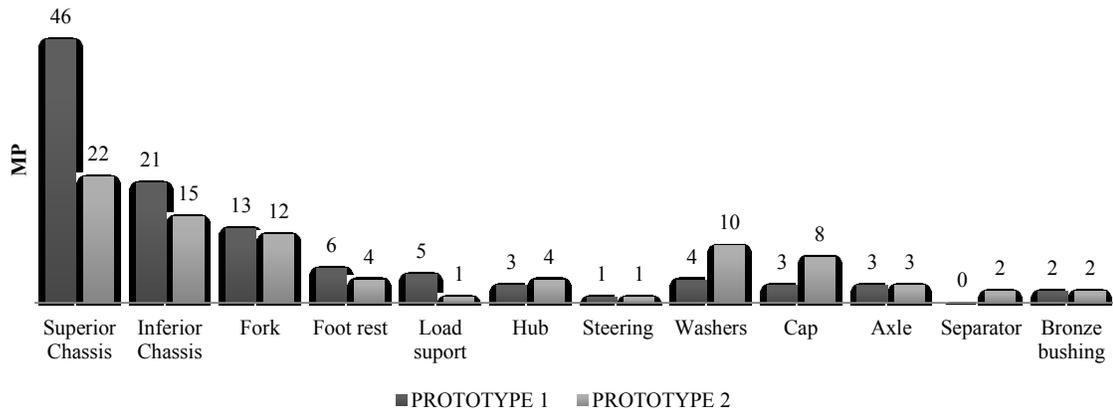
Imagen 11. Comparación entre 1er y 2do prototipo - soporte de carga y apoya pies

	1er Prototipo		2do Prototipo	
	PM	Peso (Kg)	PM	Peso (Kg)
Chasis Superior	46	9,9	22	5,8
Chasis Inferior	21	7,4	15	3,4
Tenedor	13	1,7	12	0,9
Apoya pies	6	3,5	4	4,7
Soporte de carga	5	2,2	1	0,0
Bocín	3	0,6	4	0,7
Dirección	1	0,2	1	0,1
Arandela	4	0,4	10	0,7
Tapa	3	0,8	8	0,5
Eje	3	1,4	3	1,3
Separador	0	0,0	2	0,2
Buje de bronce	2	0,4	2	0,3
<b>TOTAL</b>	<b>107</b>	<b>28,6</b>	<b>84</b>	<b>18,6</b>

Tabla 25. Comparación de componentes entre 1er y 2do prototipo

Si evaluamos dos de los subsistemas más grandes que tiene el vehículo podemos ver que tan solo en el chasis superior se logró disminuir la cantidad de partes manufacturas en un 52.2% y en el caso del chasis inferior se disminuyeron en un 28.6%, como se puede ver en la tabla 25. A

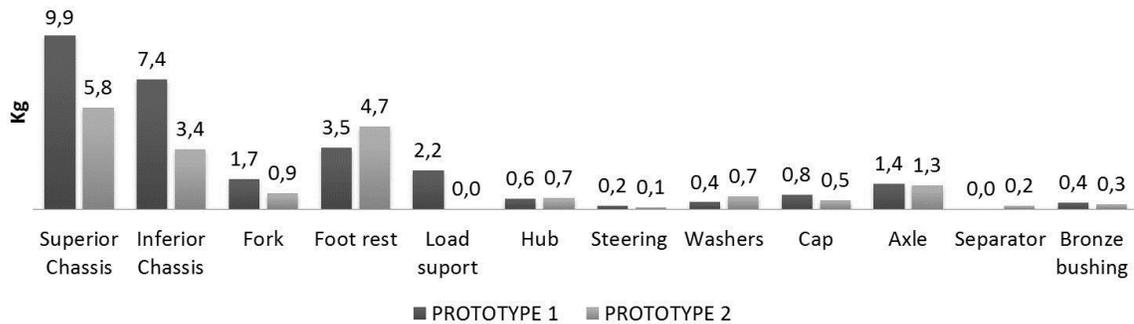
diferencia de estos subsistemas hubo otros que tuvieron un aumento de partes manufacturadas como el caso de las arandelas y las tapas, como se ve en el diagrama 9, aunque se aumentaron las cantidades se logró disminuir una parte del peso que se tenía en el primer prototipo.



**Diagrama 9. Comparación de partes manufacturadas en el 1er y 2do prototipo**

Uno de los logros más grandes del rediseño fue la disminución de peso, en el primer prototipo se tenía que el total de partes manufacturadas tenían un peso de 28.6 Kg. Después de todo el proceso con la metodología se llegó a una disminución de peso de un 35% para un total en el segundo prototipo de 18.6 Kg solo en partes manufacturadas.

Al igual que en la gráfica anterior podemos observar que la disminución en peso más significativa fueron los subsistemas de chasis superior e inferior, en el primer caso se obtuvo una disminución de peso de un 58.6% y en el segundo una disminución de un 54.1 %, como se puede ver en el diagrama 10. Esto nos deja con un peso total aproximado del primer prototipo de 41.6 Kg en comparación con 31.6 Kg del segundo prototipo (Peso total aproximado del vehículo: Incluye componentes eléctricos)



**Diagrama 10. Comparación de pesos en partes manufacturas en el 1er y 2do prototipo**

#### 4.8 Calcular eficiencia del diseño

$$E = A \times 100 / (A + B)$$

$$E = 11 \times 100 / (11 + 2)$$

$$E = 84.61 \%$$

Dónde:

**A**= Componentes Esenciales (11)

**B**= Componentes no Esenciales (2)

De esta forma se puede concluir que al tomar en cuenta las recomendaciones de optimización y rediseño que propone la metodología, el diseño final puede aumentar significativamente en eficiencia. Paso de tener una eficiencia del 64.28 % a una de 84. 61%.

#### **4.9 Proceso de patente.**

Como se mencionó anteriormente, todo el proceso de patente se realizó paralelamente a los pasos de la industrialización. Esto comprendió:

La Presentación de una serie de documentos, tales como

- Petitorio.
- Documento técnico de la solicitud de patente.
- Comprobante de pago.

Seguido a esto, se realizó el trámite de la solicitud el cual se desarrolló de la siguiente forma:

- Radicación y admisión al trámite
- Examen de Forma
- Publicación
- Oposición de terceros
- Petición de examen de patentabilidad
- Examen de fondo
- Decisión Final

Todo este trabajo se hizo de la mano de la Firma de abogados de Olarte Moure. La patente ya se encuentra registrada con el número 14-093.164.

Se debe tener en cuenta que después de aceptada la solicitud de patente, es necesario pagar una tasa anual para el mantenimiento de la misma.

#### 4.10 Planeación de producción.

En esta etapa de planeación se propone un diagrama en el que se muestra empresas responsables de realizar cada una de las actividades, fecha en la que dicha empresa inicia con el proceso de construcción de su pieza específica, duración en días del tiempo transcurrido entre la fecha de inicio y la fecha estimada de entrega.

<b>Empresa</b>	<b>Tareas</b>	<b>Fecha Inicio</b>	<b>Fecha de Finalización</b>	<b>Duración (Días)</b>
CDI Exhibiciones	Chasis Inferior	28/01/2014	10/03/2014	41
Industrias metálicas Miller	Chasis Superior	11/04/2014	04/06/2014	54
Inmotion group	Ensamble	21/07/2014	20/08/2014	30

#### 4.11 Producción.

##### 4.11.1 Recomendaciones (Transporte, almacenamiento y personal)

En el caso del vehículo eléctrico, se tuvieron en cuenta las recomendaciones sugeridas por la metodología, ya que desde un principio, se evaluaron los posibles costos adicionales según el modelo de negocio elegido.

Respecto al transporte, no se realizó contratación a terceros, puesto que los proveedores elegidos contaban con el servicio y su valor estaba incluido en las cotizaciones iniciales.

Debido a que se realizó solo un prototipo inicial, no fue necesario destinar un espacio para el almacenamiento del mismo, pues su tamaño y el número realizado no lo ameritaba.



	Soldadura homogénea			X		X				-
	Soldadura con buena apariencia			X		X				-
	Cordones Resistentes			X			X			-
	Soldadura con acabado liso			X			X			-
<b>7</b>	<b>Calidad de los componentes estándar</b>									
	Garantías			X			X			X
	Coherencia con especificaciones del componente			X			X			X

**Tabla 26. Evaluación del producto y proveedores**



**Imagen 12. 2do prototipo**

#### **4.11.4 Evaluación proveedores**

De las respuestas recibidas por los proveedores seleccionados es fácil notar como la temporada y alcance de tiempo influyeron para que no se llevara a cabo la etapa de manufactura y ensamble del vehículo. Se debe poder contar con el tiempo necesario para esperar las respuestas de los proveedores pues no siempre hay disponibilidad de tiempo ni personal por parte de ellos. De igual manera se espera seguir en contacto con ellos, con la intención de darle continuidad al proceso y llegar al punto de una construcción completa del vehículo.

Es importante aclarar que se logró conocer acerca de los procesos que brindan las diferentes empresas y la manera en que los realizan. Los acercamientos que se tuvieron permitieron alcanzar la etapa de Cotización y Aprobación donde las empresas conocieron el proyecto y respondieron según su capacidad de tiempo, personal y tecnología para lograr lo que el emprendedor solicitó por medio de los planos.

De las únicas dos empresas que dieron una cotización, una de ellas METALCAM, entrega su valor considerado bajo las condiciones de la temporada, por lo cual es bastante alto dentro de la capacidad de pago de la Universidad.

Por otro lado CDI Exhibiciones, entrega una cotización mucho más clara y con una descripción más lógica a las condiciones de pago, por eso se desea continuar el proceso con este proveedor.

## 5. Conclusiones

El ámbito de aplicación de esta metodología abarca tanto a los estudiantes de pregrado como los de posgrado de la forma más básica, hasta los niveles más avanzados. Sin embargo es importante señalar que algunas de las herramientas que se presentan dentro de la metodología pueden ser de carácter avanzado, y por tanto, posiblemente un reto para los estudiantes más inexpertos.

Es importante destacar que el objetivo de la metodología consiste en trasladar un objeto definido como lo es "un prototipo funcional" en un producto industrialmente viable y escalable, que puede ser explotado comercialmente por su creador, o por un tercero. Además, los resultados, las consecuencias de la introducción en el mercado y las ventas no pertenecen, y no pueden ser directamente co-relacionados con ella.

Es de suma importancia iniciar la metodología con un muy buen prototipo funcional, que ya se haya probado y que se le vea un buen potencial para la industrialización; de esta manera se entrará a la metodología con una base sólida para iniciar con todo el proceso de industrialización. Es de igual importancia tener una excelente modelación 3D, diseño de detalle y planos ya que esto ayudará a detectar problemas y podrán ser resueltos más fácilmente en etapas tempranas de la metodología.

El tema de propiedad intelectual es un tema que por lo general en Colombia no se le presta mucha atención, es en las universidades o instituciones educativas en donde más se le está apostando a este tema. Es por eso que se hace mucho énfasis a la propiedad intelectual en esta

metodología ya que nos ayuda a blindarnos ante posibles eventualidades legales, puede significar una forma de ingresos para nuestro negocio y le puede dar credibilidad y solidez a una empresa.

Tener un conocimiento amplio en temas de manufactura, procesos de producción y el entorno local (industrial local) facilitará el desarrollo de la metodología, de igual forma la metodología cuenta con muchas ayudas, cuadros y descripciones de estos temas para aquellos que no tengan tanto conocimiento en estos temas.

En cuanto a la industria local se evidenció la demora en entrega de cotizaciones y tiempos de entrega en general de piezas manufacturadas, es posible que esto se debiera a la alta complejidad del producto y a que la mayoría de las empresas no están acostumbradas a desarrollar este tipo de productos. También se comprobó que las empresas en nuestro entorno tienden a tener temporadas de alto flujo de trabajo y temporadas de bajo trabajo, sería muy importante definir dichas temporadas y tenerlas en cuenta en la planeación de producción del producto que se está trabajando para no incurrir en gastos innecesarios de dinero y largos tiempos de respuesta por parte de estas empresas.

Algo que tienden a hacer las empresas locales cuando se les habla de la fabricación en un prototipo es a inflar los precios de producción, es muy importante tener esto en cuenta y siempre pedir cotización para la producción del prototipo y además para una producción de un lote determinado para poder tener una información real a la hora de hacer cálculos de costos y utilidades.

En el pregrado de IDP se evidencia una clara necesidad de implementar una metodología como la propuesta ya que constantemente se están desarrollando prototipos para solucionar todo tipo de problemáticas en nuestro entorno, como primera instancia sería interesante que estos

estudiantes pongan a prueba esta metodología y eventualmente que emprendedores de todo tipo que desarrollen productos también la puedan aplicar y de esta manera no dejar sus proyectos parados por falta de conocimiento en el proceso de industrialización.

Con el caso de estudio del vehículo eléctrico se obtuvieron muy buenos resultados en cuanto al rediseño y optimización del prototipo, con más casos de estudio de diferentes tipos de productos se puede seguir en un futuro poniendo a prueba la metodología y de esta manera encontrar pasos que puedan ser refinados y mejorados.

En estudios futuros esta metodología podría implementarse en un sistema informático de PLM que permita gestionar todos los pasos propuestos, las entradas y salidas respectivas y los recursos necesarios.

La metodología está totalmente enfocada a un entorno de producción local, pero es totalmente escalable a nivel global, en futuros estudios se podría analizar contextos diferentes al nuestro y de esta manera aplicar la metodología en otras ciudades de Colombia y otros países.

## 6. Bibliografía

- [1] Canciglieri, O.; Buiarskey, J. P.; Rudekc, M. y Miguel de Souza, T. (2010). *New World Situation: New Directions in Concurrent Engineering*. doi: 10.1007/978-0-85729-024-3\_47. London: Springer
- [2] Yin, R. (2011). *Metallurgical Process Engineering*. doi: 10.1007/978-3-642-13956-7
- [3] Böllinghaus, T. et al. (2009). *Manufacturing Engineering*. doi: 10.1007/978-3-540-30738-9\_7. Berlin: Springer Heidelberg
- [4] Sharma, R. y Gao, J. X. (2007). *A knowledge-based manufacturing and cost evaluation system for product design/re-design*. doi: 10.1007/s00170-006-0530-6
- [5] Filippi, S.; Cristofolini, I. (2010). *State of the Art in the Field*. doi: 10.1007/978-1-84882-772-1\_1. London: Springer
- [6] Holt, R.; Barnes C. (2010). *Towards an integrated approach to ‘Design for X’:an agenda for decision-based DFX research*. doi: 10.1007/s00163-009-0081-6
- [7] Organización mundial de la Propiedad Intelectual. (s.f). *Las búsquedas sobre el estado de la técnica: una obligación para las pymes innovadoras*. Recuperado el 9 de Abril de 2014, de [http://www.wipo.int/sme/es/documents/prior\\_art.htm](http://www.wipo.int/sme/es/documents/prior_art.htm)
- [8] Ministerio de comercio, Industria y Turismo. (2008). *Patente de invención y patente de modelo de utilidad*. República de Colombia: Superintendencia de Industria y Comercio

[9] Ministerio de comercio, Industria y Turismo. (2008). *Documentos de Patente como fuente de información tecnológica*. República de Colombia: Superintendencia de Industria y Comercio

[10] Swift, K. G. y Booker, J. D., (2003). *Process Selection from Design to Manufacture*. Oxford: Butterworth-Heinemann

[11] Fang, Y. y Du, L. (2012). *Gantt chart generation technology based on web applying in manufacturing execution system*. doi: 10.1007/978-3-642-25789-6\_44

[12] Herrmann, J.W. (2006). *A history of production scheduling*. doi: 10.1007/0-387-33117-4\_1

[13] Mejía, R y Ríos, D (2013). *Introducción al Diseño para “x” y Diseño para en Ensamble*. Memorias del curso: “Ingeniería Concurrente” Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto, Universidad EAFIT.

[14] Boothroyd, G. (1994). Product design for manufacture and assembly. *Computer-Aided Design*, 26(7), 505-520.

[15] Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business Model Generation: A Handbook For Visionaries, Game Changers, And Challengers* Author: Alexander Osterwalder, Yves.

[16] Juan Rada-Vilela. fuzzylite: a fuzzy logic control library, 2014. URL <http://www.fuzzylite.com>.

[17] Blandón, Jualiana Montoya. *Modelo de selección y evaluación de proveedores para industrialización de productos en el ámbito local*, 2013.

## **7. Anexos**

### **7.1 Procesos de Manufactura**

#### **7.1.1 Vacuum forming (Termoformado)**

Una hoja plástica se calienta hasta ablandarse para posteriormente someterla al vacío hasta que tome la forma de un molde inferior frío, en el cuál se deja hasta que enfríe. Se trabaja con materiales termoplásticos que presenten altos índices de elongación uniforme.

#### **7.1.2 Contact molding (Trabajo con fibra y resina)**

En un molde macho o hembra se aplican simultáneamente un refuerzo de fibra junto con una resina líquida termoestable que se cura a temperatura ambiente o con aplicación de calor para acelerar el proceso.

El material más utilizado es la fibra de vidrio, sin embargo pueden usarse otros tipos de fibras o telas, que pueden aplicarse de manera continua o picada. Las resinas por otro lado son generalmente un poliéster o epoxi catalizado. También se da a través de la pistola de fibra, la cual suministra la fibra con la resina sobre la superficie deseada.

#### **7.1.3 Sheet metal forming (Formado de chapa o lámina metálica)**

Procesos de formado de lámina metálica en frío. Uno de los más comunes el doblado de lámina mediante la presión de dos dados. Aplica para metales dúctiles, los más usados son aceros de baja aleación, aleaciones de aceros al carbono, acero inoxidable y aleaciones de aluminio y cobre.

#### **7.1.4 Automatic and manual turning and boring (Torneado manual y CNC)**

Remoción de material usando operaciones de maquinado secuenciales o simultáneas en piezas cilíndricas. El material de base puede ser automática o manualmente alimentado a la máquina. Se trabajan todo tipo de metales, algunos plásticos, elastómeros y cerámicos. Puede operarse en varios tipos de máquinas: máquinas operadas manualmente, máquinas automáticas o semiautomáticas, máquinas CNC y centros de maquinado.

#### **7.1.5 Milling (Fresado)**

Remoción de material usando herramientas de corte múltiple de diversas formas, con el fin de generar superficies planas o perfiles en piezas de trabajo de sección regular o irregular. Se trabajan todos los metales y algunos plásticos y cerámicos. Se puede trabajar en máquinas manuales o CNC y en centros de fresado horizontal o vertical.

#### **7.1.6 Planning and shaping (Rectificado y Formado)**

Remoción de material utilizando herramientas de corte de un solo punto que se mueven en línea recta paralelo a la superficie de la pieza de trabajo para rectificar o dar determinada forma. Se trabajan todo tipo de metales.

#### **7.1.7 Drilling (Perforado o taladrado)**

Remoción de material utilizando herramientas rotatorias de varios tipos con dos o más filos de corte para producir perforaciones cilíndricas en una pieza de trabajo. Se trabajan todo tipo de metales y algunos plásticos y cerámicos. Se puede trabajar en máquinas manuales o CNC.

### **7.1.8 Reaming (Rimado)**

Remoción de pequeñas cantidades de material usando una herramienta llamada rima de varios filos de corte, con el fin de mejorar la precisión, redondez y acabado superficial de perforaciones cilíndricas existentes en la pieza de trabajo. Se trabaja con todo tipo de metales.

### **7.1.9 Making molds (Fabricación de moldes)**

Utilizar diferentes materiales para fabricar moldes donde se hará un termoformado, o se aplicara resina y fibra de vidrio, etc.

### **7.1.10 Polystyrene and foams transformation (Transformación de icopor y espumas)**

Procesos de corte, perforado y pulido de icopor y espumas manualmente a través de diferentes herramientas y maquinas que dispone la universidad.

### **7.1.11 Acrylic bending (Doblado de acrílico)**

Aplicación de calor a través de un secador industrial. Cuando el material se encuentre flexible, se le da la forma deseada y se espera a que se enfriara de nuevo tomando esta forma.

### **7.1.12 Cutting and Assembly of PVC (Corte y transformación de PVC)**

Diferentes procesos de corte, doblado, perforado, ranurado y ensamble de PVC, con el fin de lograr partes de prototipos y estructuras deseadas.

### **7.1.13 Frosted and grinding (Esmerilado y afilado )**

Proceso por medio del cual se pulen superficies y bordes de diferentes materiales. Se hace apoyando el material contra una rueda abrasiva que va quitando pequeñas capas del material.

#### **7.1.14 Rolling and bending (Rolado y doblado)**

Proceso a través del cual se da curvatura a diferentes materiales en forma de lámina, alambre, perfilería o tubería. Se da pasando el material a través de rodillos, los cuales lo presionan dando la curva deseada, en el caso de la tubería, se hace a través de dados que con presión le dan la curva, también puede hacerse con la dobladora de tubos CNC. Se usa para aceros al bajo carbono, acero inoxidable, aleaciones, cobre, aluminio y aleaciones de magnesio.

#### **7.1.15 Rapid prototyping (Prototipado rápido)**

Proceso a través de máquinas de control numérico para realizar prototipos en corto tiempo. Se usan diferentes materiales como espumas, MDF, yeso, y diferentes polímeros.

#### **7.1.16 Tungsten inert gas welding (Soldadura TIG)**

Proceso de unión de 2 metales por medio de un arco eléctrico que funde el material. Puede producirse con o sin material de aporte. La temperatura puede llegar hasta los 12.000° C. En el proceso se usa normalmente un gas inerte llamado Argón para evitar oxidación y la contaminación. Se usa en casi todos los metales no ferrosos (a excepción del Zinc), aluminio, níquel, aleaciones de magnesio y titanio, cobre, acero inoxidable, aceros al bajo carbono y algunos metales preciosos.

#### **7.1.17 Metal inert gas welding (Soldadura MIG)**

Proceso de unión de 2 metales por medio de un arco eléctrico que funde el material. Se da a través de un alambre de alimentación continua (material de aporte) que va uniendo las piezas, Se utiliza Argón para proteger las piezas de oxidación y contaminación.

Se usa en casi todos los metales no ferrosos (a excepción del Zinc), aluminio, níquel, aleaciones de magnesio y titanio, cobre, aleaciones refractarias y hierro fundido.

#### **7.1.18 Plasma arc welding (Soldadura con plasma)**

Proceso que usa un gas ionizado que pasa a través de una tobera refrigerada por agua, llegando a los 20000° C. Se produce por la corriente eléctrica que transmite un electrodo de tungsteno con la suficiente energía para fundir y unir el material base y el de aporte si se usa.

#### **7.1.19 Manual assembly (Ensamble manual)**

Proceso que se da utilizando las habilidades humanas para juntar y ensamblar estructuras y partes de los proyectos.

#### **7.1.20 Heat wave for ceramics (Cocción en horno para cerámicos)**

Horno destinado para la cocción de materiales cerámicos facilitando el curado de las piezas.

#### **7.1.21 Polysthrene manual cutting (Proceso manual de icopor)**

Proceso en el cual se utiliza una máquina utilizada para cortar icopor de forma fácil rápida y con buen acabado superficial, permite hacer todo tipo de formas simples y complejas. Funciona a través de corriente eléctrica que pasa por un alambre el cual derrite el material produciendo el corte.

#### **7.1.22 Gas Welding (Soldadura con gas)**

Combustible gaseoso de alta presión (acetileno) y oxígeno son suministrados por una antorcha, a través de una boquilla donde se produce la combustión, generando una llama controlable dependiendo de lo que se vaya a hacer (llama carburante, neutra y oxidante, para

corte o soldadura). La temperatura puede alcanzar los 3000° C. En ocasiones se adiciona material de aporte. Se usa para aleaciones ferrosas, al bajo carbono, acero inoxidable, hierro fundido, nikel, cobre, aleaciones de aluminio, y otros metales con nivel de fusión bajo como zinc y metales preciosos.

### **7.1.23 Laser Cutting (Corte laser)**

Proceso usado para cortar lamina de diferentes tipos de metales, plásticos, acrílicos, maderas, etc. de diferentes espesores a través de una maquina CNC alimentada con CO2, Nd, Nd YAG. Sirve para cortar todo tipo de formas, simples y complejas con gran precisión. El margen de error esta entre los 5 y 10 micrómetros. En la universidad se disponen de 2 máquinas laser: una para maderas y otra para plásticos y acrílico.

## **7.2 Procesos de acabado de superficies**

### **7.2.1 Polyester putty (Masilla poliester)**

Aplicación de masilla a ciertas superficies para mejorar y perfeccionar el acabado de la las piezas deseadas. Se prepara cierta cantidad de masilla y su respectiva cantidad de catalizador para crear la reacción de la misma.

Posteriormente se lija y pule para lograr el acabado que se quiere. Normalmente se aplica con espátula. Se usa para metales.

### **7.2.2 Stucco (Estuco)**

Similar a la masilla, el estuco tiene el mismo fin, la diferencia es que no necesita catalizador para reaccionar, solo se deja al aire mientras este se seca para el posterior lijado.

Normalmente se aplica con espátula. Se usa para maderas, plásticos y materiales porosos.

### **7.2.3 Wood patching (Resane para Madera)**

Aplicación de diversas mezclas para rellenar las imperfecciones de la madera. Pegamento blanco y agua, sellador catalizado y pegamento epóxico; cada una de estas se aplica con polvo de madera (aserrín).

## **7.3 Procesos de Pintura**

### **7.3.1 Thinner based varnish (Laca a base de tiner)**

Aplicación de esta pintura para diversos metales, se recomienda el aerosol o si es preparada usar pistola para que esta quede bien esparcida por la superficie deseada.

### **7.3.2 Catalyzed varnish (Laca catalizada)**

Aplicación de esta pintura en diversas maderas, puede aplicarse en aerosol o en pistola.

### **7.3.3 Domestic enamels (Esmaltes domésticos)**

Este tipo de pintura se aplica en metales tanto ferrosos como no ferrosos. Se puede aplicar con brocha o con pistola. Si se aplican varias capas se debe dejar 4-5 horas entra cada capa, y para finalizar dejarlo secar 24 horas.

### **7.3.4 Polyurethane enamles (Esmaltes poliuretanos)**

Este tipo de pintura puede aplicarse a metales, acrílicos, plásticos, fibra de vidrio, madera. Se puede aplicar con pistola o brocha y se debe dejar secar de 6-15 horas entre capas.

### 7.3.5 Bases (bases)

Antes de pintar se debe aplicar una base en las superficies. Puede ser a base de tiner para metales, epóxica-poliamida para metales y a base de poliuretano para metales, acrílicos, plásticos, etc. con el fin de adquirir mejor acabado y adherencia de la pintura en las piezas.

### 7.3.6 Water based vinyls (Vinilos a base de agua)

Pintura usada para maderas, se puede usar brocha, pincel o pistola.

## 7.4 Tabla de descripción de procesos de producción:

<b>PROCESO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Fundición en arena</b>	Proceso que se hace depositando el material fundido en un molde de arena con la forma requerida
<b>Fundición en cascara</b>	Proceso en el que se funden partes de una pieza en cascara a través de un molde de arena y mezcla de termoestables
<b>Fundición centrifuga</b>	proceso en el cual se deposita el material fundido en un molde rotacional de alta velocidad, en este se da al forma necesaria mientras se solidifica
<b>Fundición de precisión</b>	Proceso que se da dentro de un molde de cerámica con un patrón en cera que tiene la forma requerida, esta se derrite luego del proceso para retirar la pieza terminada
<b>Fundición en molde de cerámica</b>	Proceso en el cual se usa un molde de cerámica con la forma de la pieza el cual se quiebra luego para retirar la pieza terminada
<b>Fundición en molde de yeso</b>	Proceso en el cual se usa un molde de yeso en varias partes para la forma determinada este se cura para mejor acabado, se deposita el material fundido y

	se deja enfriar
<b>Moldeo por inyección</b>	Proceso en el cual se funde el material plástico y pasa a través de una rosca a presión mientras se enfría y solidifica. De esta forma se pueden producir una o muchas partes necesarias.
<b>Moldeo por compresión</b>	Proceso en el cual se coloca el material en un molde y con la presión de un dado se moldea este con la forma requerida
<b>Moldeo por transferencia</b>	Proceso en el cual se tiene una preforma de fibras en el molde cerrado, por una cavidad se transfiere resina y catalizador para crear la reacción de estos dentro del molde, en este mismo se cura y se saca la pieza terminada
<b>Moldeo al vacío (Termoformado)</b>	Proceso que se da en un molde cerrado con un material que al extraer el aire del molde este toma la forma del mismo
<b>Moldeo por soplado</b>	Proceso que se da en un molde cerrado en el cual se introduce el parison (material para ser soplado) este se sopla haciendo que el material se separe y tome la forma del molde realizando piezas huecas
<b>Moldeo con fibra y resina</b>	Proceso en el que se aplica fibra y resina sobre un molde con la forma requerida
<b>Extrusión continua</b>	Proceso que se da introduciendo el material en una maquina extrusora la cual lo funde y con una tornillo interno y presión es desplazado y enfriado al salir de la maquina tomado la forma requerida
<b>Formado en dado cerrado</b>	Proceso en el cual se da forma al material con presión de dados
<b>Rolado</b>	Proceso en el cual se da curvatura a diferentes materiales a través de la presión ejercida por unos rodillos que mientras lo desplazan le dan la forma requerida
<b>Dibujado metálico</b>	Proceso en el cual se introduce el material (tubos alambres, varillas) en un dado el cual con presión

	genera una deformación plástica de este dando forma o diámetro diferente
<b>Formado en frío</b>	Proceso en el cual se da forma al material en un dado cerrado con presión, obteniendo la forma del molde
<b>Estampación en frío</b>	Proceso que se da al interior de un molde, en este se dan una serie de golpes con el fin de dar la forma requerida al material
<b>Estampación</b>	Proceso en el cual el material en forma de tubo, alambre o varilla es puesto en un dado giratorio con la forma deseada, este se cierra y al girar da la forma
<b>Formado supe plástico</b>	Proceso que se da en un dado cerrado, el material es calentado lo suficiente para que tenga buena ductilidad y con un gas a presión aplicado al interior del dado se da la forma requerida
<b>Corte y formado de perfiles de metal</b>	Diferentes procesos de corte, perforado, doblado, rolado de materiales metálicos
<b>Hilado de metal</b>	Proceso en el cual se tiene el material girando en un molde con la forma requerida y con presión de diferentes herramientas se hace presión para llegar a esta forma del molde
<b>Formado de polvo metálico</b>	Proceso en el cual partículas de polvo metálico son altamente comprimidas en una forma determinada, luego son curadas y sinterizadas para mejorar la unión entre las partículas
<b>Maquinado manual</b>	Diferentes procesos manuales para dar forma a diferentes materiales (torneado, fresado, doblado, taladrado y perforado, rimado, moleteado, roscado, esmerilado, afilado, etc.)
<b>Maquinado automático</b>	Diferentes procesos automatizados para dar forma a diferentes materiales (todos los procesos se dan con máquinas de control numérico)
<b>Mecanizado por descarga</b>	Proceso en el cual se usa la electricidad entre la herramienta y la pieza para remover material de la

<b>eléctrica</b>	misma con la reacción eléctrica
<b>Mecanizado por haz de electrones</b>	Proceso en el cual el material es puesto en una cámara de vacío en el cual a través de una boquilla se aplican electrones al 80% de la velocidad de la luz removiendo el material y dando la forma requerida
<b>Mecanizado por laser</b>	Proceso en el cual una luz de alto poder es enfocada y amplificada en un mismo punto con la cual se remueve el material y se da la forma que se requiera
<b>Mecanizado ultrasónico</b>	Proceso en el cual se da forma a través de vibraciones sónicas muy altas y elevadas las cuales concentradas en un punto remueven el material y dan la forma requerida
<b>Mecanizado por chorro abrasivo</b>	Proceso en el cual se aplica un chorro de alta presión de líquido y material abrasivo molido (agua + arena + partículas de metal) el cual remueve material dando la forma que se quiera
<b>Prototipado rápido</b>	Proceso que se da con máquinas especiales que suministran el material bien sea imprimiéndolo o de un bloque removiendo el sobrante dejando la pieza terminada
<b>Soldadura TIG</b>	Proceso de unión de 2 o más piezas por medio de un arco eléctrico que funde el material, puede ser con o sin material de aporte
<b>Soldadura MIG</b>	Proceso de unión de 2 o más piezas por medio de un arco eléctrico que funde el material, hay un aporte de material continuo
<b>Soldadura con plasma</b>	Proceso de unión de 2 o más piezas por medio de un potente rayo eléctrico el cual funde el material uniéndolo a la otra pieza con o sin material de aporte
<b>Soldadura con gas</b>	Proceso de unión de 2 o más piezas a través de 2 boquillas una con oxígeno y otra con acetileno, dependiendo del material se gradúan los 2 gases que funden el material uniéndolo con o sin material de

	aporte
<b>Curado y sinterizado</b>	Proceso en el cual se ponen las piezas en un horno el cual las calienta y crea una mejor unión de las piezas
<b>Aplicación de masilla poliéster</b>	Proceso en el cual se aplica la masilla con o sin catalizador en la pieza con el fin de mejorar el acabado, posteriormente se lija para retirar el exceso de masilla
<b>Aplicación de estuco</b>	Proceso en el cual se aplica estuco a una pieza para mejorar su acabado, este no necesita catalizador, luego se lija para quitar el exceso de estuco
<b>Resane de madera</b>	Proceso en el cual se aplican diferentes mezclas con aserrín con el fin de mejorar las superficies de madera, posteriormente se puede lijar para mejorar la superficie
<b>Aplicación de laca a base de tiner</b>	Aplicación de laca de colores o protectora a diferentes metales, puede ser en aerosol o preparada en aerógrafo
<b>Aplicación de laca catalizada</b>	Aplicación de laca con catalizador para madera para dar color o protección de la misma, puede ser en aerosol o preparada en aerógrafo
<b>Aplicación de esmaltes domésticos</b>	Aplicación con brocha o con aerógrafo a diferentes metales, se dan varias capas para mejor acabado
<b>Aplicación de esmaltes poliuretanos</b>	Aplicación a diferentes materiales para dar color, se dan varias capas manuales o con aerógrafo
<b>Aplicación de bases</b>	Aplicación de bases para mejor adherencia de la pintura al material, se da antes del pintado y puede ser manual o con aerógrafo
<b>Aplicación de vinilos</b>	Aplicación de vinilos a diferentes materiales manual o con aerógrafo

**Tabla 27. Descripción de procesos de producción**

## 7.5 Tablas de procesos de producción

### 5.2.1 Tabla de procesos comunes:

#### 5.2.1.1 Fundición

	<b>1-100</b>	<b>100-1000</b>	<b>1000-10000</b>
<b>En arena</b>	C, H, J, L, Q	C, H, I, J, L	-
<b>En cascara</b>	-	A, B, C, D, E, F, K	A, B, C, D, E, F, K
<b>Centrifuga</b>	A, B, C, D, E, F, K, P	A, B, D, F, K	A, B, C, D, E, F, K
<b>Precisión</b>	A, G, L	A, G, L	A, G
<b>Molde de cerámica</b>	A, B, C, D, E, F, G, H, I, K	A, B, C, D, E, F, G, H, I, K	A, B, C, D, K
<b>Molde de yeso</b>	-	E, F, G, H, I, J	E, F, G, H, I, J

**Tabla 28. Procesos comunes - Fundición**

#### 5.2.1.2 Moldeo

	<b>1-100</b>	<b>100-1000</b>	<b>1000-10000</b>
<b>Por inyección</b>	-	-	O
<b>Por compresión</b>	-	M, N, O	N
<b>Por transferencia</b>	-	-	M, N, O
<b>Al vacío</b>	M, N	M	M
<b>Por soplado</b>	-	-	M
<b>Extrusión continua</b>	-	-	-

**Tabla 29. Procesos comunes – Moldeo**

**5.2.1.3 Formado**

	<b>1-100</b>	<b>100-1000</b>	<b>1000-10000</b>
<b>En dado cerrado</b>	-	-	B, C, D, E, F, G, K, L
<b>Rolado</b>	-	-	-
<b>Dibujado metálico</b>	-	-	B, D, E, F, G, H, I, J, K
<b>Formado en frio</b>	-	-	B, C, G
<b>Estampación en frio</b>	-	E	-
<b>Estampación</b>	-	-	-
<b>Formado Superplástico</b>	F, L	D, F, L	D, F, L
<b>Corte de perfiles de metal</b>	-	-	-
<b>Formado de perfiles de metal</b>	-	-	-
<b>Hilado de metal</b>	B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L	B, D, E, F, G, H, I, J, K, L	B, D, E, F, G, H, I, J, K, L
<b>Formado de polvo metálico</b>	-	-	A, B, C, D, E, F, K, L

**Tabla 30. Procesos comunes - Formado**

**5.2.1.4 Maquinado**

	<b>10-100</b>	<b>100-1000</b>	<b>1000-10000</b>
<b>Manual</b>	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L	-
<b>Automático</b>	-	-	A, B, C, D, E, F, G, H, K, L

**Tabla 31. Procesos comunes - Maquinado**

## 5.2.2 Procesos no comunes (NTM):

### 5.2.2.1 Mecanizado

	<b>1-100</b>	<b>100-1000</b>	<b>1000-10000</b>
<b>Por descarga eléctrica</b>	B, C, D, E, G, K, L, P	B, C, D, E, K, L, P	-
<b>Por haz de electrones</b>	-	A, B, C, D, E, F, K, L, P	B, C, D, E, F, K, L, P
<b>Por laser</b>	-	A, B, C, D, E, F, K, L	B, C, D, E, F, K, L, P
<b>Ultrasónico</b>	B, C, D, K, L, P	B, C, L, P	
<b>Por chorro abrasivo</b>	C, L, M, N, P, Q	B, C, L, O, P, Q	-

**Tabla 32. Procesos no comunes – Mecanizado**

<b>CONVENCIONES DE LOS MATERIALES</b>	
A	Hierro
B	Acero
C	Aleaciones de acero
D	Acero inoxidable
E	Cobre y sus aleaciones
F	Aluminio y sus aleaciones
G	Magnesio y sus aleaciones
H	Zinc y sus aleaciones
I	Estaño y sus aleaciones
J	Plomo y sus aleaciones
K	Níquel y sus aleaciones
L	Titanio y sus aleaciones
M	Termoplásticos
N	Termoestables
O	Compuestos
P	Cerámicos
Q	Metales refractarios
R	Metales preciosos

**Tabla 33. Convenciones de los materiales**

## 7.6 Cotización.

Asunto: Cotización

Señores

Para el 1 de enero del 2014 se va iniciar con el proceso de industrialización de un nuevo producto, en estos momentos estamos en procesos de búsqueda y selección de proveedores, se adjuntan los planos de las piezas o listas de partes, la producción o cantidad de partes requeridas es de 500 unidades.

La información que se requiere es la siguiente:

<b>Criterio</b>	<b>Unidad de medida</b>
Precio	COP
Descuento por volumen	%
Plazo de pago	Días
Certificaciones	ICONTEC u otras
Tiempo de garantía	Meses
Tolerancias	mm, $\mu$ m
Plazo de entrega	Días
Transporte	COP

Por favor confirmar la disponibilidad para la fecha y si cuentan con la capacidad para la entrega.

Gracias

Firma

---

## 7.7 Calcular eficiencia del diseño (Referencia LUCAS)

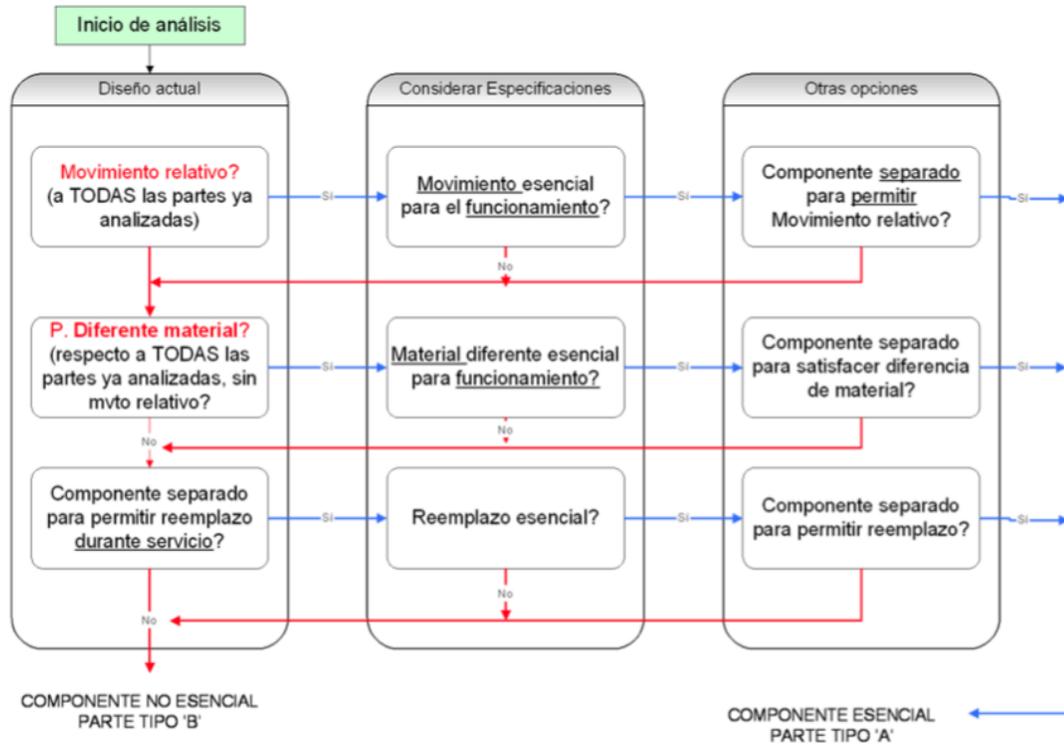


Diagrama 11. Eficiencia funcional

## 7.8 Clasificación de la forma A

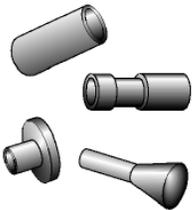
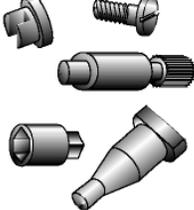
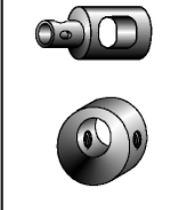
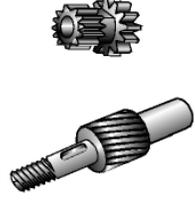
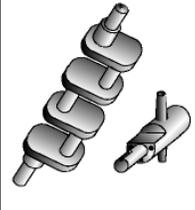
<b>A</b>  <b>Part Envelope is Largely a Solid of Revolution</b>				
Single/Primary Axis		Secondary Axes: Straight line features parallel and/or perpendicular to primary axis		Complex Forms
Basic rotational features only	Regular secondary/repetitive features	Internal	Internal and/or external features	Irregular and/or complex forms
A 1	A 2	A 3	A 4	A 5
				
<b>Category Includes:</b> Rotationally symmetrical/grooves, undercuts, steps, chamfers, tapers and holes along primary axis/centre line.	Internal/external threads, knurling and simple contours through flats/splines/keyways on/around the primary axis/centre line.	Holes/threads/counterbores and other internal features not on the primary axis.	Projections, complex features, blind flats, splines, keyways on secondary axes.	Complex contoured surfaces, and /or series of features which are not represented in previous categories.

Tabla 34. Clasificación de la forma A

## 7.9 Clasificación de la forma B

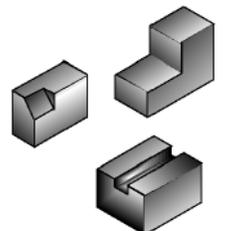
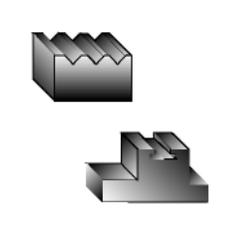
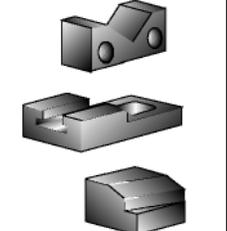
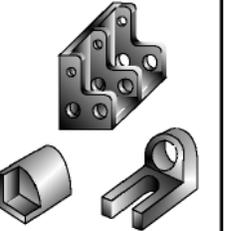
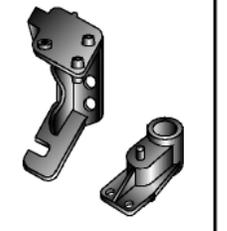
<b>B</b>  <b>Part Envelope is Largely a Rectangular or Cubic Prism</b>				
Single Axis/Plane		Multiple Axes		Complex Forms
Basic features only	Regular secondary/repetitive features	Orthogonal/straight line based features	Simple curved features on a single plane	Irregular and/or contoured forms
B 1	B 2	B 3	B 4	B 5
				
<b>Category Includes:</b> Through steps, chamfers and grooves/channels/slots and holes/threads on a single axis.	Regular through features, T-slots and racks/plain gear sections etc. Repetitive holes/threads/counter bores on a single plane.	Regular orthogonal/straight line based pockets and/or projections on one or more axis. Angled holes/threads/counter bores.	Curves on internal and/or external surfaces.	Complex 3-D contoured surfaces/geometries which cannot be assigned to previous categories.

Tabla 35. Clasificación de la forma B

## 7.10 Clasificación de la forma C

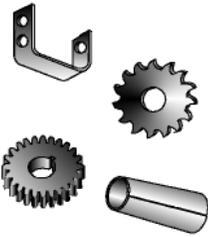
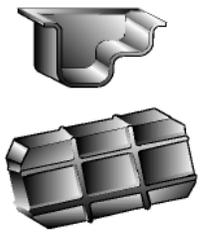
 <b>Flat Or Thin Wall Section Components</b>				
Single Axis	Secondary/Repetitive Regular Features		Regular Forms	Complex Forms
Basic features only	Uniform section/ wall thickness	Non-uniform section/ wall thickness	Cup, cone and box-type parts	Non-uniform and/or contoured forms
C 1	C 2	C 3	C 4	C 5
				
<b>Category Includes:</b> Blanks, washers, simple bends, forms and through features on or parallel to primary axis.	Plain cogs/gears, multiple or continuous bends and forms.	Component section changes not made up of multiple bends or forms. Steps, tapers and blind features.	Components may involve changes in section thickness.	Complex or irregular features or series of features which are not represented in previous categories.

Tabla 36. Clasificación de la forma C

## 7.11 Coeficiente de desperdicio

Convenciones:

**AM** Mecanizado automático.

**CCEM** Extrusión continua en frío de metales.

**CDF** Forja de dado cerrado.

**CEP** Extrusión continua de plásticos.

**CF** Conformación en frío.

**CH** Estampación en frío.

**CMC** Fundición en molde cerámico.

**CNC** Mecanizado por control numérico.

**CPM** Moldeo por compresión.

**GDC** Fundición por gravedad.

**HCEM** Extrusión continua en caliente de metales.

**IC** Fundición por inversión.

**IM** Moldeo por inyección.

**MM** Mecanizado manual.

**PDC** Fundición a presión.

**PM** Metalurgia de polvos.

**SM** Moldeo en cáscara.

**SC** Fundición en arena.

**SMW** Trabajo en lámina metálica.

**VF** Formado en vacío.

Process Shape Classification	AM	CCEM	CDF	CEP	CF	CH	CMC	CNC	CPM	GDC	HCEM	IC	IM	MM	PDC	PM	SM	SC	SMW	VF
A1	1.6	1	1.1	1	1	1	1.1	1.6	1	1	1	1	1.1	1.6	1	1	1	1.1		1
A2	2	1	1.1	1.1	1	1	1.1	2	1.1	1.1	1	1	1.1	2	1.1	1	1.1	1.1		1.1
A3	2.5	1.5	1.2		1	1	1.2	2.5	1.1	1.1	1.5	1.1	1.1	2.5	1.1	1	1.1	1.2		1.1
A4	3	2	1.2				1.3	3	1.2	1.2	2	1.1	1.1	3	1.2	1	1.2	1.3		1.2
A5	4	3	1.3				1.4	4	1.3	1.3	3	1.2	1.2	4	1.3	1.2	1.3	1.4		1.3
B1	1.7	1	1.1	1	1	1	1.1	1.7	1	1	1	1	1.1	1.7	1	1	1	1.1		1
B2	2.2	1	1.1	1.1	1	1	1.1	2.2	1.1	1.1	1	1	1.1	2.2	1.1	1	1.1	1.1		1.1
B3	2.8	1.5	1.2		1	1	1.2	2.8	1.1	1.1	1.5	1.1	1.1	2.8	1.1	1	1.1	1.2		1.1
B4	4	2	1.2				1.3	4	1.1	1.2	2	1.1	1.1	4	1.2	1	1.2	1.3		1.1
B5	6	3	1.3				1.4	6	1.2	1.3	3	1.2	1.2	6	1.3	1.2	1.3	1.4		1.2
C1	1.8	1	1.1	1	1	1	1.1	1.8	1	1	1	1	1.1	1.8	1.1	1	1.1	1.1	1.2	1
C2	2.4	1	1.1	1.1	1	1	1.2	2.4	1.1	1.1	1	1	1.1	2.4	1.1	1	1.1	1.2	1.2	1.1
C3	4	2	1.1		1	1	1.3	4	1.1	1.1	2	1.1	1.1	4	1.1	1	1.1	1.3	1.4	1.1
C4	6	3	1.2				1.4	6	1.1	1.2	3	1.1	1.2	6	1.2	1	1.2	1.4	1.5	1.1
C5	8	4	1.3				1.6	8	1.2	1.3	4	1.2	1.3	8	1.3	1.2	1.3	1.6	1.6	1.2

**Tabla 37. Coeficiente de desperdicio**

## 7.12 Costo de proceso base

PROCESS	Impact Ext	Sand Cast	Die Cast	Forge	Press	Auto M/C	Manual M/C	Power Met	Plastic Mould
Per Annum Quantity									
10	20000	513	10000	15000	8000	5000	505	50000	10000
50	4000	113	2000	3000	1600	1000	105	10000	3000
100	2000	63	1000	1500	800	500	55	5000	1000
200	1000	38	500	750	400	250	30	2500	500
400	500	26	250	376	200	126	18	1250	250
600	330	21	168	251	134	85	14	836	167
800	250	19	126	189	100	64	11	628	126
1000	200	18	100	151	80	51	10	500	100
2000	100	16	51	76	40	26	7.7	253	51
4000	50	14.3	26	39	20	14	6.5	128	26
6000	35	13.8	17	26	14	9.6	6	86	17
8000	26	13.6	13	20	10	7.5	5.8	66	13
10000	21	13.5	11	16	8	6.2	5.7	53	11
20000	11	13.3	5.8	8.7	4.4	3.7	5.46	28	5.8
30000	7.3	13.2	4.1	6.2	3.1	2.9	5.38	19.7	4.1
40000	5.6	13.1	3.3	5	2.4	2.47	5.34	15.5	3.3
50000	4.6	13.1	2.8	4.2	2	2.22	5.31	13	2.8
60000	3.9	13.1	2.4	3.7	1.8	2.05	5.29	11.4	2.4
70000	3.5	13.1	2.2	3.4	1.6	1.93	5.28	10.2	2.2
80000	3.3	13.1	2	3.1	1.4	1.85	5.27	9.3	2
90000	2.8	13.1	1.9	2.9	1.3	1.78	5.26	8.6	1.9
100000	2.6	13.1	1.78	2.7	1.2	1.72	5.26	8.	1.8

Tabla 38. Costo de proceso base

### 7.13 Complejidad de la forma

	Impact Ext.	Sand Cast	Die Cast	Forge	Press	Machine	Powder Net	Plastic Mould
A1	1	1	1	1		1	1	1
A2	1	1.2	1.1	2.1		1.2	2.1	1.1
A3	3	1.3	1.3	2.3		2.9	2.3	1.3
A4		1.8	2	2.6		5.3	2.6	2
A5		3.2	3.8	3		6.1	4	3.8
B1	2	1.1	1	1		1	1	1
B2	3	1.2	2.2	2.2		1.3	1.3	1.3
B3	5	1.4	2.2	2.2		2.6	1.7	1.8
B4		1.8	2.3	2.3		2.6	1.7	1.8
B5		2.6	2.7	2.7		2.8	3.5	3
C1	1.5	2.1	2.1	1	1	1	1	1
C2	3	2.3	2.2	1.2	1.2	1.4	1	1.2
C3	3.5	2.8	2.3	1.6	1.5	3.1	1.4	1.8
C4		3.7	2.5	2.5	2.2	5.4	2.4	2.9
C5		5	3.6	3.4	2.5	6.5	4	3.6

Tabla 39. Complejidad de la forma

### 7.14 Conveniencia material proceso

Convenciones:

CM 2.5 Fresado químico de 2.5mm de profundidad máxima.

CM 5 Fresado químico de 5mm de profundidad máxima.

Material \ Process	AM	CCEM	CDF	CEP	CF	CH	CM2.5	CM5	CMC	CNC	CPM	GDC	HCEM	IC	IM	MM	PDC	PM	SM	SC	SMW	VF
Cast Iron	1.2						1	1	1	1.2				1		1.2		1.6	1	1		
Low Carbon Steel	1.4	1.3	1		1.3	1.3	1	1	1.2	1.4			1.3	1		1.4		1.2	1.2	1.2	1.2	
Alloy Steel	2.5	2	2		2	2	1	1	1.3	2.5			2	1		2.5		1.1	1.3	1.3	1.5	
Stainless Steel	4	2	2		2	2	1	1	1.5	4			2	1		4		1.1	1.5	1.5	1.5	
Copper Alloy	1.1	1.1	1		1	1			1	1.1			1	1		1.1	3	1	1	1	1	
Aluminium Alloy	1	1.1	1		1	1			1	1		1.5	1.1	1		1	1.5	1	1	1	1	
Zinc Alloy	1.1	1	1		1	1			1	1.1		1.2	1	1		1.1	1.2	1	1	1	1	
Thermoplastic	1.1			1						1.1	1.2				1	1.1						1
Thermoset	1.2			1.2						1.2	1				1	1.2						
Elastomer	1.1			1.5						1.1	1.5				1.5	1.1						

Tabla 40. Conveniencia material proceso

## 7.15 Sección mínima

Min Section	Impact Ext.	Sand Cast	Die Cast	Forge	Press	Machine	Powder Net	Plastic Mould
≤ 0.4	1				1	1.6		2
>0.4 - 0.6	1		1.5		1	1.4		1.2
>0.6 - 1.0	1		1	1.5	1	1	1.2	1
>1.0 - 3.0	1	2	1	1	1	1	1	1
>3.0 - 5.0	1	1	1	1	1.2	1	1	1
>5.0	1	1	1	1	1.7	1	1	1

Tabla 41. Sección mínima

## 7.16 Requisitos de tolerancia

PROCESS	Impact Ext			Sand Cast			Die Cast			Powder Met			Forge			Press Working			Plastic Mould			Machine		
	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+
TOLERANCE (mm)	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+
≤ 0.004	3.7	5.3	6.1	4.6	5.6	6.8	5.1	6.1	7	3.1	4.6	5.4	4.3	5.6	6.6	4.6	5.4	6.5	4.8	6.3	7.1	3.7	5.3	
>0.004-0.01	2.8	3.1	4.3	3.5	3.8	4.9	3.5	4.2	5	1.4	1.7	2.1	3.2	3.5	4.6	3.2	3.8	4.5	3.6	3.9	5.2	2.8	3.1	4.3
>0.01-0.03	1.9	2.4	2.6	2.8	3	3.2	2.8	3	3.6	1	1.1	1.4	2.6	2.8	3	2.6	2.8	3.2	2.9	3.4	3.4	2.2	2.4	2.6
>0.03-0.05	1.1	1.5	1.9	2.4	2.5	2.8	2.8	2.5	2.8	1	1	1	2.3	2.4	2.5	2.2	2.4	2.5	1.9	2.1	2.3	1.2	1.4	1.6
>0.05-0.08	1	1	1	2.2	2.4	2.5	1.5	2	2.4	1	1	1	2.2	2.3	2.4	1	1.4	1.6	1	1	1	1.1	1.2	1.4
>0.08-0.15	1	1	1	2	2.2	2.4	1	1.4	2	1	1	1	1.9	2.2	2.3	1	1	1	1	1	1	1.1	1.2	
>0.15-0.3	1	1	1	1.9	2	2.2	1	1	1	1	1	1	1.8	1.9	2.2	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1
>0.3	1	1	1	1.5	1.7	1.9	1	1	1	1	1	1	1.4	1.6	1.8	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 42. Requisitos de tolerancia

## 7.17 Requisitos de acabado superficial

PROCESS	Impact Ext			Sand Cast			Die Cast			Powder Met			Forge			Press Working			Plastic Mould			Machine			
	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	
super fine ground	<=0.4	4.3	5.1	6.3	4.9	5.6	6.6	4.3	5.1	6.3	4.3	5.1	6.3	4.9	5.65	6.6	4.4	5.3	6.8	1.2	1.2	1.2	4.14	4.84	
fine ground	>0.4-0.6	2	2.5	2.9	3.9	4.2	4.6	1.2	1.5	1.7	2	2.5	2.9	3.2	3.4	3.8	1.3	1.5	1.8	1	1	1	1.2	1.5	1.7
medium ground	>0.6-0.8	1.1	1.2	1.4	3	3.2	3.5	1.1	1.2	1.5	1.1	1.2	1.5	2.6	2.8	3	1.1	1.2	1.5	1	1	1	1.1	1.3	1.5
coarse ground	>0.8-1.0	1	1.1	1.2	2.5	2.6	3	1	1.1	1.3	1	1.1	1.3	2.3	2.4	2.6	1	1	1.2	1	1	1	1	1	1.3
semi fine	>1.0-3.0	1	1	1	2.3	2.4	2.6	1	1	1	1	1	1	1.9	2	2.2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
medium fine	>3.0-5.0	1	1	1	2	2.1	2.3	1	1	1	1	1	1	1.4	1.5	1.7	1	1	1	1	1	1	1	1	1
semi rough	>5.0-10.0	1	1	1	1.9	2	2.1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
very rough	>10.0	1	1	1	1	1.1	1.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 43. Requisitos de acabado superficial

## 7.18 Limitaciones del proceso

Process	Part size	Tolerances <sup>a</sup>	Surface finish	Shapes produced competitively <sup>b</sup>
Sand casting	Weight: 0.2 lb–450 ton Min. wall: 0.125 in.	General: $\pm 0.02$ (1 in.), $\pm 0.1$ (24 in.) For dimensions across parting line add $\pm 0.03$ (50 in. <sup>2</sup> ), $\pm 0.04$ (200 in. <sup>2</sup> )	500–1000 $\mu$ in.	Large parts with walls and internal passages of complex geometry requiring good vibration damping characteristics
Investment casting	Weight: 1 oz–110 lb Major dimension: to 50 in. Min. wall: 0.025 (ferrous), 0.060 (nonferrous)	General: $\pm 0.002$ (1 in.) $\pm 0.004$ (6 in.)	63–25 $\mu$ in.	Small intricate parts requiring good finish, good dimensional control, and high strength
Die casting	Min. wall (in.): 0.025 (Zn), 0.05 (Al, Mg) Min. hole dia. (in.): 0.04 (Zn), 0.08 (Mg), 0.1 (Al) Max. weight (lb): 35 (Zn), 20 (Al), 10 (Mg)	General: $\pm 0.002$ (1 in.) $\pm 0.005$ (6 in.) (Zinc) $\pm 0.003$ (1 in.), $\pm 0.006$ (6 in.) (Alum, Mg) Add $\pm 0.004$ across parting line or moving core	32–85 $\mu$ in.	Similar to injection molding
Injection molding (thermoplastics)	Envelope: 0.01 in. <sup>3</sup> –80 ft <sup>3</sup> Wall: 0.03–0.250 in.	General: $\pm 0.003$ (1 in.), $\pm 0.008$ (6 in.) Hole dia.: $\pm 0.001$ (1), $\pm 0.002$ (1 dia.) Flatness: $\pm 0.002$ in./in. Increase tol. 5% for each additional mold cavity Increase tolerance: $\pm 0.004$ for dimensions across parting line	8–25 $\mu$ in.	Small-to-medium sized parts with intricate detail and good surface finish
Structural foam molding	Weight: 25–50 lb Wall: 0.09–2.0 in.	Approximately that of injection molding	Poor; paint generally required properties	Large, somewhat intricate parts, requiring high stiffness and/or thermal or acoustical insulating properties
Blow molding (extrusion and injection)	Envelope: Up to 800 gal containers (105 ft <sup>3</sup> ) Wall: 0.015–0.125 in.	General: $\pm 0.02$ (1 in.), $\pm 0.04$ (6 in.) Wall: $\pm 50\%$ of nominal wall Neck: $\pm 0.004$ (injection only)	250–500 $\mu$ in.	Hollow, well-rounded thin-walled parts with low degree of asymmetry
Rotational molding	Envelope: Up to 5000 gal containers (670 ft <sup>3</sup> ) Wall: 0.06–0.40 in.	General: $\pm 0.025$ (1 in.) $\pm 0.05$ (6 in.), $\pm 0.01$ (24) Wall: $\pm 0.015$	Poor; parts generally textured	Large containers with minimal detail
Impact extrusion (forward and backward)	Dia: 0.075–2.5 in. Length: 3–24 in.	O.D.: $\pm 0.002$ (0.5 in.) I.D.: $\pm 0.003$ (5 in.) Bottom dia: $\pm 0.005$ (5 in.) Tolerances approximately 50% greater for rectangular parts	20–63 $\mu$ in.	Approx. 1–2 in. dia. part with a closed end thicker than side walls (backward extrusion) Headed parts with large L/D ratio and zero draft (forward extrusion) Comb. of forward/backward common
Cold heading	Shank dia.: 0.03–2.0 in. Length: 0.6–9.0 in.	Head height: $\pm 0.006$ (0.025 shank dia.), $\pm 0.008$ (0.50 shank dia.) Head dia. $\pm 0.01$ (0.25 shank dia.), $\pm 0.018$ (0.50 shank dia.) Length: $\pm 0.03$ (1 in.)	32–85 $\mu$ in.	Small symmetrical, or near symmetrical, headed cylindrical parts, with shank length greater than shank dia.
Hot forging (closed die)	Weight: 0.1–500 lb	Perpendicular to die motion: $\pm 0.7\%$ of dimension Parallel to die motion: $\pm 0.03$ (10 in. <sup>2</sup> area), $\pm 0.12$ (100 in. <sup>2</sup> area)	125–250 $\mu$ in.	Parts of moderate complexity, in a wide range of sizes, whose failure in service would be catastrophic

Process limitations	Typical application	Mat'ls <sup>c</sup>	Comments
<p>Secondary machining usually required</p> <p>Production rates often lower than that for other casting processes</p> <p>Tolerances, surface finish coarser than other casting processes</p> <p>Requires generous draft (approx. 3 deg) and radii (approx. equal to thickness)</p> <p>Most investment castings are less than 12 in. long and less than 10 lb</p> <p>L/D ratio of through or blind holes less than 4:1 and 1:1, respectively</p> <p>Tooling cost and lead time generally greater than for other casting processes except die casting</p> <p>Trimming operations required for flash and overflow removal</p> <p>Porosity can be present</p> <p>Die life limited to approximately 200k shots in Al or Mg or 1 million in Zn</p>	<p>Engine blocks</p> <p>Engine manifolds</p> <p>Machine bases</p> <p>Gears Pulleys</p> <p>Turbine blades</p> <p>Burner nozzles</p> <p>Armament components</p> <p>Lock components</p> <p>Sewing machine components</p> <p>Industrial handtools bodies</p> <p>Similar to injection molding in part geometry, but particularly suited where higher mechanical properties or the absence of creep are required</p>	<p>1, 2, 3</p> <p>4, 5, 6</p> <p>7<sup>d</sup>, 8, 12</p> <p>2, 3, 4<sup>d</sup></p> <p>5, 6, 8</p> <p>12</p> <p>5, 6<sup>d</sup>, 7</p> <p>8</p>	<p>Very flexible manufacturing process in terms of possible geometries, part size, and possible materials</p> <p>Pattern in reusable and mold expendable</p> <p>Expendable pattern and mold</p> <p>Greater flexibility in material choices or part geometry than die casting, but much higher production costs</p> <p>Less susceptible to porosity than most casting process</p> <p>Multiple parts may be cast simultaneously around central sprue</p> <p>Produces thinnest walls of all casting processes</p> <p>Production rate approximately 100 parts/h in alum and approximately 200 parts/h in zinc</p> <p>Tooling cost and lead time similar to that for injection molding but trimming and surface treatment can make process less economic</p>
<p>Tooling is costly and requires greater lead time than most alternative processes</p> <p>Poor design can result in high levels of molded-in stress, resulting in warpage or failure</p>	<p>Numerous applications, often replacing die casting or sheet metal assemblies</p>	<p>10, 11</p>	<p>Typical cycle time 20–40 s</p> <p>Details such as living hinges, insert molding and snap features allow significant opportunity for part consolidation</p> <p>Injection molding of thermoset materials also possible: longer cycle time, no reprocessing of waste, generally harder, more brittle, but more stable material which can be used at higher service temperatures</p>
<p>Details as sharp as those of injection molding not possible</p> <p>Cycle time is long (2–3 min)</p>	<p>Pallets, housing, drawers, TV cabinets, fan shrouds</p>	<p>10</p>	<p>Tooling approximately 20% less than for injection molding</p> <p>Solid skin approximately 0.03–0.8 in. thick; entire wall cross section has densities between 50% and 90% of solid weight</p> <p>Process generates a low level of internal stress</p> <p>RIM is a similar foaming process utilizing thermosets (generally polyurethane)</p>
<p>With extrusion blow molding, some geometries produce a high level of material scrap</p> <p>Integral handles possible with extrusion blow molding only</p> <p>Poor control of wall thickness</p>	<p>Most polymer containers to 5 gal</p> <p>Toys</p> <p>Auto heater ducting</p>	<p>10</p>	<p>Injection blow molding: smaller parts, more accurate necks</p> <p>Extrusion blow molding: more asymmetrical parts, less costly tooling</p> <p>High production rates, particular for injection blow molding (as low as 10 s per cycle)</p>
<p>Abrupt wall changes, long, thin projections, and small separations between opposing part surfaces not possible</p>	<p>Toys</p> <p>Containers</p>	<p>10</p>	<p>Cycle time 8–20 min</p> <p>Inserts for securing or stiffening are possible</p> <p>Less detail possible than with blow molding</p>
<p>Flat inner bottom requires additional operation</p> <p>Tooling costs are high</p> <p>Maximum L/D ratio for backward extrusion is 10 (in some aluminum alloys)</p> <p>L/D ratio almost unlimited in forward extrusion</p> <p>Tolerances not as good as machining</p>	<p>Fasteners</p> <p>Sockets for socket wrench</p> <p>Gear blanks with shank</p>	<p>2, 3<sup>d</sup>, 5</p> <p>6, 7, 8</p>	<p>Generally chosen over screw machined part if material savings are significant (approximately 25% or more)</p> <p>Significant improvement in mechanical properties due to cold working, allowing further material reduction</p> <p>Limited asymmetry possible</p>
<p>Seldom used for diameters greater than 1.25 in. Must allow much more generous radii than with machining</p> <p>Significant asymmetry difficult</p>	<p>Nails</p> <p>Fasteners</p> <p>Spark plug pot</p> <p>Ball joint</p> <p>Shafts</p>	<p>2, 3, 4<sup>d</sup></p> <p>5, 6, 12<sup>d</sup></p>	<p>Minimization of shank diameter and upset volume important</p> <p>Production rates 35–120 parts/min</p> <p>Process can also be carried out warm (800–1200° F)</p>
<p>Holes may not be produced directly</p> <p>Flash must be removed and secondary machining is often required</p> <p>Die wear and die mismatch can be significant</p> <p>Generous draft angles and radii are suggested</p>	<p>Crankshafts</p> <p>Airframe components</p> <p>Tools</p> <p>Nuclear components</p> <p>Agricultural components</p>	<p>2, 3, 4</p> <p>5, 6, 8</p> <p>9, 12<sup>d</sup></p>	<p>By controlling material flow, grain structure may be applied with the direction of principal stress</p> <p>Closed die forgings nearly always pass through series of impressions before completion</p> <p>In decreasing order of forgability: Al, Mg, steel, St steel, titanium, high-temperature</p>

Process	Part size	Tolerances <sup>a</sup>	Surface finish	Shaped produced competitively <sup>b</sup>
Pressing and sintering (power metal parts)	Min. wall: 0.06 in. Min. hole dia. 0.06 in. Max. length (in direction of press): 4.0 in. Max. projected area: 40 in. <sup>2</sup>	Perpendicular to press direction: $\pm 0.15\%$ of dimension ( $\pm 0.05\%$ if repressed) Parallel to press direction: $\pm 0.30\%$ of dimension	8–50 $\mu\text{in.}$	Small parts of uniform height with parallel, but fairly intricate walls
Rotary swaging	Dia.: 0.01–5.0 in. (bar), 14 in. (tubing)	Dia.: $\pm 0.003$ (1 in.)	20% of original stock finish (5-fold improvement)	Tapered cylindrical rod or tubing
Hot extrusion	Cross-sectional area: 0.1–225 in. <sup>2</sup> (Alum), 0.5–4.0 in. <sup>2</sup> (LC steel) Min. wall: 1.5% of circumscribed dia.	General: $\pm 0.01$ (1 in.) $\pm 0.03$ (6 in.) ( $\pm 0.005$ if cold drawn after extrusion) Angles $\pm 2$ deg. Twist: 1 deg. per foot for width less than 2 in. Flatness: 0.004 in./in.	63 $\mu\text{in.}$ (Alum), 125 micro-includes (LC steel)	Straight part with constant cross section that is fairly complex, but balanced, without extreme change in wall thickness
Machining (from stock)	Limited only by machine capability	Turning $\pm 0.001$ , boring $\pm 0.0005$ , Milling $\pm 0.002$ , Drilling $\pm 0.008$ –0.002, Broaching $\pm 0.005$ , Grinding $\pm 0.002$ (dia.); $\pm 0.008$ (surface), Reaming, $\pm 0.001$ (all for dimensions of 1 in.)	Turning 63–125 Boring 32–125 Milling 63–125 Drilling 63–250 Grinding 8–32 Reaming 63	Rotational: Axisymmetrical part with L/D ratio of 3 or less and major dia. of 2 in. or less Nonrotational: Rectangular part with all feature parallel and open in the same direction
Electrochemical machining (ECM)	Min. hole diam.: 0.01 in. Max. hole depth: 50 $\times$ dia.	General: $\pm 0.001$	8–63 $\mu\text{in.}$	Highly accurate complex, or finely detailed shapes in hardened materials or those susceptible to damage due to heat build-up Production of high aspect or burr-free holes and processing of flimsy materials
Electrical discharge machining (EDM)	Min. hole dia.: 0.002 Min. slot width: 0.002 in.	General: $\pm 0.001$	8–250 $\mu\text{in.}$ (dependent on removal rate)	Same as ECM
Sheet metal stamping/bending	Material thickness 0.001–0.75 in. (normally 0.050–0.375 in.) Area: 80 ft <sup>2</sup> with turret press and press brake, 10 ft <sup>2</sup> with die sets	Punching or stamping: $\pm 10\%$ of mat'l. thickness (2.0 in.) Press brake: $\pm 2$ deg. on bend, $\pm 0.015$ in. hole-to-bend	For cold rolled sheet or coil: 32–125 $\mu\text{in.}$	Moderate complexity parts of constant material thickness with flanges in a single direction
Thermoforming	Area: 1 in. <sup>2</sup> –300 ft <sup>2</sup>	General: $\pm 0.05\%$ of dimension Wall: $\pm 20\%$ of nominal	60–120 $\mu\text{in.}$	Large, shallow, thin wall parts with generous radii
Metal spinning	Dia.: 25 in.–26 ft Mat'l. thickness: (Alum), 0.004–1.5 (LC steel), (0.025–0.05 in. most common)	Dia.: $\pm 0.01$ (1 in.), $\pm 0.03$ (24 in.) Angle: $\pm 3$ deg	32–65 $\mu\text{in.}$	Thin-walled conical shape with diameter greater than twice depth

<sup>a</sup> Limits shown represent fine tolerances. More stringent requirements will significantly increase cost. <sup>b</sup> Part types that can be produced cost effectively in comparison to other processes. <sup>c</sup> Materials. <sup>d</sup> Used on a limited basis: 1, cast iron; 2, carbon steel; 3, alloy steel; 4, stainless steel.

Process limitations	Typical application	Mat'ls. <sup>c</sup>	Comments
Generally lower mechanical properties than wrought metals Undercuts, off-axis holes, and threads cannot be produced directly Thin sections and feature edges should be avoided Max. L/D ratio approximately 3	Small gears Lock mechanisms components Small arms parts Filters Bearings	1, 2, 3 4, 5, 6 9 <sup>d</sup> , 12 <sup>d</sup>	Production rates approximately 700 parts/h Impregnation with lubricants gives self-lubrication properties Density range 75%-95% (compared to raw material) Maximum compression ratio (powder volume before and after pressing and sintering) approximately 2.5:1 Tooling costs are generally less than those for cold extrusion or cold heading Noncylindrical part can be swaged in stationarily die machines Production rates can range from 100-3000 parts/h Shapes like splines can be produced by swaging tubing over an internal former called a mandrel
Taper should be 6 degrees or less included angle for manual feeding and up to 14 degrees for power feed Shoulders perpendicular to part axis not possible	Tube: Gold club shafts, table legs, exhaust pipes Bar: Punches, screwdriver blades	2, 3, 4 5, 6, 7 <sup>d</sup> 8 <sup>d</sup> , 12	Plastic working produces favorable grain structure Maximum extrusion ratios are 40:1 (Alum), 5:1 (LC steel) Shorter setup time than rolling, but a lower production rate (1-8 ips) crossover point at approximately 50,000 ft Low tooling costs, therefore short runs can often be justified if part consolidation and integral fastening is considered. Closer to true CAD/CAM link than most other processes Most flexible of manufacturing processes
Dimensional accuracy and part-to-part consistency generally not as high as competing processes. Warp and twist can be troublesome Use of materials other than aluminum and copper alloys can cause some shape restrictions Avoid knife edges and long, unsupported projections	Heatsinks Structural corner and edge members Decorative trim	2, 3 <sup>d</sup> , 4 <sup>d</sup> 5, 6, 7 <sup>d</sup> 8, 9 <sup>d</sup>	
Little opportunity for part consolidation Most parts produced by a sequence of several operations and machines Need for multiple operations can impact part quality Tool wear is significant	Widely varied applications	1, 2, 3 4, 5, 6 7 <sup>d</sup> , 8, 9 <sup>d</sup> 10 <sup>d</sup> , 11 <sup>d</sup> 12 <sup>d</sup>	
Some taper of walls Minimum radius of 0.002 all around Material must be electrically conductive	Various jet engine parts	1 <sup>d</sup> , 3, 6 <sup>d</sup> 9, 12	Material removal rates much greater than EDM (approximately 5 in. <sup>3</sup> /min.) although tooling, equipment and energy costs are much higher Surface finish not nearly as closely tied to removal rates as with EDM Generally more cost-effective than precision machining and grinding for all but the most easily machined materials
Electrode wear impacts accuracy and requires periodic replacement Material removal rate is extremely slow (0.01-0.5 in. <sup>3</sup> /h) Additional limitations identical to ECM	Due to low production rates, EDM is generally used in toolmaking rather than part production, or for deburring, where other methods aren't satisfactory	2 <sup>d</sup> , 3 <sup>d</sup> 5 <sup>d</sup> , 6, 9 <sup>d</sup> 12 <sup>d</sup>	A very different variation of conventional EDM, wire EDM is used to cut highly accurate, and sometimes complex profiles in hardened materials up to 6 in. thick These components are often used in drawing, extruding, or stamping dies
Holes with diameter less than stock thickness need to be drilled Since 1/2-2/3 of material thickness is fractured, rather than sheared, secondary operations or fineblanking is needed for good edge finish or parallel sides Finishing and material scrap costs are often substantial	Numerous consumer and industrial applications	2, 3, 4 5, 6, 7 <sup>d</sup> 8 <sup>d</sup> , 12 <sup>d</sup>	Mechanical reciprocating presses operate at 35-500 strokes/min. CNC Turret presses achieve 55-265 hits/min. at 1 in. centers Often when the cost of dies exceeds the total costs of parts, die sets are no longer cost effective (approximately 20,000 pcs for common geometries) Progressive dies can often be justified if they can save two or more secondary operations on individual die sets
Low degree of part complexity Low dimensional accuracy Minimal opportunity for integral fasteners or attachment points	Various consumer packaging Bus, aircraft interior panels Refrigerator linings Signs Boat hulls	10	Tooling less expensive than other plastic processing, methods High production rates possible (drinking cups: 2000-3000 pcs.min.) Material properties can be improved due to molecular orientation Reinforcing fibers may also be added to improve strength Of several processes available (vacuum, pressure, drape), vacuum is most popular Conventional spinning and displacement spinning differ in that displacement spinning moves material back along forming member refining grain structure in direction of flow
Stiffening beads should be formed externally rather than internally Cylindrical sections and reentrant angles are possible but more costly Minimal radius 1.5 x thickness Maximum thickness for hand spinning: 0.25 in. (Al), 0.187 (LC steel), 0.125 (S steel)	Cooking utensils Lamp bases Nose cones Reflectors	2, 3 <sup>d</sup> , 4 5, 6, 7 <sup>d</sup> 8 <sup>d</sup> , 12 <sup>d</sup>	Tooling costs are much less than for stamping or deep-drawing, very small quantities may be economically produced Tube spinning reduced I.D., O.D. or lengthens tubes or preforms

5, aluminum and alloys; 6, copper and alloys; 7, zinc and alloys; 8, magnesium and alloys; 9, titanium; 10, thermoplastics; 11, thermosets; 12, nickel and alloys. Source: Boothroyd Dewhurst, Inc., Wakefield, RI.

Tabla 44. Limitaciones del proceso

## 7.19 Compatibilidad material – proceso

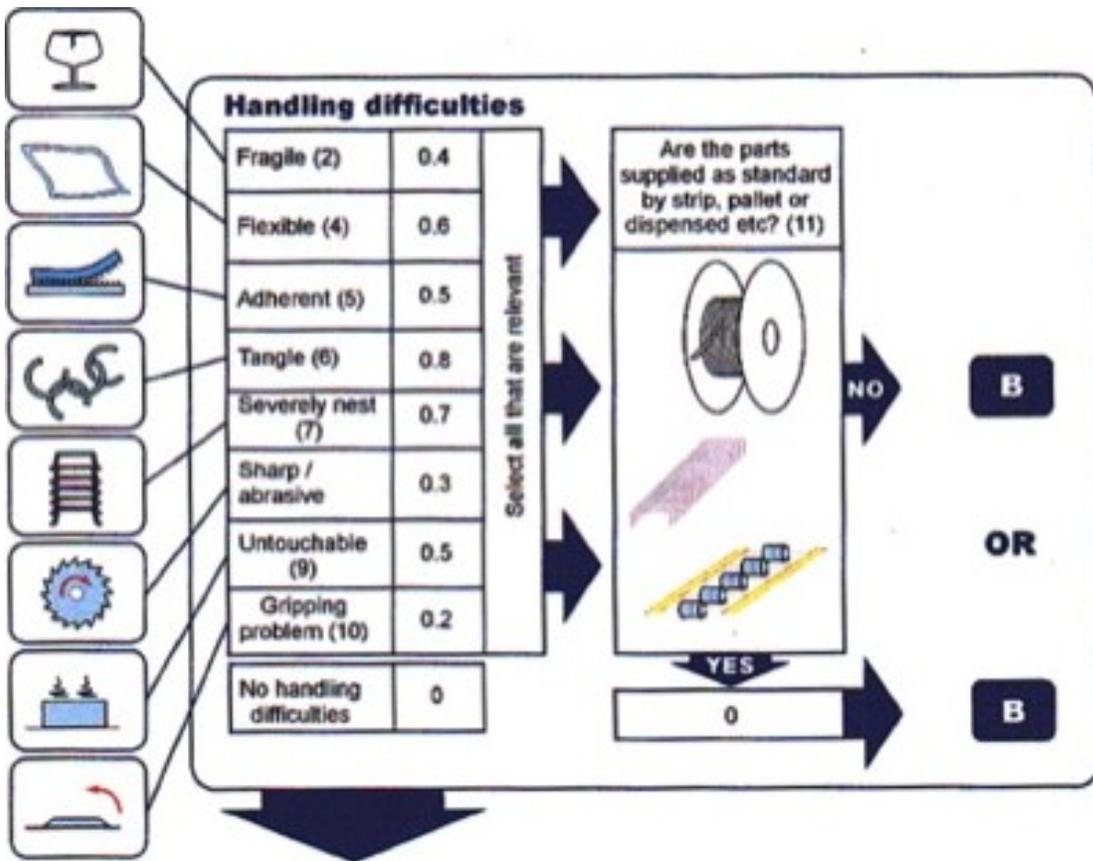
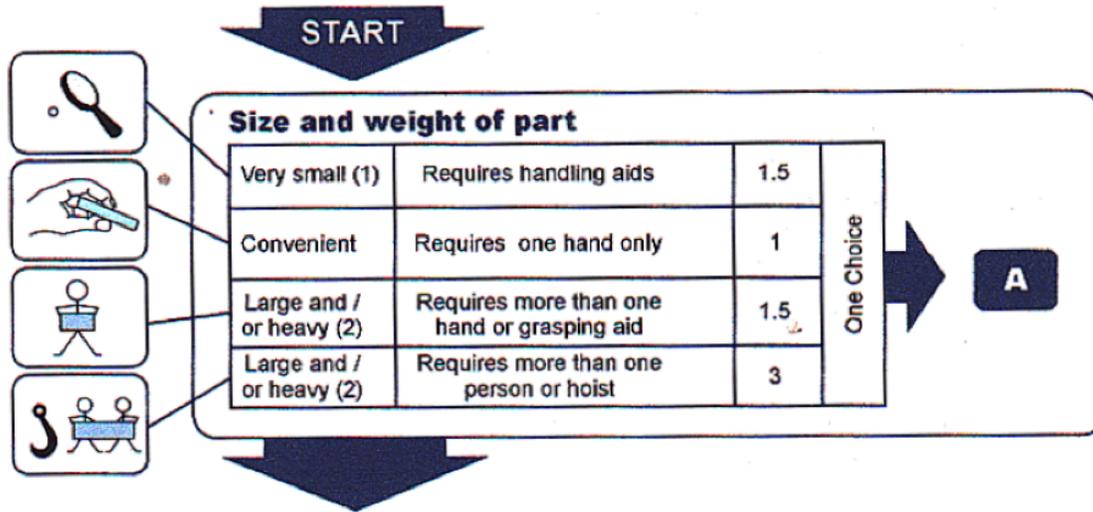
Selection of Materials and Processes

	Cast Iron	Carbon Steel	Alloy Steel	Stainless Steel	Aluminum and Alloys	Copper and Alloys	Zinc and Alloys	Magnesium and Alloys	Titanium and Alloys	Nickel and Alloys	Refractory Metals	Thermoplastics	Thermosets	
Sand Casting														Solidification Processes
Investment Casting														
Die Casting														
Injection Molding														
Structural Foam Molding														
Blow Molding(ext.)														
Blow Molding(Inj.)														
Rotational Molding														
Impact Extrusion														Bulk Deformation Processes
Cold Heading														
Closed Die Forging														
Powder Metal Processing														
Hot Extrusion														
Rotary Swaging														
Machining (from stock)														Material Removal Processes
ECM														
EDM														
Wire EDM														Profiling
Sheet Metal(stamp/bend)														Sheet Forming Processes
Thermoforming														
Metal Spinning														

Normal Practice     Not Applicable  
 Less common

Tabla 45. Compatibilidad material – proceso

## 7.20 Manipulación y alimentación



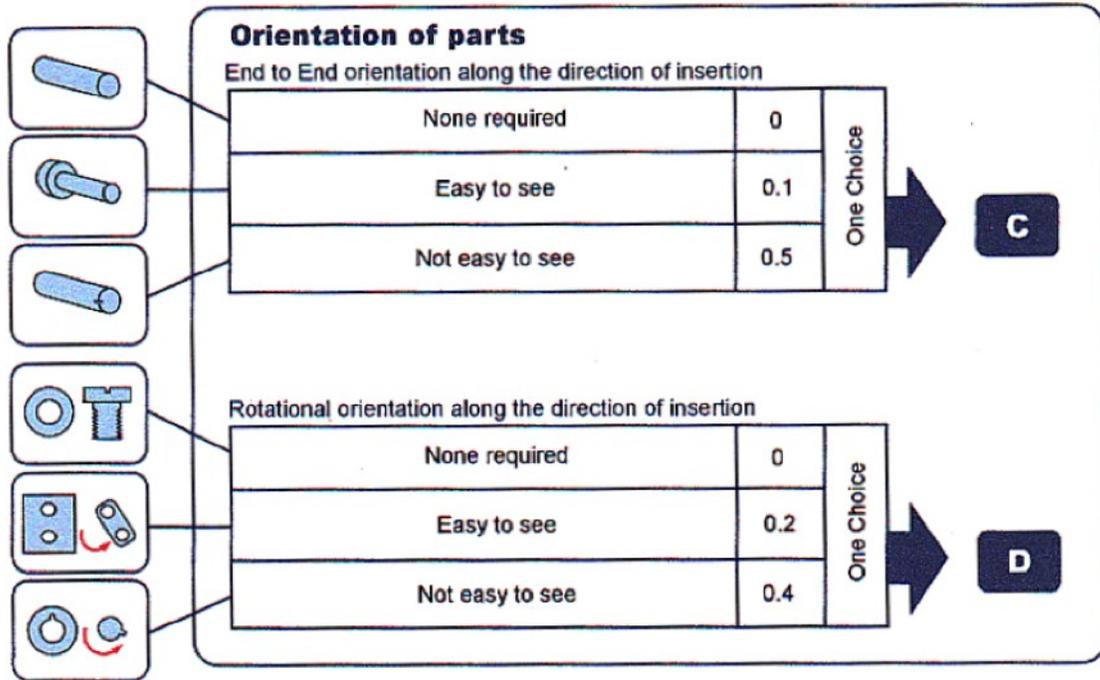
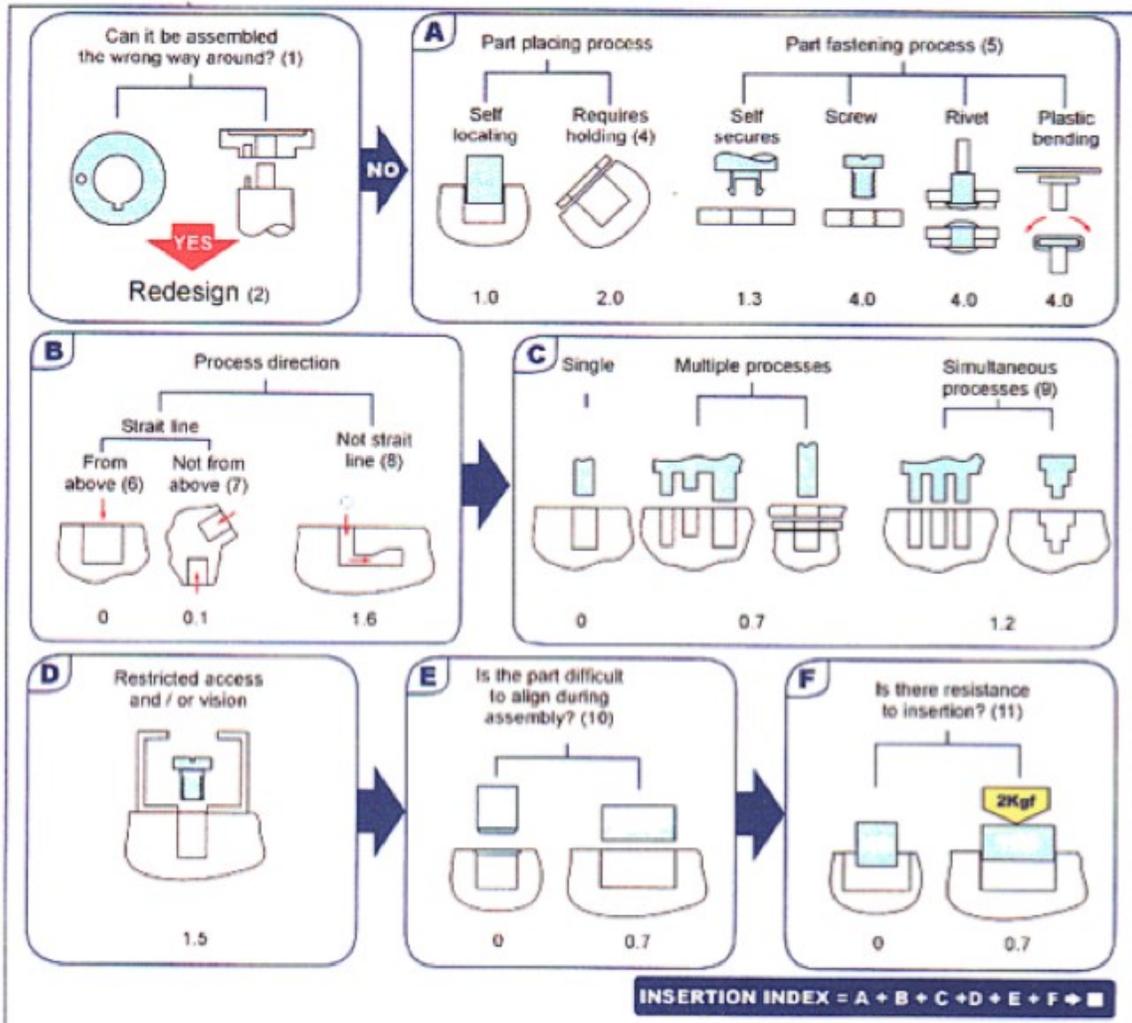


Diagrama 12. Manipulación y alimentación

## 7.21 Ajuste e inserción



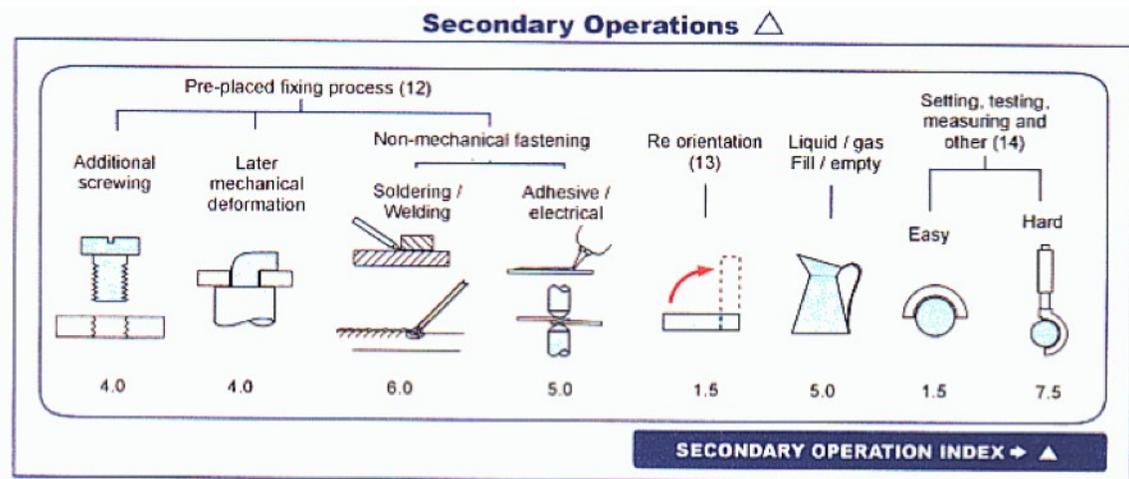


Diagrama 13. Ajuste e inserción