

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENRAQUE DE PERFILES DE ALUMINIO EN EL
PROCESO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA PARA LA EMPRESA
EMMA Y CIA S.A.**

**DANIEL MONTIEL MEDINA
200010055085**

**UNIVERSIDAD EAFIT
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO
MEDELLÍN
2006**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENRAQUE DE PERFILES DE ALUMINIO EN EL
PROCESO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA PARA LA EMPRESA
EMMA Y CIA S.A.**

**DANIEL MONTIEL MEDINA
200010055085**

Proyecto de grado

**Asesor
Marco Aurelio García
Ingeniero mecánico
Universidad de Antioquia**

**UNIVERSIDAD EAFIT
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO
MEDELLÍN
2006**

AGRADECIMIENTOS

De manera muy especial quiero darle un sincero agradecimiento a la empresa EMMA & CÍA S.A. por brindarme la oportunidad de trabajar con ellos en el área de investigación y desarrollo, optimización de procesos. Especialmente al Ingeniero Luís Mantilla, gerente de producción, de quien recibí todo el apoyo para el desarrollo de este proyecto de grado.

Agradezco también al ingeniero Marco Aurelio García por haber compartido toda su experiencia y conocimientos acerca del tema, por la asesoría brindada, el tiempo dedicado y sobre todo por su apoyo incondicional.

A la Universidad Eafit Medellín, por la formación adquirida durante el proceso de aprendizaje en la institución, por las enseñanzas, los conocimientos y por ser parte de mi crecimiento personal y profesional como ingeniero.

CONTENIDO

	PAG
LISTA DE TABLAS.....	I
LISTA DE FIGURAS.....	II
LISTA DE ANEXOS.....	V
GLOSARIO.....	VI
RESUMEN.....	IX
CAPITULO 1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Historia.....	1
1.1.2. Proceso de producción y transformación del aluminio.....	2
1.1.2.1. Proceso Químico.....	3
1.1.2.2. Proceso Electrolítico.....	3
1.1.2.3. Proceso de extrusión.....	4
1.1.2.4. Proceso de anodizado.....	5
1.1.2.5. Proceso de pintura en polvo.....	6
1.2. Justificación.....	7
1.3. Planteamiento del problema.....	9
1.4. Objetivos.....	13
1.4.1. Objetivo general.....	13
1.4.2. Objetivos específicos.....	13
1.5. Alcance del proyecto.....	15
CAPITULO 2. MARCO TEORICO.....	17
2.1 Planta de pintura electrostática (Emma y cia s.a).....	17
2.1.1 Tipos de perfiles.....	17
2.1.2 Producción.....	18

2.1.2.1	Diagrama de proceso.....	20
2.1.2.2	Diagrama de operaciones.....	20
2.1.2.3	Perfiles mas pintados.....	23
2.1.3	Área de enraque.....	28
2.2	Proceso de pintura electrostática.....	31
2.2.1	Pintura en polvo.....	31
2.2.2	Proceso.....	34
2.2.2.1	Pretratamiento.....	34
2.2.2.2	Aplicación de pintura.....	36
BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 2.....		40

CAPITULO 3. PROCESO CONCEPTUAL DE DISEÑO.....41

3.1	Metodología.....	41
3.1.1	Etapas de diseño.....	42
3.2	Etapa 1. Clarificación de objetivos.....	45
3.3	Etapa 2. Especificaciones de diseño.....	46
3.4	Etapa 3. Análisis funcional.....	52
3.4.1	Caja negra.....	53
3.4.1.1	Flujos de entrada.....	53
3.4.1.2	Flujos de salida.....	53
3.4.1.3	Función principal.....	53
3.4.1.4	Flujo principal.....	53
3.4.1.5	Retroalimentación.....	53
3.4.2	Estructura funcional.....	54
3.5	Etapa 4. Generación de alternativas.....	56
3.5.1	Matriz morfológica.....	56
3.5.2	Selección de alternativas solución.....	58
3.5.3	Alternativa de solución seleccionadas.....	58

3.5.3.1	Alternativa 1.....	58
3.5.3.2	Alternativa 2.....	64
3.5.3.3	Alternativa 3.....	71
3.5.4	Evaluación de alternativas.....	76
3.5.4.1	Análisis de costos.....	76
3.5.4.2	Árbol de objetivos.....	77
3.5.4.3	Criterios de evaluación.....	81
BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 3.....		86
CAPITULO 4. PROPUESTA DEFINITIVA.....		87
4.1.	Descripción general.....	87
4.2.	Desarrollo del sistema.....	98
4.2.1.	Diseño.....	98
4.2.2.	Materiales.....	99
4.2.3.	Mecanismos y cálculos de ingeniería.....	103
4.2.3.1	Síntesis de mecanismo.....	103
4.2.3.2	Sistema neumático.....	106
4.2.3.3	Análisis de esfuerzos.....	115
BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO 4.....		118
5. CONCLUSIONES.....		119

LISTA DE TABLAS

	PAG
1. Simbología de diagramas.....	19
2. Diagrama de procesos REF: ALC064.....	21
3. Resumen análisis de pareto.....	23
4. Requerimientos y características pertinentes para la etapa de desarrollo conceptual del proyecto.....	47
5. Requerimientos técnicos vs. Atributos de diseño.....	49
6. Caja morfológica.....	57
7. Costo estimado para cada alternativa.....	77
8. Clarificación de objetivos según la alternativa de solución.....	81
9. Resumen de evaluación de alternativas.....	84
10. Propiedades acero 1020.....	99
11. Propiedades acero 1008.....	100
12. Propiedades aluminio 6061.....	102

LISTA DE FIGURAS

	PAG
1. Bauxita.....	3
2. Planta extrusora.....	5
3. Planta de anodizado.....	6
4. Enganche de perfiles.....	11
5. Ubicación de gancheras.....	12
6. Contexto de producción en Emma y cia.....	18
7. Diagrama de operaciones REF: ALC 064.....	22
8. Diagrama de pareto.....	26
9. Muestras de perfiles ALC.....	27
10. Ganchera para perfilería tubular.....	29
11. Ganchera.....	30
12. Gancho de unión al bastidor.....	31
13. Pretratamiento.....	35
14. Secado de perfiles.....	36
15. Aplicación de pintura.....	37
16. Proceso de diseño para el desarrollo del proyecto.....	45
17. Caja negra del sistema de enraque.....	54
18. Árbol de funciones sistema de enraque.....	55
19. Estructura funcional.....	56
20. Mesa soporte.....	58
21. Sujeción de perfiles (tornillo).....	59
22. Elementos de sujeción.....	60
23. Brazos transportadores.....	60
24. Gancho móvil.....	61
25. Masa móvil.....	64

26. Pinza sujetadora.....	64
27. Mecanismo trinquete.....	65
28. Dientes de sujeción.....	65
29. Trinquete empotrado.....	66
30. Ubicación de pinzas.....	66
31. Rotación de la mesa.....	67
32. Movimiento horizontal y vertical de la mesa.....	68
33. Gancho fijo.....	68
34. Banco móvil.....	71
35. Guías de sujeción.....	72
36. Mecanismo celosía.....	72
37. Ubicación de perfiles.....	73
38. Brazos transportadores.....	73
39. Gancho móvil.....	74
40. Árbol de objetivos.....	80
41. Mesa mecánica.....	88
42. Brazos articulados.....	88
43. Movimiento actuadores.....	89
44. Soporte diadas.....	90
45. Ensamble sistema de sujeción.....	90
46. Ensamble cuerpo – riel.....	91
47. Ensamble cuerpos.....	91
48. Ubicación de perfiles.....	92
49. Mecanismo de sujeción.....	93
50. Transporte de perfiles.....	94
51. Gancho móvil.....	94
52. Componentes gancho.....	95
53. Movimiento gancho.....	95

54. Barras estabilizadoras.....	96
55. Trinquete gancho.....	97
56. Perfil porta cuerpo.....	100
57. Perfil riel.....	101
58. Perfil elemento de sujeción.....	101
59. Sistema de enraque completo.....	102
60. Representación parcial del mecanismo en barras y pares.....	104
61. Representación del mecanismo en barras y pares.....	104
62. Perfil ALC 1170.....	107
63. Dimensiones actuador.....	111
64. Angulo mínimo de acción de fuerza.....	112
65. Angulo de acción de fuerza y medidas requeridas para el diseño.....	112
66. Palanca actuador-brazo.....	113
67. Palanca máxima.....	114
68. Estado final del actuador.....	114
69. Par prismático.....	115
70. Eje sistema de sujeción.....	116

LISTA DE ANEXOS

	PAG
1. Análisis de Pareto.....	123
2. PDS (Product Design Specifications).....	131
3. Alternativas de solución.....	144
4. Estimativos de costos.....	148
5. Formato de pruebas (Sistema de sujeción).....	153
6. Cartas de procesos (Sistema de sujeción).....	162
7. Planos de taller.....	175

GLOSARIO

ACABADO: Recubrimiento superficial que se le da a un perfil con la finalidad de darle mayor resistencia contra la corrosión y otros factores.

BASTIDOR: Barra horizontal de donde se cuelgan los ganchos en los perfiles.

CABINA: Especie de cuarto el cual actúa como contenedor de polvo atomizado por las pistolas.

CANASTILLA: Estructura metálica que forma una canasta que sirve para ingresar los perfiles a los tanques de pretratamiento.

CADENA CINEMÁTICA: Representación abstracta de un mecanismo por medio de barras y pares.

CUERPOS: Carros que contienen lotes de perfiles bien sea para ser pintados, pretratados o para almacenarlos como producto terminado.

CURVA CATENARIA: Es la curva de deflexión de los perfiles por causa de la fuerza de gravedad en el momento de apoyarse sobre las gancheras.

DIADA: Unión de dos barras por un par o pivote.

DIAGRAMA DE OPERACIONES: Es un diagrama que presenta un cuadro general de cómo suceden tan solo las principales operaciones e inspecciones.

DIAGRAMA DE PROCESO: Es un diagrama que muestra la trayectoria de un producto o procedimiento señalando todos los hechos sujetos a examen mediante el símbolo que corresponda.

ELEMENTO: Pequeña parte de una tarea o labor.

ENRAQUE: Proceso de sujeción de los perfiles.

GANCHERA: Gancho vertical con figuras geométricas, en donde se sostiene el perfil.

MATRIZ: Dado por el cual se extruye el aluminio a altas presiones dando diferentes formas según sus especificaciones.

MICRAJE: Espesor de la película de pintura en polvo, variable establecida como atributo la cual debe estar entre 60-80 micras.

PAR: Elemento de unión entre barras y se clasifican según el numero de barras. Pueden ser binarios, ternarios, etc.

PAR PRISMATICO: Elemento de unión tipo P el cual permite un movimiento lineal, horizontal o vertical.

PASIVADO: Tratamiento que consiste en un baño químico, con el objetivo de disolver los materiales contaminantes y maximizar las cualidades de resistencia a la corrosión propia de los metales.

PERFIL: Figura geométrica de aluminio utilizada para la construcción, arquitectónicos y para la industria en general, dentro de estos podemos hablar de ángulos, transporte, platinas, ventanas, barras cuadradas y hexagonales, puertas, tubos, cabinas de baño, cielo raso, divisiones, modulares y de oficina, canales y escaleras entre otros.

PINTURA EN POLVO: Recubrimiento termoendurecible o termoplástico, de uso industrial, que brinda excelente protección a la corrosión e intemperie, magnífica retención del color y del brillo, de aplicación electrostática, 100% sólida, con una utilización hasta de un 98% del producto, intrínsecamente ecológico.

POLIMERIZADO: Proceso por el cual se expone al calor la pieza recubierta con pintura en polvo, para obtener el acabado deseado, la pintura se polimeriza y fluye formando una película continua perfectamente adherida a los perfiles, se realiza entre 180 y 220 grados de temperatura. (Dependiendo del tipo de pintura)

PRETRATAMIENTO: Proceso que prepara la superficie del perfil para garantizar la adherencia de la pintura y garantizar las condiciones de calidad.

TRINQUETE: Elemento que restringe movimiento angular en una dirección. En algunos trinquetes se puede determinar en cual sentido se restringe.

RESUMEN
DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENRAQUE DE PERFILES DE ALUMINIO EN EL
PROCESO DE PINTURA ELECTROSTATICA PARA LA EMPRESA EMMA Y
CIA S.A.

DANIEL MONTIEL MEDINA

Asesor: Marco Aurelio García

Proyecto de grado, ingeniería de diseño de producto, Universidad Eafit, Sede
Medellín.

EMMA & CÍA S.A. (EMPRESA METALMECÁNICA DE ALUMINIO S.A.) nace en Colombia en el año de 1975 como empresa manufacturera de Productos en aluminio para la industria de la construcción con el nombre de ***Celoplast***. Mas tarde, en 1985 se constituye como EMMA & CIA S.A. como empresa extrusora y manufacturera de aluminio cuyo enfoque comercial fue el de participar en el mercado nacional e internacional con perfilería de aluminio, esto hizo que la empresa se enfocara mas a la producción de perfilería como su negocio representativo, y con esto poder además abastecer su ya existente planta de manufactura y al mismo tiempo atender el mercado nacional con perfilería para la construcción, arquitectura y la industria en general.

Actualmente su planta de producción se encuentra ubicada en Medellín y cuentan con sucursales en Bogotá, Cali y Barranquilla, a demás de un amplio grupo de distribuidores en el ámbito nacional.

La compañía actualmente exporta perfilería y productos manufacturados a Ecuador, Panamá, Costa Rica, Estados Unidos, República Dominicana, Puerto Rico, Jamaica, Perú, entre otros países.

Debido a que su mercado ha crecido, la empresa también ha adaptado nuevos procesos permitiendo obtener una mayor variedad de productos, calidad y formas de satisfacción a sus clientes.

La última tecnología adquirida por EMMA para la producción de perfilería es una planta de pintura electrostática, la cual requiere de un sistema de enraque de perfiles que sea muy eficiente en tiempo y cantidad de perfiles pintados, situación que en el momento se hace manualmente y con gancheras de baja eficiencia y calidad.

A partir de esta necesidad existente en la empresa EMMA & CIA S.A. y teniendo en cuenta que en plantas similares en otras partes del país se tiene el mismo inconveniente, se decide elaborar este proyecto de grado como una alternativa de solución con un sistema eficiente de enraque de perfilería aplicado a cualquier planta de pintura electrostática enfocado en solucionar estas necesidades presentes en el sector de pintura. Para lo cual se usará de la mejor forma el conocimiento adquirido en la etapa de formación profesional como estudiante de ingeniería de diseño, desarrollando una propuesta útil y funcional, con un enfoque congruente a los conceptos recibidos durante la carrera.

Es por esto que presentar el desarrollo de un diseño de un nuevo producto que atiende a una necesidad puntual de un mercado exclusivo se convierte en una buena alternativa para un candidato que postula al título de Ingeniero de Diseño de Producto, partiendo de la necesidad de solucionar un problema y concluyendo en el desarrollo de un producto novedoso y funcional.

CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTE

1.1.1. Historia.

EMMA & CÍA S.A. nace en Colombia en el año de 1975 como una empresa manufacturera de aluminio orientada al mercado nacional de la construcción con la marca Celoplast. La marca como tal EMMA & CÍA S.A. es fundada en el año de 1985 en Medellín y se transforma entonces en una empresa extrusora y manufacturera de aluminio cuyo objetivo en sus comienzos fue el de participar en el mercado nacional e internacional de productos fabricados en aluminio, esto debido a que en sus primeros años tuvo una alta aceptación en el mercado, lo que generó la necesidad de tener su propia planta extrusora para el abastecimiento de su ya existente planta de manufactura y al mismo tiempo atender el mercado nacional con perfilería para la construcción, arquitectura y la industria en general. Actualmente su planta de producción se encuentra ubicada en Medellín y cuentan con sucursales en Bogotá, Cali y Barranquilla, a demás de un amplio grupo de distribuidores en el ámbito nacional.

La compañía actualmente exporta perfilería y productos manufacturados a Ecuador, Panamá, Costa Rica, Estados Unidos, República Dominicana, Puerto Rico, Jamaica, entre otros países.

Los avances tecnológicos de la compañía a través de los años han sido los siguientes:

1985: La compañía adquiere su primera prensa de extrusión y su primer horno de fundición. 1991: Se amplia la capacidad de producción de la planta al adquirir la

segunda prensa de extrusión. Un año más tarde en 1992 se tecnifica el proceso de fabricación de matrices con la adquisición de máquinas de control numérico CNC. Al cabo de dos años y dada la creciente demanda del sector se busca incrementar la capacidad de la planta, para ello se realiza el montaje de la tercera prensa de extrusión. En el año de 1997 se adquiere un nuevo horno de fundición y un horno de homogenizado. En 1999 comienza a operar la nueva planta de anodizado vertical, única en América Latina. Otra de las características de la compañía es la innovación y la búsqueda de nuevos mercados razón por la cual adquiere la licencia de fabricación y comercialización de las escaleras Werner USA (Líder mundial en escaleras) en el 2001. En el 2003 EMMA recibe el certificado de gestión de Calidad ISO 9001: 2000 para la producción y comercialización de perfilería de aluminio, para aplicación industrial y comercial, durante este mismo año recibe el certificado BASC (Coalición anti-contrabando de drogas), por el desarrollo de acciones preventivas, destinadas a impedir actividades ilícitas como el contrabando de sustancias prohibidas y el terrorismo en la cadena logística, creando así las condiciones de confianza necesarias para todos sus clientes y proveedores. Su último avance fue realizado durante el 2004 año en el cual se instala la planta de pintura electrostática con capacidad de 350 Toneladas promedio mes.

Entre los productos de la compañía se pueden encontrar: perfiles de aluminio arquitectónico, industrial y usos especiales, sistemas de ventanas y puertas para la construcción y escaleras con la más alta calidad, marca WERNER y WORKER.

1.1.2. Proceso de producción y transformación del aluminio.

El aluminio es el metal no ferroso más abundante en la corteza terrestre y de mayor consumo en el mundo. Se encuentra en forma de óxido en la bauxita, su extracción en cantidades industriales fue descubierta en 1886 en Estados Unidos y Francia simultáneamente.

Su proceso de extracción se hace en 2 etapas:

1.1.2.1. Proceso Químico:

La bauxita es triturada y molida hasta obtener un mineral fino; este material fino se hace reaccionar con soda cáustica en un digestor a alta temperatura y presión. La soda cáustica disuelve la alúmina. Las impurezas permanecen como residuo no disuelto. La solución blanca de aluminato de sodio se separa luego de las impurezas sólidas por medio del filtrado. La solución de aluminato es llevada a un precipitador donde es tratada con cristales de hidróxido de aluminio que actúan como fluoculantes para precipitar la alúmina. Después de la precipitación los sólidos son separados otra vez de la solución por medio de decantación y filtrado; la parte sólida es llevada a hornos de calcinación a 1000° C para evaporación del agua. Después de la calcinación se tiene la alúmina calcinada que tiene una textura muy semejante a la del talco.



Figura 1. Bauxita

1.1.2.2. Proceso Electrolítico.

La alúmina calcinada se reduce a aluminio metálico en celdas electrolíticas conectadas en serie a una fuente de corriente continua. La celda actúa como cátodo. La alúmina se agrega a un baño de sales fundidas que constituyen el electrolito; éste, al hacer pasar corriente eléctrica directa a través de la celda el

aluminio se deposita en el fondo de la cuba. El aluminio fundido se extrae por medio de sifones del fondo de la celda. El proceso electrolítico de obtención de aluminio requiere de grandes cantidades de energía con un consumo de 13.5 Kw/h por cada kilo de aluminio. El aluminio obtenido por el proceso electrolítico se llama aluminio primario.

Dentro de los procesos de fabricación industrial para el aluminio se encuentra la extrusión, laminación, forja, embutido, repujado, maquinado y formado. A continuación se describe el proceso implementado en EMMA & CIA S.A. para la transformación del aluminio y posteriormente el proceso de acabados.

1.1.2.3. Proceso de extrusión.

El proceso de extrusión en caliente consiste en forzar, por medio de alta presión, un lingote de aluminio a través de los orificios de una matriz para darle una configuración deseada. El proceso se efectúa a una temperatura de 400 a 500 ° C. El diseño de la matriz¹ se hace de acuerdo a las necesidades del mercado o del cliente. La extrusión nos proporciona secciones transversales sólidas o huecas que en otros metales serían imposibles de obtener sin recurrir al ensamble de varias piezas. Usualmente el aluminio se extruye en caliente para aumentar la plasticidad del metal. Al ser éste un proceso de trabajo en caliente, la mayoría de los perfiles se deben tratar térmicamente para aumentar su resistencia.

¹ Molde de acero por el que se extruye el aluminio

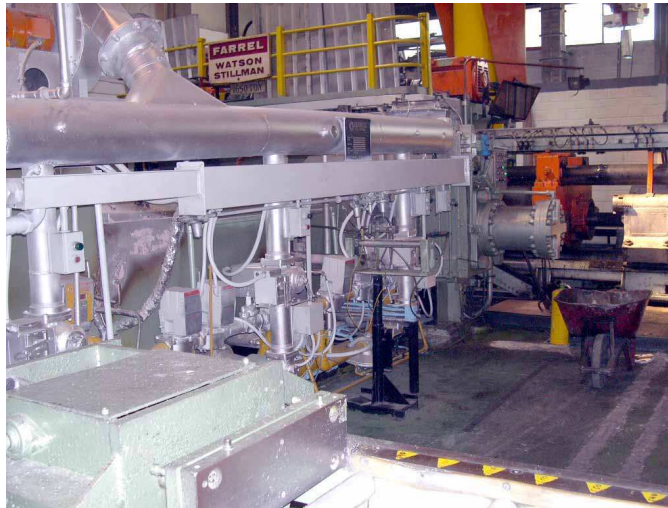


Figura 2. Planta Extrusora

1.1.2.4. Proceso de anodizado.

La anodización permite crear una densa capa de óxido de aluminio sobre el metal base, obteniéndose una superficie dura y resistente que protege al perfil de la corrosión y agentes químicos.

La capa de anodizado puede tener un espesor que varía entre 10 y 20 micrones¹, dependiendo del uso que se le vaya a dar.

En perfiles de uso especial para zonas donde serán sometidos a condiciones climáticas severas (zonas salinas), es recomendable una capa anódica de mayor espesor.

Para asegurar una adecuada protección de la capa anódica, los perfiles se someten a un proceso de sellado, cumpliendo con las normas de resistencia a la niebla salina (ASTM B-136)²

¹ Un micrón es la milésima parte de un milímetro.

² Código de la norma referente a la resistencia a la niebla salina.



Figura 3. Planta de anodizado

1.1.2.5 Proceso de pintura en polvo.

El objetivo de este proceso es crear una capa de pintura electrostáticamente sobre los perfiles, de hasta 80 micrones, brindando protección y diferentes características a los perfiles. Este proceso se divide en dos áreas: El área de pretratamiento y el área de pintura. En el área de pretratamiento los perfiles son expuestos a diferentes baños con el fin de eliminar grasas e impurezas que puedan dificultar la adherencia de la pintura a los perfiles.

En el área de pintura los perfiles son procesados en los diferentes ciclos del proceso de pintura electrostática. Los cuales se definen como: Enraque, aplicación de pintura, curado y desenganche.

1.2 JUSTIFICACION

Hay áreas del saber que permiten llegar a grandes avances en la creación de nuevos productos, procesos, materiales y tecnologías, entre otros; pero cuando esto quiere llevarse al mercado y convertirse en un producto que pueda entrar a formar parte de la dinámica de la sociedad es cuando suelen tener inconvenientes estas áreas. He aquí una de las principales funciones del Ingeniero de Diseño de Productos, que es el encargado de finalizar estos procesos de invención e innovación, convirtiendo estos desarrollos en productos funcionales, estéticos y capaces de competir en el mercado actual.

Pensando en esto y en todas las posibilidades como Ingeniero de Diseño de Producto, se ha decidido iniciar con la elaboración de este nuevo sistema de enraque, el cual se justifica a partir de una necesidad por parte de la empresa EMMA & CIA S.A. la cual realizó una gran inversión de dinero para adquirir una nueva planta de pintura en polvo con grandes expectativas con respecto a ella, ve en ella una de las principales fuentes de rentabilidad a largo plazo, todo esto dada la tendencia que tiene el mercado actual, que está comenzando a preferir más la perfilaría con pintura en polvo que con otro tipo de acabado bien sea anodizada o cruda.

La empresa adquirió esta planta de pintura con una capacidad teórica mensual de 350 toneladas / mes, y lo máximo que ha alcanzado hasta el momento han sido 180 toneladas / mes, se podría decir entonces que hay una pérdida muy grande de la capacidad, y que puede lograrse un aumento significativo con un sistema eficiente de enraque.

Según registros de un estudio de este proceso productivo se identifica la fase de enganche como principal generador de problemas en el proceso, es así que se decide iniciar con el diseño y desarrollo de un nuevo sistema de enganche que permita automatizar gran parte de este proceso. Proyecto para el cual EMMA &

CIA S.A. ha decidido facilitar los recursos necesarios para su construcción, siempre y cuando este supla las necesidades existentes en esta fase complementaria en el proceso de pintura electrostática.

El desarrollo del proyecto es de vital importancia tanto para la empresa EMMA & CIA S.A. como para las demás empresas manufactureras de perfiles de aluminio en Colombia las cuales poseen en sus procesos la fase de pintura electrostática, sector en donde no han desarrollado ni implantado sistemas alternativos para el enraque de sus perfiles.

Se espera que los resultados obtenidos con el nuevo diseño permitan cumplir con los índices de producción deseados y mejorar considerablemente el trabajo realizado por las personas que intervienen e interactúan en este sector.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la empresa EMMA & CIA S.A. la producción de perfilería está conformada en varios procesos como: matricería, fundición, extrusión, empaque, anodizado y pintura. Cada uno de estos procesos juega un papel importante para la cadena de producción, por esta razón hace que cada vez se quiera optimizar al máximo cada proceso con el fin de mejorar y aumentar la producción.

La planta actual de pintura electrostática que funciona desde Junio 2004 fue adquirida con una capacidad aproximada de producción de 350 ton / mes, pero en la actualidad no se superan las 180ton/mes. Por esta razón se ha determinado optimizar y automatizar al máximo el proceso en cada una de las etapas en las cuales se ha determinado que se presentan cuellos de botella y que son causas de pérdidas de producción en el proceso de pintura.

- Uno de los cuellos de botella que se presentan en el proceso de pintura se desarrolla en la zona de enganche de la perfilería. Actualmente esta actividad se realiza con dos operarios (manualmente) los cuales se encargan de poner los perfiles sobre unas gancheras que varían según la referencia del perfil y sus características geométricas y longitudinales. El objetivo de esta fase del proceso es montar el mayor número de perfiles sobre un bastidor los cuales son transportados automáticamente por todas las fases siguientes del proceso de pintura. Debido a que los bastidores son transportados automáticamente por la línea la labor de los operarios muchas veces no es realizada por completo por la gran cantidad de perfiles que se deben de colocar sobre un bastidor (según la referencia), por lo cual algunos bastidores hacen su ciclo sin estar cargados completamente.

- En el sector de enganche también se genera otro cuello de botella, a causa de las gancheras. Principalmente radica en que por la gran cantidad de referencias de perfiles; en ocasiones se usa una ganchera para varias referencias, aspecto que genera que en algunos momentos dichos perfiles se caigan y generen pérdidas de tiempo, lo cual es contraproducente para las cantidades de producción que se desean tener.

- Las considerables pérdidas de tiempo que se generan en el proceso, ocurre cuando la perfilería se cae en la fase de curado dentro del horno, el cual se debe de apagar y esperar aproximadamente 4 horas para poder ingresar al mismo y retirar los perfiles. Este aspecto podría definirse como uno de los principales cuellos de botella para el buen desarrollo del proceso de pintura y es consecuencia de la mala forma de sujeción de algunas referencias de perfiles.

- El mal estado de las gancheras debido a su uso, es otra causa por la cual muchas veces la perfilería se cae. Debido a que se doblan y son enderezadas constantemente por parte de los operarios, lo cual hace que por fatiga del mismo material los ganchos se desprendan y queden espacios vacíos, lo cual genera pérdidas de áreas pintables a grandes volúmenes.

- Hay perfiles en los cuales por sus características es necesario la utilización de tres operarios y tres gancheras para el proceso de enraque. Lo cual para la empresa la relación $m^2/h * \text{Hombre (pintados)}$ no es la mas viable.

De estos datos se puede deducir que los principales problemas que han venido generando baja eficiencia en el proceso y por consiguiente no lograr la producción esperada, se enfocan en buena parte a la fase de enganche del proceso de

pintura, en donde es necesario optimizar con el fin de obtener mejores resultados que permitan mejorar la producción actual.

El sistema actual se basa en unas gancheras que varían según la referencia de cada perfil y en donde son ubicados los perfiles manualmente (perfiles de 6 m de largo) con dos operarios sobre cada gancho. **(Ver figura 4)**



Figura 4. Enganche de perfiles

Posteriormente al enganche de los perfiles, los operarios ubican las gancheras a utilizar a cada extremo del bastidor (el bastidor es el elemento que se encarga de transportar los perfiles por todo el ciclo de pintura) a una distancia entre ellas de 4m, con el fin de que en el momento de colocar los perfiles se reduzca la curva catenaria producida por la gravedad, debido a que cada ganchera se encuentra a 1m de cada extremo del perfil. **(Ver figura 5)**

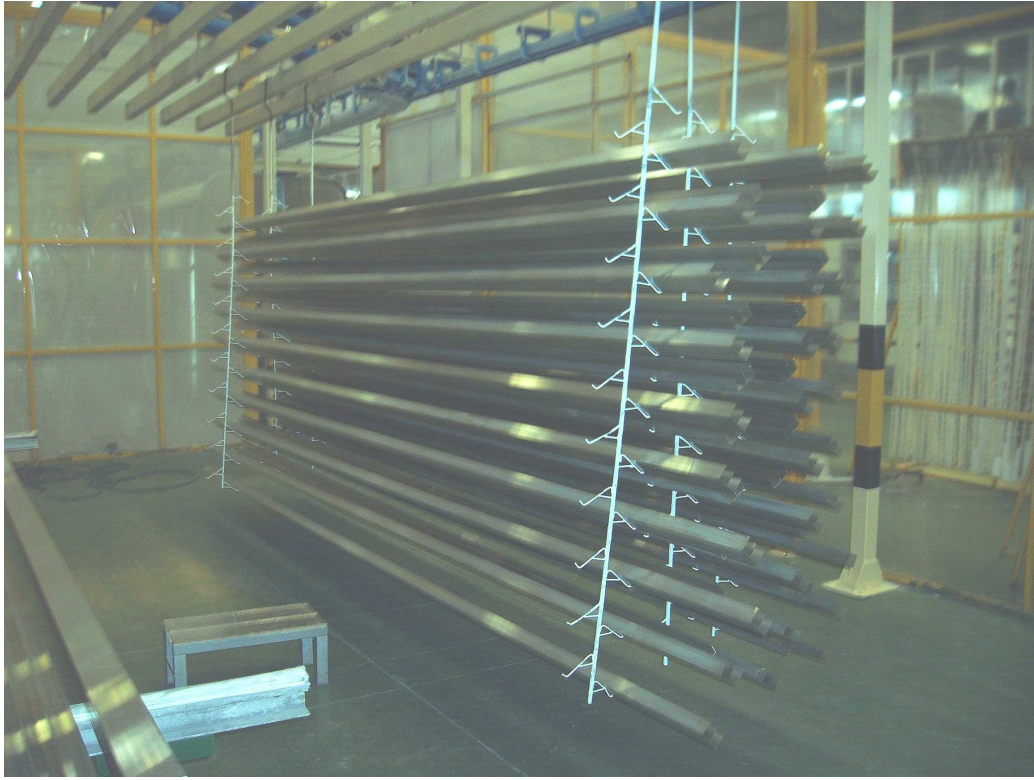


Figura 5. Ubicación de las gancheras.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general.

Diseñar un nuevo sistema de enraque para perfiles de aluminio (sujeción y transporte), automatizando y optimizando al máximo la fase de enraque en el proceso de pintura electrostática reduciendo los problemas que ocasionan pérdidas de tiempo en el desarrollo del proceso, con el fin de aumentar la producción de perfiles pintados y por consiguiente la producción de la empresa EMMA & CIA S.A.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Aplicar un método de diseño que permita la concepción y evaluación de la idea, de una forma objetiva y justificable, incrementando la eficiencia en el manejo del tiempo y los recursos.
- Proponer un sistema novedoso de enraque de perfiles, el cual sea más eficiente que el actual y por consiguiente justifique su construcción desde el punto de vista de funcionalidad, técnica, desempeño y costo.
- Automatizar parte del proceso de enraque con el fin de agilizar y optimizar la producción en este sector, analizando una por una las actividades o funciones del proceso de enraque mediante evaluación en campo, determinando en cuales de ellas se generan problemas y retrasos.
- Usar el nuevo sistema de enraque para optimizar al máximo la distancia entre perfiles enganchados; y lograr así aumentar el número de perfiles a pintar por paso del bastidor a través de la cabina de pintura.

- Permitir enganchar mediante el sistema de enraque rápidamente la perfilería en los bastidores, facilitando la labor de los operarios en el proceso de enganche mediante el uso apropiado de normas de ergonomía.
- Usar el nuevo sistema de enganche para pintar referencias de perfiles distintas de una forma universal y más estandarizada.
- Evitar al máximo la caída de perfiles en todas las fases del proceso, garantizando la salida de todos los perfiles bien pintados sobre el bastidor, con el fin de mejorar la calidad del producto terminado y no tener retrasos en la línea de producción.
- Elaborar un diseño en el que se aprovechen al máximo los recursos disponibles en la empresa Emma y CIA. S.A, con el fin de reducir costos y facilitar su elaboración.
- Justificar la elaboración del diseño con base en la relación m^2/h^* Hombre pintados (relación entre la cantidad de m^2 de perfiles pintados con la hora de trabajo hombre), la cual debe ser mayor que la manejada actualmente.
- Elaborar conclusiones del proyecto mediante resultados obtenidos de todos los ensayos y documentación donde se planteen futuras mejoras y se analice la viabilidad de producción y comercialización del producto.

1.5 ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance del proyecto es diseñar un nuevo sistema de enganche de perfiles, mas óptimo que el utilizado actualmente, el cual permita cumplir con las cantidades de producción deseadas.

El objetivo de la empresa EMMA & CIA S.A. es suplantar el sistema de gancheras actual (manual) e implementar uno nuevo que permita automatizar en gran parte el proceso. El deseo de la empresa es desarrollar un mecanismo para la sujeción de las perfiles en el proceso de pintura, el cual cumpla con los requerimientos necesarios para el buen pintado de los perfiles. El área mínima que requeriría el nuevo sistema es aproximadamente de 11.4m² debido a que también se desea automatizar el transporte y el enganche a los bastidores. La empresa es consiente que la automatización total en un 100% del proceso de enganche es casi imposible, no debido a los costos sino a la complejidad y la cantidad de requerimientos que genera esta fase del proceso de pintura.

La finalidad o el objetivo del proyecto es presentarle a la empresa una propuesta o solución que permita justificar su elaboración. La decisión de dar pie con la construcción del proyecto corre por cuenta de la empresa, teniendo en cuenta la evaluación, magnitud y costos del proyecto.

A la empresa EMMA & CIA S.A. se le entregara al final del desarrollo del proyecto de grado la información y documentación referente a la elaboración del diseño. Esta información y documentación consta de:

- Un informe, donde se expone de una forma concreta, las diferentes etapas de diseño y evaluación del proyecto con toda la información que se requiera en el desarrollo.
- Proceso detallado de investigación y desarrollo. (lista de requerimientos, conceptualización, pruebas realizadas).

- Planos de taller y de ensamble.
- Simulación. Se simulara en 3D el funcionamiento del sistema de enganche con ayuda de software como solidworks o pro-e.
- Cartas de procesos
- Un análisis de costos y proveedores.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 PLANTA DE PINTURA ELECTROSTATICA (EMMA Y CIA S.A.)

La planta de pintura electrostática constituye una de las proyecciones importantes de la empresa ya que esta es considerada en un mediano plazo como la principal fuente de ingresos de la compañía, dado el comportamiento o tendencia que tiene el mercado actual de la perfilería, es por esta razón que se hace necesario un análisis de esta planta para tener un efectivo control de esta y detectar fallas en la producción y en el desarrollo del proceso con el fin de plantear mejoras.

2.1.1 Tipos de perfiles

Existe una gran variedad de perfiles para la construcción, arquitectónicos y para la industria en general, dentro de estos podemos hablar de ángulos, platinas, barras cuadradas y hexagonales, tubos, perfilería para puertas, ventanas, cabinas de baño, cielo raso, divisiones, modulares y de oficina, canales y escaleras entre otros, además de perfilería para uso industrial, para esto se cuenta con un departamento soporte técnico encargado del desarrollo de nuevos perfiles de aluminio, cuyo objetivo es apoyar técnicamente la decisión de producir nuevos perfiles en aluminio, con el fin de aplicarlos en la fabricación de nuevos productos o como complementos adicionales de los mismos. Las recomendaciones abarcan aspectos como el tamaño, los espesores de las paredes, la complejidad de las formas, el uso final y los posibles acabados que se le pueden dar a los perfiles. Dependiendo del uso del perfil se le dará un acabado (en el caso de la pintura), ya que si es un perfil para ser usado en la construcción y se expondrá a la intemperie

requerirá una capa de pintura o un tipo de pintura diferente a otro que será usado en interiores.

2.1.2 Producción

A continuación se muestra el contexto de producción en Emma y cia de la perfilería que va ser pintada electrostáticamente. **(Ver figura 6)**

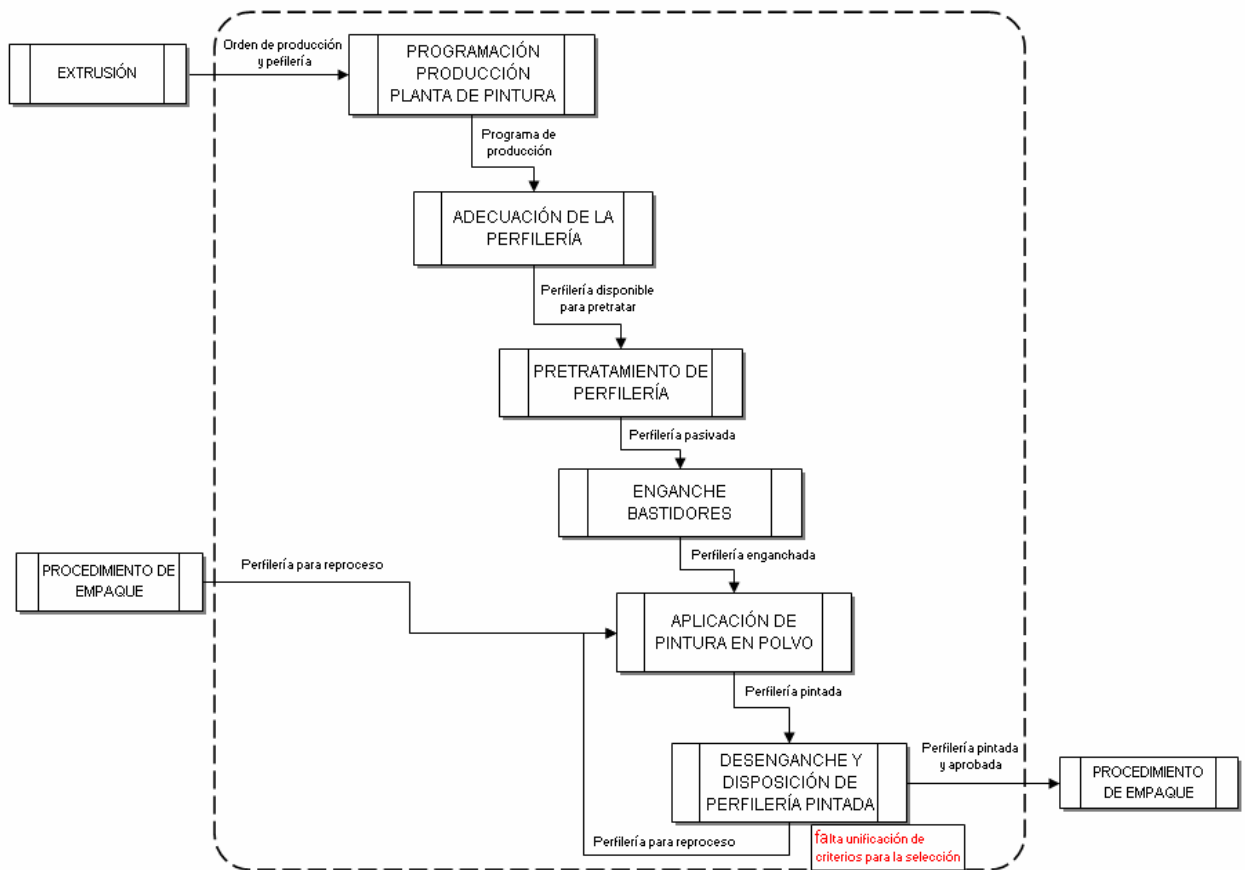







Figura 6. Contexto de producción en Emma y cia

- **Simbología**

Con el fin de documentar y visualizar la producción de la planta de pintura, y tomando como ejemplo la producción de la referencia ALC064, se realizan los siguientes diagramas de procesos y de operaciones:

Tabla 1. Simbología de Diagramas

NOMBRE	SIMBOLO	SIGNIFICADO
OPERACIÓN		Principales fases del proceso, se puede definir como fase o actividad en la cual se le cambian las propiedades a la pieza, materia o producto que fue objeto de dicha operación.
INSEPECCIÓN		Inspección de calidad o verificación de la cantidad.
TRANSPORTE		Indica movimiento ya sea de los operarios, materiales y/o equipo de un lugar a otro
ESPERA		También se le llama demora provisional, indica una pausa o interrupción momentánea.
ALMACENAMIENTO		Depósito de un objeto en un lugar, que generalmente requiere una orden para su liberación.

2.1.2.1 Diagrama de proceso

Se puede decir entonces que el diagrama de procesos es un diagrama que muestra con más detalles el proceso en estudio, ya que este tipo de diagramas muestra la trayectoria bien sea de un producto o un proceso teniendo en cuenta no solo las operaciones e inspecciones sino también los transportes, las esperas y los almacenamientos¹. Este diagrama se puede realizar bien sea registrando lo que hace el operario, como es manipulado el material, o como se utiliza el equipo. El diagrama de procesos para pintar la referencia ALC064 se muestra en la **Tabla 2**.

2.1.2.2 Diagrama de operaciones

En este tipo de diagramas solo se representan las operaciones principales y las inspecciones que se realizan para comprobar el resultado de las operaciones, en este tipo de diagrama solo se utilizan los símbolos de operación y de inspección. Los símbolos llevan una secuencia indicando el orden de las tareas o de las actividades, además de este orden se le pueden añadir una nota a cada símbolo, por ejemplo con la duración de cada tarea si se conoce¹.

La secuencia de operaciones e inspecciones que se efectúan para pintar un perfil específicamente la referencia ALC064 se muestra en la **figura 7**.

¹ DOMÍNGUEZ MACHUCA, José Antonio. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. España: Editorial Mac Graw Hill/ Interamericana de España. 1995

Tabla 2. Diagrama de Procesos Referencia ALC064

DIAGRAMA DE PROCESOS									
CURSOGRAMA ANALÍTICO		Operario / Material /Equipo							
Diagrama num. 1		RESUMEN							
Hoja num. 1		Actividad	Actual	Propuesto					
Actividad: Pintar perfil (referencia ALC064)		Operación ○	15						
		Transporte ⇨	13						
		Espera D	1						
		Inspección □	3						
Método: Actual		Almacenamiento ▽	1						
		Distancia							
		Tiempo							
Nº	DESCRIPCIÓN	Distancia	Tiempo	Símbolo			OBSERVACIONES		
				○	⇨	D	□	▽	
1	Soplar perfiles								
2	Traspaso perfiles de cuerpo a mesa								
3	Revisión								
4	Traslado de perfiles a canastilla								
5	Amar Soportes metalicos de canasta								
	Pretratamiento								Se realiza en 6 tanques y con ayuda de puente grúa
6	Ingresar la canastilla a tanque 1								
7	Desengrase		10						
8	Ecurrir		1,5						
9	Ingresar canastilla a tanque 2								Enjuague 1
10	Ecurrir		1,5						
11	Ingresar canastilla a tanque 3								Enjuague 2
12	Ecurrir								
13	Ingresar canastilla a tanque 4								
14	Pasivar		20						Tanque 4
15	Ecurrir		1,5						
16	Ingresar a tanque 5								Enjuague 3
17	Ecurrir								
18	Ingresar a tanque 6								Enjuague 4
19	Ecurrir		10						Entre 5 y 10 min.
20	Ingresar canastilla a horno								
21	Secado de perfiles		28,5						En horno
22	Retirar canastilla del horno								
23	Depositar material en el piso								Material en espera para enganche
	Enganche								
24	Desarmar canastilla								
25	Transportar cuerpo con perfiles	7							
26	Movilizar perfiles a mesa								
27	Inspeccionar material								
28	Enganche de los perfiles								1 m de a cuatro u ocho perfiles hasta completar la totalidad del gancho
	Pintura								
29	Aplicación de pintura en polvo								
30	Horno de curado (polimerizado)		21						
	Desenganche								
31	Desenganche y traspaso de perfiles								
32	Inspección								
33	Almacenamiento								
TOTAL				15	13	1	3	1	

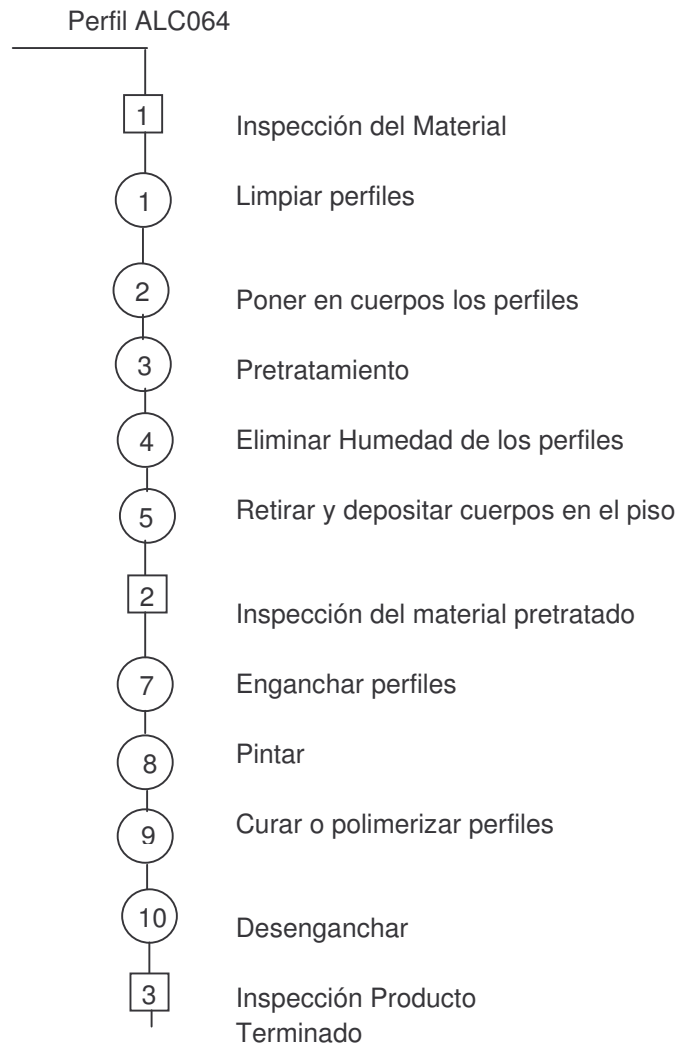


Figura 7. Diagrama de operaciones referencia ALC064

Estas mismas operaciones son realizadas para todas las referencias de perfiles que vayan a ser pintadas, las variaciones solo se ven reflejadas en los tiempos en los cuales se desarrollan estas actividades. Por ejemplo los tiempos de enganche de una referencia ALC063 son más prolongados que los tiempos necesarios para enganchar una ALC065. Estas variaciones de tiempos cambian según el tamaño y geometría del perfil a ser pintado.

2.1.2.3 Perfiles mas pintados

Existen cerca de 600 referencias de perfiles (de las cuales se han pintado hasta el momento 323) es por esta razón que se decide realizar una diagrama de Pareto basado en la producción de los meses de Diciembre, Enero y Febrero para facilitar la ejecución del estudio de este manera el estudio podrá ir enfocado hacia aquellas referencias "más importantes" para la compañía y priorizar así sobre éstas.

El análisis de Pareto nos muestra que el 80% de la producción actual de la planta corresponde a las primeras 67 referencias que equivalen al 20% del total actual. A continuación se muestra un resumen del análisis de Pareto (**Ver tabla 3**), el listado completo se muestra en el anexo 1.

Tabla 3. Resumen análisis de Pareto

No Item	Referencia	Kilos	% Pintado	% Acumulado
1	ALC064	44.696	4,99%	4,99%
2	ED028	41.600	4,65%	9,64%
3	ALC063	37.691	4,21%	13,85%
4	ALC036	31.193	3,49%	17,34%
5	ALC035	26.910	3,01%	20,35%
6	ETC103	24.601	2,75%	23,10%
7	ALC158	24.187	2,70%	25,80%
8	ALC065	23.042	2,57%	28,37%
9	ALC045	21.825	2,44%	30,81%
10	ALC145	21.702	2,42%	33,24%
11	ALC015	21.663	2,42%	35,66%
12	ALC029	21.211	2,37%	38,03%
13	ALC147	20.450	2,29%	40,31%
14	ALC146	20.314	2,27%	42,58%
15	EAA059	19.498	2,18%	44,76%
16	PEL008	18.576	2,08%	46,84%

17	ESA364	15.068	1,68%	48,52%
18	ALC031	14.727	1,65%	50,17%
19	ALC150	12.800	1,43%	51,60%
20	ALC149	12.036	1,34%	52,94%
21	ALC037	11.953	1,34%	54,28%
22	ALC043	11.405	1,27%	55,55%
23	MGK060	10.750	1,20%	56,75%
24	ALC148	10.284	1,15%	57,90%
25	ALC028	10.030	1,12%	59,02%
26	EMM364	8.731	0,98%	60,00%
27	123_4	8.019	0,90%	60,89%
28	PEL003	6.588	0,74%	61,63%
29	ALC049	6.585	0,74%	62,37%
30	EMM511	6.548	0,73%	63,10%
31	EMM361	6.242	0,70%	63,80%
32	ES596	6.225	0,70%	64,49%
33	EUA068	6.217	0,69%	65,19%
34	ALC032	5.890	0,66%	65,84%
35	ALC050	5.694	0,64%	66,48%
36	1227_1	5.534	0,62%	67,10%
37	ETA098	5.467	0,61%	67,71%
38	ALC051	5.317	0,59%	68,30%
39	ALC046	4.876	0,54%	68,85%
40	ALC047	4.803	0,54%	69,38%
41	EMM177	4.696	0,52%	69,91%
42	ALC151	4.440	0,50%	70,41%
43	ESB201	4.388	0,49%	70,90%
44	ALC044	4.210	0,47%	71,37%
45	EUA078	4.193	0,47%	71,83%
46	ESA598	4.123	0,46%	72,30%
47	EMMA391	3.967	0,44%	72,74%
48	ALC053	3.862	0,43%	73,17%
49	GK068	3.760	0,42%	73,59%

50	EMM349	3.490	0,39%	73,98%
51	ALC152	3.452	0,39%	74,37%
52	EMM191	3.408	0,38%	74,75%
53	MGK065	3.383	0,38%	75,13%
54	EUA066	3.339	0,37%	75,50%
55	EMM391	3.276	0,37%	75,86%
56	ALC020	3.232	0,36%	76,23%
57	ALC048	3.229	0,36%	76,59%
58	EMM388	3.223	0,36%	76,95%
59	ET077	3.198	0,36%	77,30%
60	EMM190	3.172	0,35%	77,66%
61	ALC033	3.142	0,35%	78,01%
62	EMM319	3.131	0,35%	78,36%
63	ETA005	3.097	0,35%	78,71%
64	ALC054	3.078	0,34%	79,05%
65	EMMA346	2.891	0,32%	79,37%
66	EMM841	2.885	0,32%	79,69%
67	EMM176	2.865	0,32%	80,01%
	Otras	178.856	19.99%	100
		894.934	100,00%	200,00%

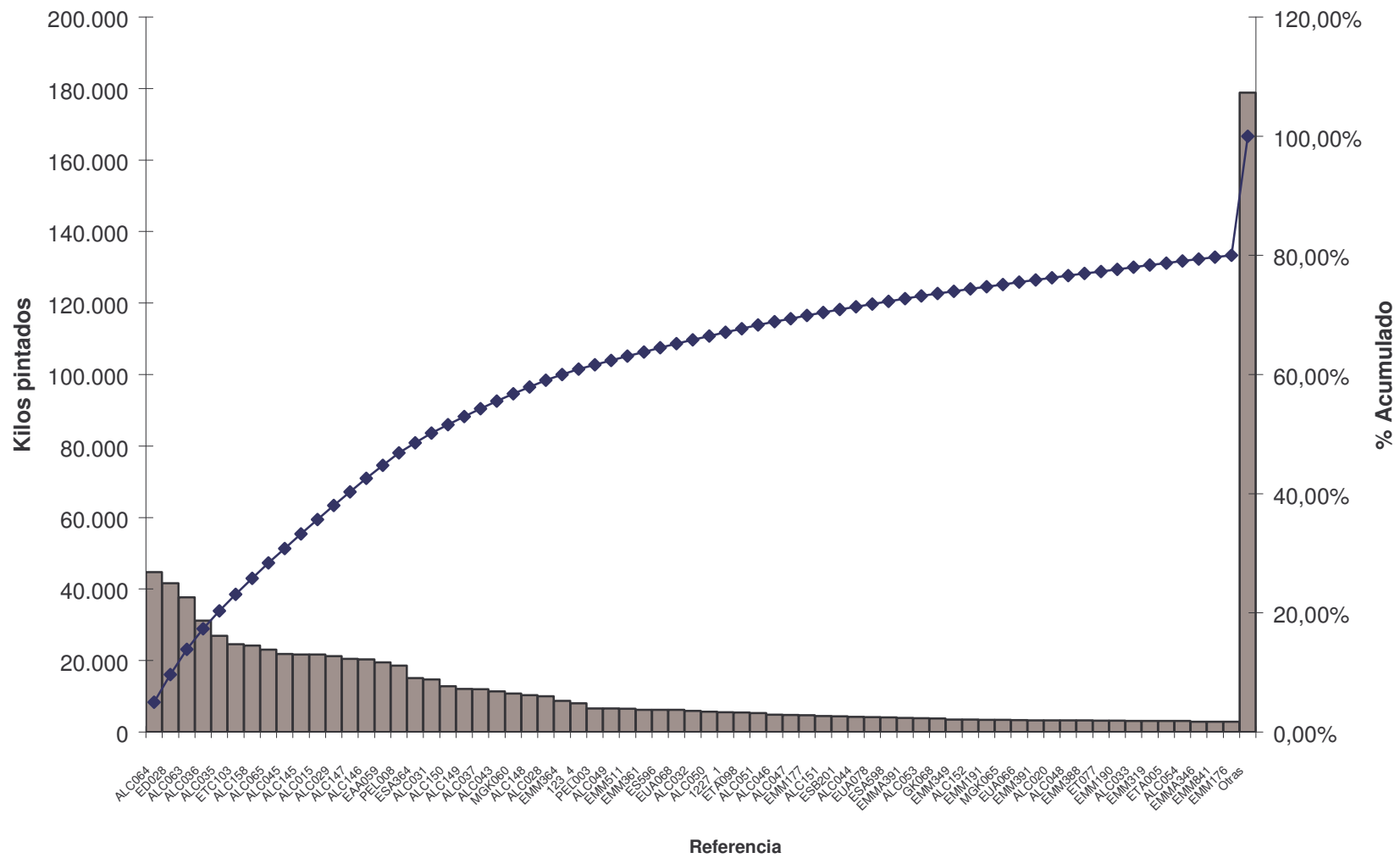


Figura 8. Diagrama de Pareto

Estos datos nos determinan cuales referencias de perfiles son las mas pintadas, en este caso las ALC¹ (**Ver figura 9**) son las referencias que se llevan casi el 80% de la producción de la planta de pintura, dato que podría ser de gran valor al momento de pensar en un diseño de enraque universal para los perfiles, el cual permita sujetar el mayor número de perfiles con referencias distintas de una misma manera.

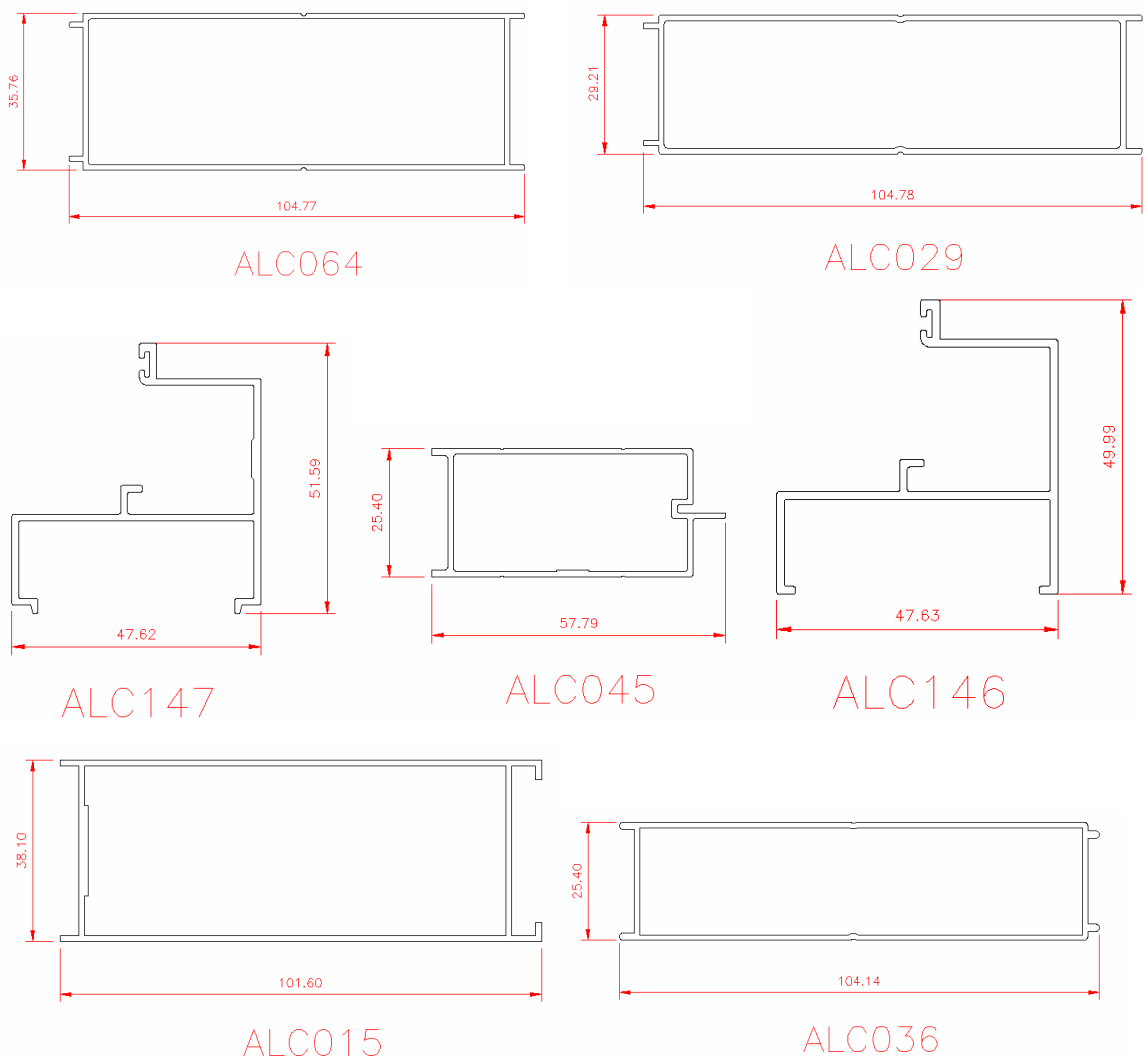


Figura 9. Muestras de perfiles ALC. (las medidas están en milímetros)

¹ Aluminio del caribe. Cliente centro americano de Emma y CIA. S.A

En este momento el enraque de estos perfiles implica la fabricación de una ganchera por cada referencia de perfil para garantizar que los perfiles queden bien sujetos, aspecto el cual por la gran cantidad de referencias hace que en algunos momentos se utilicen varias referencias para una misma ganchera lo que no garantiza que estos perfiles están adecuadamente sujetos.

2.1.1 AREA DE ENRAQUE

El área de enraque es un proceso complementario al proceso de pintura electrostática y varia según el uso que se le vaya a dar a la planta de pintura, lo cual depende básicamente del tipo de producto que se vaya a pintar. En la actualidad existen diferentes formas de enraque que varía según el producto y las especificaciones de la planta. Existen plantas de pintura que se diseñan en forma vertical, lo que permite ahorrar espacio dentro de la planta de producción, pero implica costos más altos para su construcción y puesta en marcha. Para este tipo de plantas se utiliza un sistema de enganche que permite sujetar todos los perfiles ya sea presionando por medio de pinzas o mordazas, o también utilizando ganchos. Esto dependiendo de las especificaciones del producto y de las condiciones requeridas por los clientes.

Debido a que los perfiles quedan suspendidos verticalmente el sistema de enganche debe ejercer una muy buena presión a cada perfil con el fin de que no se caigan o en otro de los casos elaborar una guía y colgarlos. Un ejemplo de esta forma de enganche se encuentra en Emma y CIA. S.A. en el sector de anodizado en donde se ha implantado una planta vertical para este proceso, y en donde se utilizan para el enganche de perfiles unas mordazas que se cierran por medio de pistolas neumáticas hasta ejercer una buena presión sobre el perfil. Estas mordazas abren y cierran por medio de un tornillo y una tuerca. Este sistema esta constituido también por dos mesas neumáticas las cuales se encargan de subir y

de bajar los perfiles de los bastidores, para posteriormente ser transportados por grúas a través del proceso de anodizado.

Por otra parte las plantas de pintura horizontales pueden abarcar un área mayor dentro de una planta de producción, pero puede salir más económica que una planta vertical. En Emma y CIA. S.A. la planta de pintura electrostática es horizontal por lo que los perfiles tienen que ser colocados de forma horizontal. Emma y CIA. S.A. está diseñada y programada para pintar en su mayoría, perfiles de 6 metros de longitud. La actividad de enganche de esta planta se basa en gancheras¹ que varían según la referencia del perfil a pintar, y para las cuales se les ha destinado un espacio para su almacenamiento debido a la gran cantidad de gancheras que existen. **(Ver figuras 10 y 11)**

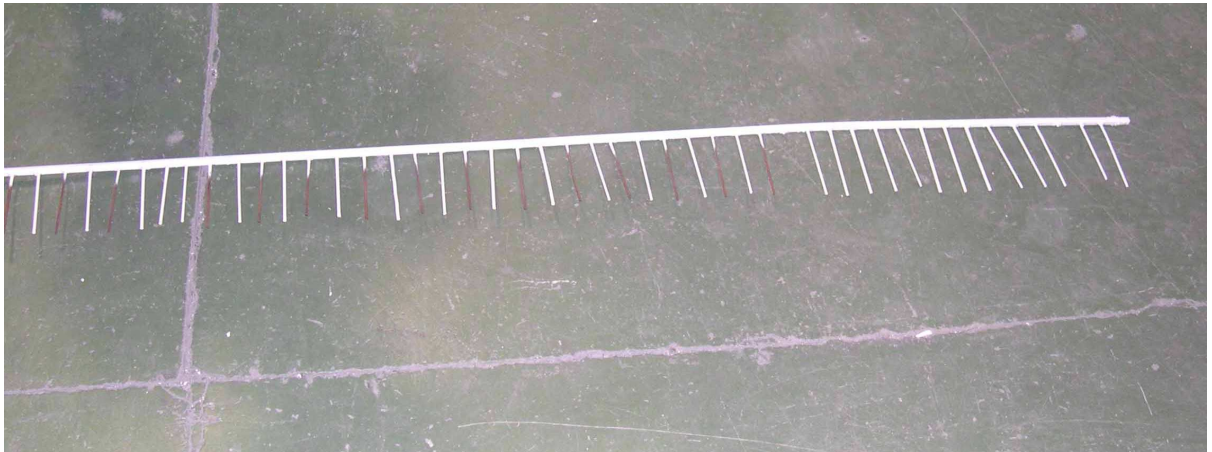


Figura 10. Ganchera para perfilería tubular

¹ Elementos para sujetar perfiles de aluminio en Emma y cia.

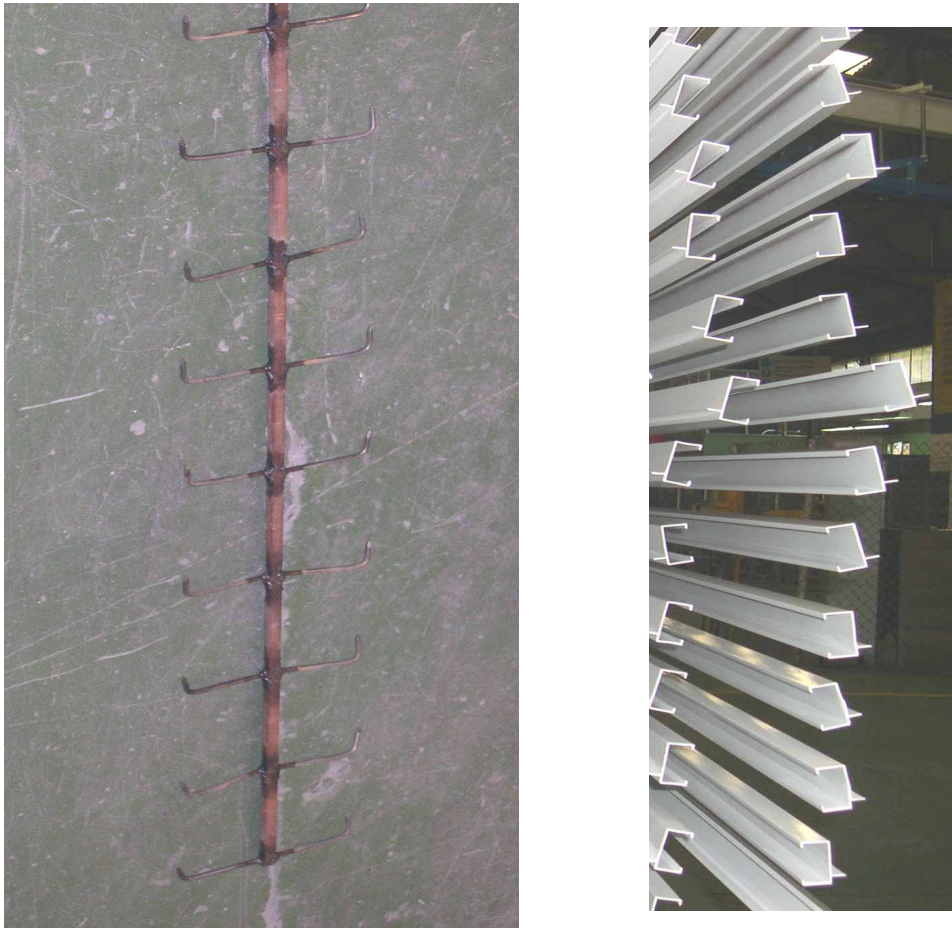


Figura 11. Ganchera

Estas gancheras constan de una barra de acero de 1.9 metros de longitud de la cual se suelda uno por uno los ganchos de sujeción (la forma del gancho depende del perfil a pintar) por lado y lado de la barra a una distancia mínima de 4 cm. entre cada gancho, sobre una longitud de 1.8 metros aproximadamente. El extremo superior de la barra se une a un gancho del cual se sujetara la ganchera al bastidor¹.

¹ Barra horizontal de donde se cuelgan los ganchos en los perfiles



Figura 12. Gancho de unión al bastidor

El área de enraque por ser un proceso complementario al proceso de pintura electrostática, afecta en gran medida al buen desarrollo de este si no se tiene un buen sistema.

Por eso al momento de realizar un sistema alternativo de sujeción de perfiles se deben de conocer las especificaciones y los requerimientos que se necesitan para que el proceso de pintura no tenga inconvenientes y surgir problemas de tipo electrostático que ocasionen alteraciones en la aplicación de la pintura.

2.2 PROCESO DE PINTURA ELECTROSTATICA

2.2.1 Pintura en polvo

La pintura electrostática en polvo es un compuesto granulado (tamaño talco) a 400 o más mallas el cual se compone de una mezcla de varios polímeros gelados (secos), que incluyen pigmentos o carga, la cual es básicamente dieléctrica (no conductente de la electricidad) Este compuesto se denomina "pintura en polvo", y sirve para pintar metales.

Las ventajas son las siguientes:

- Se logran espesores de hasta 60 micrones con una sola aplicación.
- Este pintado redondea bordes y aristas afiladas.
- Tapa superficies bastas, producto del limado o galleado.
- La pintura es extremadamente flexible y adherente.
- La pintura es termoendurente¹. Una vez curada no se puede volver a derretir con calor.
- El proceso de pintado y secado en horno no emite ninguna emanación tóxica al medio ambiente.
- El metro cuadrado de pintura incluyendo todos los costos involucrados es 40% más barato que otro tipo de pintura similar líquido.
- Esta pintura es más fácil de aplicar, pues no produce chorreaduras por inexperiencia del operador.
- La capa electrostática da una notable homogeneidad de espesor de pintado.
- El manejo y manipulación del polvo es más fácil y menos peligroso que el líquido.
- Menos riesgo de incendio.
- El pintado electrostático reemplaza las tradicionales manos de pintado anticorrosivo.
- El polvo utilizado y recuperado se vuelve a utilizar.
- La presentación de una pieza pintada con polvo es muy buena y no tiene igual o que se le parezca con sistemas líquidos.
- El pintado electrostático presenta alta característica de antirayabilidad².
- El pintado con polvo permite pintar en pocos minutos y obtener una pieza seca lista para ser empacada.

¹ Endurece a acción de la temperatura

² Resistencia al rayado

Las desventajas del pintado electrostático con polvo son:

- El alto costo de implementación de un horno adecuado para curar la pintura (y otros accesorios para instalaciones más complejas).
- Existe ligera y persistente dificultad de pintar lugares de difícil acceso como puntos de soldaduras o intersticios en la unión de dos trozos metálicos. Esto acarrea problemas como oxidación.
- Poca factibilidad de pintar piezas metálicas grandes como estructuras etc. puesto que se requeriría de un horno con las dimensiones suficientes para colocar dicha estructura en su interior, aspecto que generaría muy altos costos de elaboración.
- No apto para pintar piezas con gran masa, por ej.: Ruedas de ferrocarril o planchas de 30-40 m/m de espesor. La razón es el alto costo por caloría. (se demora mucho en calentar la pieza).
- A partir de cierto volumen de pintado se requerirá de un lugar adecuado con ventilación forzada para pintar, así se extraerá el polvo y el operador trabajará mejor. O sea es conveniente contar con una cabina de pintura para incluso poder recuperar el polvo.
- Los servicios técnicos de los equipos aplicadores de pintura son a menudo lentos y los repuestos excesivamente caros.
- Los circuitos de los equipos modernos son digitales y tienen incorporados microchips que comandan las diversas funciones del equipo. Estos chips tienen clave y encriptación que obliga a que solo el fabricante pueda repararlos y hacerle el servicio.

2.2.2 Proceso

El proceso de pintura electrostática se divide en dos partes, una para el pretratamiento de la superficie y la otra para la aplicación de la pintura como tal. Esta última a su vez se divide en: zona de enraque, cabina de pintura, horno de polimerizado y zona de desenganche.

2.2.2.1 Pretratamiento

El proceso de pretratamiento de perfiles tiene por objeto preparar la superficie del aluminio para que pueda recibir la capa de pintura y asegurar las mejores características de calidad, de acuerdo a las condiciones ambientales (humedad, salinidad, temperatura) a las cuales va a estar expuesto el producto.

El material se organiza en canastilla, de forma que las caras críticas tengan contacto con las soluciones en las cuales van a sumergirse. El proceso se lleva a cabo por inmersión secuencial en un conjunto de tanques como se describe a continuación:

- Desengrase ácido.

Tanque Nro. 1 su objetivo es eliminar de la superficie del aluminio aceites, grasas medianamente orgánicas y a la vez remover óxidos superficiales generados en las diversas etapas del proceso de extrusión, para esto se emplea un compuesto conocido comercialmente como desengrase ácido AI-150 (Tecniquímica).

- Enjuague.

Tanque Nro 2 y Nro. 3 para eliminar residuos de la reacción y del agente activo del desengrase, se utiliza agua de red de empresas públicas de Medellín.

- Conversión superficial.

Tanque Nro. 4 consiste en producir sobre la superficie del aluminio una capa cromática (cromo) altamente resistente a la corrosión, la cual proporciona gran adherencia a la pintura electrostática en polvo.

- Enjuague

Tanque Nro 5 y tanque Nro6 para eliminar residuos de la etapa anterior que genera polvillo, indeseable en el proceso. NOTA: Los enjuagues correspondientes a los tanques Nro.3 y Nro 6 en un futuro se utilizara agua desmineralizada. **(Ver figura 13)**



Figura 13. Pretratamiento

- Secado de perfiles

Una vez retirada la carga, del enjuague correspondiente al tanque Nro. 6 se da un tiempo de escurrido (10-15 minutos) en el transportador y se trasladan hasta el horno de secado, en donde a una temperatura máxima de 90 grados y por un tiempo de 20 minutos aproximadamente se les evapora la humedad. **(Ver figura 14)**



Figura 14. Secado de perfiles

2.2.2.2 Aplicación de pintura

- **Enraque de perfiles**

Los perfiles totalmente secos y libres de limalla e impurezas son enganchados en los diferentes tipos de gancheras de acuerdo a la referencia a pintar. Este proceso es realizado por dos operarios los cuales son los encargados de transportar los perfiles desde la canasta de pretratamiento hasta las gancheras. Esta actividad es 100% manual por lo que deben colocarse uno por uno y de manera muy coordinada sobre las gancheras debido a que en la mayoría de casos los perfiles son de grandes longitudes lo que implica que se debe tener una buena sujeción y ubicación de los ganchos.

- **Aplicación electrostática de pintura en polvo**

Una vez enganchados los perfiles inician su recorrido hacia la cabina de aplicación de pintura en la cual se deposita electrostáticamente la pintura en polvo sobre la superficie.

< Operación del sistema de aplicación de pintura.

La aplicación de pintura en polvo se inicia con la fluidización, proceso en donde el polvo se mezcla con aire comprimido y luego se envía por medio de bombas desde un contenedor (tolva) hasta las pistolas (2 reciprocantes, cada uno con 6 pistolas). El polvo suministrado a las pistolas se carga usando el mecanismo corona (Bombardeo de iones). El polvo cargado, se mueve hacia la pieza aterrizada con la ayuda de aire suministrado a las pistolas. Cuando las partículas de pintura están cerca de la pieza, la atracción electrostática entre las partículas de polvo cargadas y la parte aterrizada atrae el polvo y hace que se adhiera.

Se distinguen tres etapas en la aplicación de la pintura en polvo.

- Fluidización y transporte de la pintura hacia las pistolas.
- Aplicación de pintura.
- Recuperación y recirculación de pintura.

El sistema de aplicación opera simultáneamente con la recuperación y recirculación de la pintura. **(Ver figura 15)**



Figura 15. Aplicación de Pintura

< Fluidización y transporte de pintura hasta las pistolas

La fluidización permite que la pintura sea fácilmente transportada desde el depósito hasta la pistola con alto grado de uniformidad, al mismo tiempo que preacondiciona la pintura rompiendo las aglomeraciones y removiendo la humedad absorbida para permitir su transporte por medio de bombas.

< Aplicación de pintura

Se realiza en la cabina, la cual actúa como contenedora del polvo atomizado por las pistolas.

< Recuperación y recirculación de pintura

La pintura sobrante en la cabina es succionada y transportada a un ciclón que separa las partículas más pesadas y las retorna al depósito de pintura.

- **Curado de la pintura**

En esta etapa del proceso se exponen al calor las piezas recubiertas con pintura en polvo, para obtener el acabado deseado.

Los perfiles o piezas con pintura continúan su transporte hasta el horno de curado, en el cual la pintura se polimeriza, funde y fluye formando una película continua perfectamente adherida a los perfiles. Este proceso ocurre a temperaturas entre 200-215 grados y durante 17-21 minutos, que es el tiempo que tarda una carga en hacer el recorrido a través del horno (Estas condiciones son variables, dependiendo del tipo de pintura). Los perfiles una vez salen del horno están listos

para ser descargados y entregados para empaque, previa evaluación de sus características de calidad.

- **Desenganche**

En esta última fase del proceso de pintura dos operarios se encargan de bajar los perfiles pintados de las gancheras y colocarlos sobre un banco para su inspección y posteriormente ser almacenados.

BIBLIOGRAFÍA

- DOMÍNGUEZ MACHUCA, José Antonio. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. España: Editorial Mac Graw Hill/ Interamericana de España. 1995.
- KRICK, Edward v. Introducción a la ingeniería y al diseño en ingeniería. México, D.F: Editorial limusa, 2001. 240 p.
- OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO. Introducción al estudio del trabajo. Cuarta edición. Ginebra, Suiza: Editorial Limusa s.a. 2000. 522 p.
- JORGE GOMEZ, JEFE AREA DE PINTURA EMMA Y CIA S.A. Planta de pintura electrostática Emma y cia. 2005.
- JORGE GOMEZ, JEFE ÁREA DE PINTURA EMMA Y CIA S.A. Proceso de pintura electrostática.

PUBLICACIONES

- ALSAN ALVAREZ-SCHAER, S.A. Catálogo Anodizing and painting installation.
- ALSAN ALVAREZ-SCHAER, S.A. Catálogo vertical-horizontal anodizing.
- ALSAN ALVAREZ-SCHAER, S.A. Examples of layout for anodizing and painting plants.

SITIOS WEB

- Página Corporativa EMMA Y CIA S.A. [sitio en Internet]. Disponible en <http://www.emma.com.co>.<[Consulta: 30 de Junio del 2006]

CAPITULO III

PROCESO CONCEPTUAL DE DISEÑO

3.1 METODOLOGÍA

La metodología de diseño propuesta para el desarrollo de este proyecto de grado se caracteriza por ser: objetiva, estructurada y útil para alcanzar los resultados esperados planteados previamente desde los objetivos.

Se define como **objetiva** por la búsqueda racional y lógica de alternativas, donde cada uno de los elementos definidos para conformar el conjunto "*product*", está adecuadamente analizado y justificado. Es **estructurada** porque por medio de etapas secuenciales se clarifican las tareas necesarias para alcanzar el objetivo determinado. El método seleccionado trabaja en función del desarrollo del producto y no lo contrario. En este factor radica la **utilidad** real que representa dicha forma de trabajo para alcanzar las metas fijadas.

Nigel Cross¹ trabaja estrategias para el desarrollo de nuevos productos que se caracterizan por cumplir los tres elementos descritos anteriormente y justifican la utilización de dichas herramientas. Para esto el autor realizó una síntesis de diferentes perspectivas para abordar la metodología de diseño basándose en autores como Pahl y Beitz, Archer L. B., March L. J. y en métodos como VDI2221 del Verein Deutscher Ingenieure, entre otros.

Por tal razón, la metodología expuesta a continuación está apoyada en los procesos descritos por este autor. El esquema a seguir está basado en los métodos que se encuentran dentro de un marco de referencia lógico, ya que motivan a un enfoque sistemático en el diseño, donde todas las etapas parten de la interpretación conceptual de los problemas de diseño.

¹ CROSS, Nigel. Métodos de diseño, estrategias para el diseño de productos. México D.F.: Limusa Wiley;1995.

3.1.1 Etapas de diseño (ver figura 16)

ETAPA 1.

Clarificación de objetivos.

La primera etapa consiste en evaluar los objetivos del proyecto, es decir clarificar lo que se espera lograr. Determinar los "problemas" o "situaciones de diseño" general y específicos, para así iniciar con la solución a dichas situaciones.

ETAPA 2.

Fijación de requerimientos.

En la segunda etapa se emplea como herramienta la especificación del rendimiento esperado necesario para la solución. Se determinan cuáles son los requerimientos que debe cumplir el sistema para alcanzar el objetivo. Se hace especial énfasis en el concepto de calidad con la finalidad de fijar las metas a alcanzar para el producto trabajando en función de la satisfacción del usuario.

Determinación de características.

De acuerdo a los requerimientos establecidos con anterioridad, se determinan las características de diseño, ergonomía, ingeniería, materiales, costos, entre otros, que hacen posible el cumplimiento de estos requerimientos.

Finalizada esta etapa, se sintetiza la información recopilada en el documento denominado *PDS* (Product Design Specifications). **Anexo 2.**

ETAPA 3.

Análisis funcional.

El principal objetivo de esta etapa, es analizar a profundidad el sistema o producto a través de:

- La determinación de la caja negra, donde se presenta una introducción al sistema a partir de la función principal y los flujos de entrada y salida.

- El establecimiento de secuencias y/o procesos por medio de un árbol de funciones donde se visualizan las funciones secundarias así como sus enlaces.
- La descomposición del sistema por medio de una estructura funcional, donde se estudian los flujos y funciones tanto primarias, secundarias y auxiliares como los límites del sistema que representa el producto.

ETAPA 4.

Generación de alternativas.

A través de un diagrama morfológico basado en las funciones establecidas en las etapas anteriores, se generan alternativas solución al sistema (combinaciones de elementos o componentes), con el objetivo de ampliar la búsqueda de soluciones potenciales u opciones que no se habían considerado anteriormente. Todo esto considerando los portadores físicos disponibles en el medio.

Evaluación de alternativas.

Como herramienta para el proceso de evaluación y selección de alternativas, se propone el método de objetivos ponderados, ya que es un sistema lógico y abierto que ofrece mayor seguridad que un método por intuición o conjeturas.

El método permite evaluar y comparar las alternativas con base en objetivos.

Para ello se les asignan pesos numéricos (porcentajes) y calificaciones numéricas a los rendimientos de los diseños alternativos, medidos contra los objetivos correspondientes.

Como complemento a los resultados obtenidos en el método de objetivos ponderados y con el objetivo de seleccionar la alternativa apropiada desde los puntos de vista funcional y económico.

Análisis de costos: El objetivo del análisis es evaluar el costo de las partes, materiales y procesos que demanda cada alternativa. Esto permite determinar cual

es más compatible con los objetivos del proyecto que hacen referencia al tema de costos de fabricación. **Anexo 4.**

ETAPA 5.

Mejora de detalles.

Se centra en el tema de ingeniería de valor, donde se pretende acrecentar y mantener el valor del producto para el usuario, reduciendo al mismo tiempo el costo para el productor.

Por medio de simulaciones, se evaluará los mecanismos y sistemas propuestos en la alternativa con la ejecución de pruebas, buscando determinar un mayor rendimiento.

A partir de la simulación se realizara pruebas con el fin de encontrar problemas que generen incumplimientos en los requerimientos descritos. Con esto se busca el cumplimiento de los objetivos de rendimiento esperados. Esta última etapa pretende optimizar el sistema y no el producto como tal, es decir, **el alcance que plantea el proyecto no resuelve todas las implicaciones que requiere un producto terminado**¹.

A continuación se presenta el diagrama o modelo esquemático al cual obedece el método de diseño planteado para el desarrollo del proyecto de grado, derivado de las etapas anteriormente expuestas.

¹ En el alcance del proyecto no está la fabricación del modelo

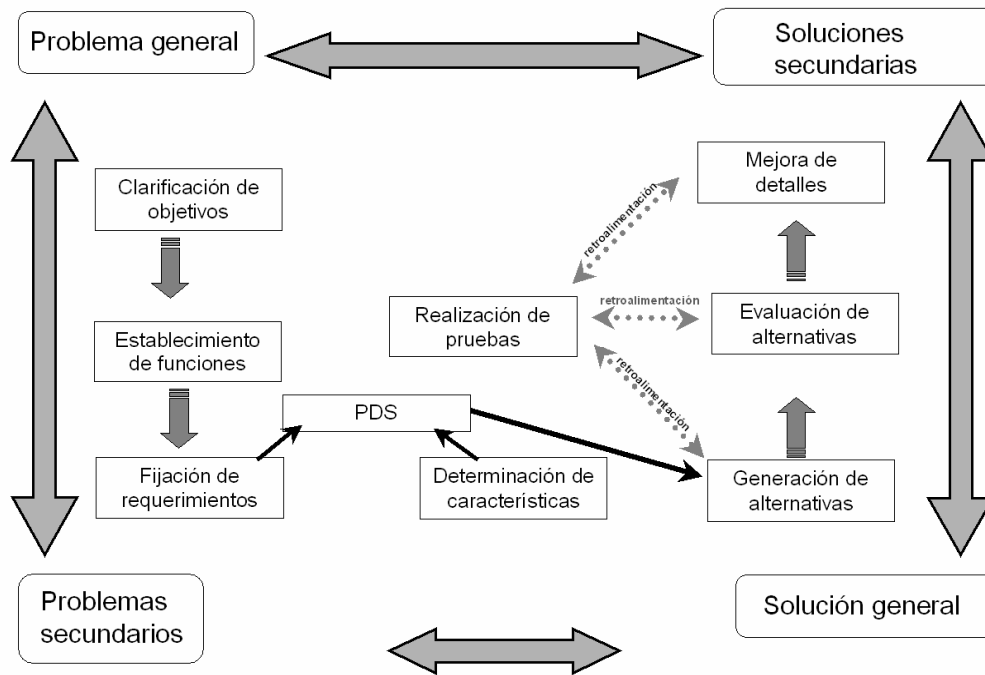


Figura 16. Proceso de diseño para el desarrollo del proyecto, inspirado en el modelo simétrico de problema / solución, planteado en el libro “Métodos de Diseño” de Nigel Cross.

3.2 ETAPA 1. CLARIFICACIÓN DE OBJETIVOS

Este proyecto de grado cuenta con objetivos expuestos anteriormente, que tienen como norte la optimización del proceso de enraque de perfiles para una planta de pintura electrostática. Al analizarlos detalladamente y determinar su relación con esta etapa del proyecto, se llegó a la idea central que consiste en: **Diseñar un nuevo sistema de enraque de perfiles de aluminio en el proceso de pintura electrostática para la empresa Emma y CIA S.A., que sea más óptimo y eficiente que el sistema actual. Automatizando una gran parte de este proceso utilizando mecanismos simples y eficientes, con el fin de aumentar la producción de perfiles pintados y por consiguiente la producción general de la empresa.**

3.3 ETAPA 2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO


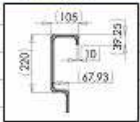



Después de identificar y esclarecer a qué se deseaba llegar, en la segunda etapa del análisis funcional se determinaron los "QUE". Es decir, las "demandas y deseos" presentados en términos de "Requerimientos Técnicos de Ingeniería"¹, que dan cumplimiento a los objetivos del proyecto (Ver anexo 2. PDS).






Los "QUE" son aquellas especificaciones que debe cumplir el producto para dar solución a los diferentes problemas o situaciones y ayudan en la configuración del mismo en la etapa de conceptualización, de forma que realmente se defina la "respuesta" a la demanda de necesidades, dentro de los condicionamientos existentes y de la forma más económica posible.

A continuación se presentan los atributos de diseño más importantes y pertinentes para esta etapa de desarrollo (conceptual) del producto (**ver tabla 4**). Estos atributos están acompañados de un requerimiento técnico que suple los QUE generados en los diferentes parámetros de evaluación del PDS y de una comparación con el modelo actual.

¹ Expresados en forma singular y medible, representados por una medida o un valor.

Tabla 4. Requerimientos y características pertinentes para la etapa de desarrollo conceptual del proyecto. Tomado del documento Product Design Specifications (anexo 2).

PRODUCTO: SISTEMA DE ENGANCHE DE PERFILES		ASUNTO: LISTA DE REQUERIMIENTOS	
FACTOR	MODELO ACTUAL	ATRIBUTOS DE DISEÑO	REQUERIMIENTO TÉCNICO
TAMAÑO		<p>< QUE POR CAUSA DEL TAMAÑO DE LOS ELEM. DE SUJECION NO SE GENEREN GRANDES AREAS SIN PINTAR EN LOS PERFILES.</p> <p><QUE EL TAMAÑO DEL SIST. DE ENGANCHE SEA OPTIMO PARA EL ÁREA DE LA PLANTA DE PINTURA.</p>	 <p>< LAS MEDIDAS DEL BASTIDOR SON : 7000*12*6 mm</p>
DESEMPEÑO	<p>NO ES EL MAS OPTIMO DEBIDO A QUE EL DESEMPEÑO ESTA DIRECTAMENTE LIGADO A LA CAPACIDAD DE LOS OPERARIOS POR SER UNA ACTIVIDAD QUE SE REALIZA MANUALMENTE.</p>	<p>< QUE SE TENGA BUENA SUJECIÓN DEL PERFIL.</p> <p>< QUE LA DISTANCIA ENTRE PERFILES SEA LA MÍNIMA CON EL FIN DE MONTAR EL MAYOR # DE ELLOS Y QUE QUEDEN BIEN PINTADOS</p>	 <p>< SE BUSCA MONTAR LA LA MAYOR CANTIDAD DE PERFILES SOBRE UN BASTIDOR</p>
ERGONOMÍA	<p>EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD DE ENGANCHE NO POSEE BUENAS HERRAMIENTAS ERGONÓMICAS.</p>	<p><QUE LA POSICIÓN Y LA ACTIVIDAD DE TRABAJO DE LOS OPERARIOS SEA LA MAS OPTIMA Y CÓMODA POSIBLE.</p> <p><QUE EL SIST. DE ENGANCHE SEA FÁCIL DE MANIPULAR Y BRINDE COMODIDAD A LOS OPERARIOS.</p>	<p>< DISEÑO BASADO EN TABLAS ANTROPOMETRICAS.</p>
MANTENIMIENTO	 <p>LAS GANCHERAS POR SU CONSTANTE USO, ES NECESARIO LA REALIZACIÓN DE SU MANTENIMI.</p> <p>< UNA DE LAS ACTIVIDADES ES ENDEREZAR LOS GANCHOS QUE SE ENCUENTRAN DOBLADOS.</p> <p>< TAMBIÉN LA ACUMULACIÓN DE PINTURA DEBIDO AL CONSTANTE USO, DEBE SER RETIRADA CON FRECUENCIA.</p>	<p>< QUE SEA FÁCIL DE REPARAR.</p> <p>< QUE SE UTILICE UN MÍNIMO DE HERRAMIENTAS EN SU MANTENIMIENTO.</p> 	<p>< PARTES ESTANDARIZADAS CON FIN DE FACILITAR LA REPARACIÓN.</p> <p><EVITAR COLOCAR PIEZAS SUPERPUESTAS QUE IMPIDAN EL ACCESO A OTRAS.</p>

FACILIDADES DE MANUFACTURA	<p>LA ELABORACIÓN DE LAS GANCHERAS ES REALIZADA EN LA MISMA EMPRESA.</p> <p>< PARA LA ELABORACIÓN DE LOS GANCHOS, SON UTILIZADAS VARILLAS DE ACERO A LAS CUALES SE LES DA FORMA, PARA POSTERIORMENTE SER SOLDADAS EN LA BARRA A LA DISTANCIA REQUERIDA.</p>	<p>< QUE SE FABRIQUE CON PROCESOS NO TAN COMPLEJOS, LOS CUALES EXISTAN EN LA INDUSTRIA LOCAL.</p> <p>< QUE SE TENGAN PARTES ESTÁNDAR.</p> <p>< QUE SE EVITEN LOS ACABADOS SUPERFICIALES.</p>	<p>< EL PROCESO DE MANUFACTURA DEBE ESTAR EN CAPACIDAD DE SER ELABORADO A PARTIR DE LAS HERRAMIENTAS EXISTENTES EN EL MERCADO LOCAL, CON EL FIN DE EVITAR ALTOS COSTOS DE FABRICACIÓN.</p>
	<p>INSTALACIÓN</p> <p>LAS GANCHERAS SON INSTALADAS O COLOCADAS, SOBRE EL BASTIDOR DE FORMA MANUAL POR MEDIO DE DOS OPERARIOS, LOS CUALES SON LOS ENCARGADOS DE UBICAR LOS PERFILES SOBRE CADA GANCHO.</p> 	<p>< QUE ESTE EN LA CAPACIDAD DE SER INSTALADO EN EL ENTORNO DE TRABAJO, EN ESTE CASO EN LA PLANTA DE PINTURA</p>	<p>< LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS DEBE SER ACORDES A LAS FUENTES DE ENERGÍA EXISTENTES EN LA PLANTA 110-220V</p> 
ENSAMBLE	  <p>GANCHERA-BASTIDOR PERFIL-GAN</p> <p>EL ENSAMBLE DE LOS GANCHOS EN LA BARRA (GANCHERA) SE HACE POR MEDIO DE SOLDADURA</p>	<p>< QUE EL ENSAMBLE SEA FÁCIL Y SIMPLE.</p> <p>< QUE SE TENGA EL MÍNIMO DE PARTES EN EL ENSAMBLE.</p> <p>< QUE SE ENSAMBLE CON ELEMENTOS DE UNIÓN SIMILARES.</p>	<p>< EL ENSAMBLE DEBE PERMITIR EL NORMAL FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO DE PINTURA COMO LO ES LA CONDUCTIBILIDAD ELÉCTRICA O EL AISLAMIENTO DE LA MISMA EN ALGUNAS PARTES.</p>
MATERIAL	<p>EL MATERIAL USADO PARA LA ELABORACIÓN DE LAS GANCHERAS, SON VARILLAS DE ACERO</p> 	<p>< QUE EL MATERIAL PARA SUJETAR LOS PERFILES SEA RESISTENTE A ALTAS TEMPERATURAS.</p> <p>< QUE SE UTILICEN MATERIALES METÁLICOS PARA HACER CONTACTO CON LOS PERFILES</p>	<p>< EL MATERIAL DE SUJECCIÓN DE LOS PERFILES DEBE ESTAR EN LA CAPACIDAD DE AGUANTAR +-200°C</p> <p>< EL MATERIAL QUE HACE CONTACTO CON LOS PERFILES DEBE PERMITIR CONDUCTIBILIDAD ELÉCTRICA.</p>
SEGURIDAD	<p>LOS ELEMENTOS DE SEGURIDAD ACTUALES REQUERIDOS PARA LA MANIPULACIÓN DE LAS GANCHERAS Y PERFILES, ES LA UTILIZACIÓN DE GUANTES POR PARTE DE LOS OPERARIOS. POR CARENCIA MISMA DE MECANISMOS LOS OPERARIOS NO CORREN RIESGOS CON LAS GANCHERAS</p>	<p>< QUE EL SISTEMA DE ENGANCHE GARANTICE SEGURIDAD A LOS OPERARIOS.</p>	<p>< LOS MECANISMOS DEBEN ESTAR ALEJADOS Y NO GENERAR FUENTES DE PELIGRO.</p> <p>< LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS DEBEN ESTAR LO SUFICIENTEMENTE ALEJADOS.</p>

ATRIBUTOS DEL CLIENTE		CARACTERÍSTICAS DE INGENIERÍA																								
		NUMERO DE GANCHOS	EFICIENCIA DE LOS EL. DE ENGANCHE	MATERIALES METÁLICOS	ACABADO	GANCHERAS	PUNTOS SIN PINTAR	DISTANCIA ENTRE PERFILES	RESISTENCIA A LA TEMPERATURA	VIDA ÚTIL DEL SIST. DE ENGANCHE	PASOS PARA ENSAMBLE	# DE PARTES	TIEMPO DE ENSAMBLE	# DE MOTORES	CAPACIDAD POR BASTIDOR	POSICIONES DE TRABAJO	VIDA ÚTIL DEL MECANISMO	# DE PARTES EN EL MERCADO MAL	ÁREA DE TRABAJO DE LOS OPERARIOS	ÁREA DE UBICACIÓN	TAMAÑO	CONDUCTIBILIDAD ELÉCTRICA	# DE ELEMENTOS DE SUJECCIÓN	SITIOS DE AGAPRE DEL PERFIL		
		-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-
TAMAÑO	< QUE EL ÁREA DE SUJECCIÓN DE LOS PERFILES SEA MÍNIMA.	8	X	✓		✓																	✓	✓		
	< QUE EL TAMAÑO DEL SIST. DE ENGANCHE SEA OPTIMO PARA EL ÁREA DE LA PLANTA DE PINTURA.	8									✓							X	✓							
DESEMPEÑO	< QUE SE TENGA BUENA SUJECCIÓN DEL PERFIL.	9		✓	✓	X	X																	✓		
	< QUE LA DISTANCIA ENTRE PERFILES SEA MÍNIMA .	10	X																				✓	✓		
ERGONOMÍA	< QUE LA POSICIÓN Y LA ACTIVIDAD DE TRABAJO DE LOS OPERARIOS SEA LA MAS OPTIMA Y CÓMODA POSIBLE.	9													✓			✓	✓							
	< QUE EL SIST. DE ENGANCHE FACILITE SU MANIPULACIÓN Y BRINDE COMODIDAD A LOS OPERARIOS.	8													✓			✓	✓							
MANTENIMIENTO	< QUE SEA FÁCIL DE REPARAR.	8									✓	X					✓									
	< QUE SE UTILICE UN MÍNIMO DE HERRAMIENTAS EN SU MANTENIMIENTO.	8									✓	X											✓			
FACILIDADES DE MANUFACTURA	< QUE SE FABRIQUE CON PROCESOS NO TAN COMPLEJOS, LOS CUALES EXISTAN EN LA INDUSTRIA LOCAL.	10															✓									
	< QUE SE TENGAN PARTES ESTÁNDAR.	8				✓					✓												✓			
	< QUE SE EVITEN ACABADOS SUPERFICIALES.	7	X		✓	X																				

ATRIBUTOS DEL CLIENTE		CARACTERÍSTICAS DE INGENIERÍA																						
		NUMERO DE GANCHOS	EFICIENCIA DE LOS EL. DE ENGANCHE	MATERIALES METÁLICOS	ACABADO	GANCHERAS	PUNTOS SIN PINTAR	DISTANCIA ENTRE PERFILES	RESISTENCIA A LA TEMPERATURA	VIDA ÚTIL DEL SIST. DE ENGANCHE	PASOS PARA ENSAMBLE	# DE PARTES	TIEMPO DE ENSAMBLE	# DE MOTORES	CAPACIDAD POR BASTIDOR	POSICIONES DE TRABAJO	VIDA ÚTIL DEL MECANISMO	# DE PARTES EN EL MERCADO MAL	ÁREA DE TRABAJO DE LOS OPERARIOS	ÁREA DE UBICACIÓN	TAMAÑO	CONDUCTIBILIDAD ELÉCTRICA	# DE ELEMENTOS DE SUECIÓN	SITIOS DE AGAPRE DEL PERFIL
		-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-
ENTORNO	« QUE SE UTILICEN ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PARA LA MANIPULACIÓN O MANEJO DE COMPONENTES QUE PUEDAN SER PELIGROSOS.	9												X				X					X	
	« QUE SEA EL MAS OPTIMO PARA EL TRANSPORTE, MANIPULACIÓN Y ALMACENA. DE LOS PERFILES.	10									X		X					✓	✓	✓				
	« QUE SE TENGA LA VENTILACION REQUERIDA PARA UNA PLANTA DE PINTURA	9																X	✓					
UNIDADES DE MEDICIÓN		#	%	%	--	#	#	mm	°C	#C	#	#	min	#	p/c	#	mez	%	m2	m2	--	--	#	#
NUEVO SISTEMA DE ENGANCHE		0	100	90	5	0	2	20	200	25	5	10	60	3	REF	2	24	100	50	73				2
IMPORTANCIA ATRIBUIDA		2	10	9	5	4	9	9	10	8	7	8	6	6	10	9	9	10	8	10	10	10	9	10
METAS		0	100	80	0	0	0	10	200	40	5	8	40	3	REF	2	24	100	M2	M2	--	--	#	#

3.4 ETAPA 3. ANÁLISIS FUNCIONAL

El análisis funcional del sistema de enraque se realizó de una forma deductiva, es decir, se partió de analizar lo general para llegar finalmente a lo particular. Basados en el método de diseño anteriormente descrito y en el propuesto por Nigel Cross, se comenzó por la determinación de los flujos que circularán por el sistema (de entrada, de salida y principal), además de la función principal y el método o sistema de retroalimentación. Todo esto representado en la caja negra. A continuación se presentan los flujos que circulan por el sistema:

3.4.1 Caja negra

3.4.1.1 Flujos de entrada: Energía humana, perfiles.

3.4.1.2 Flujos de salida: Perfiles desplazados.





3.4.1.3 Función principal: Transportar.

3.4.1.4 Flujo principal: Perfiles.

3.4.1.5 Retroalimentación: Sistema de control humano (cerebro).

De acuerdo a lo anterior y según la representación de caja negra planteada en el libro Métodos y Diseño de Nigel Cross, se presenta la caja negra del sistema (**Ver figura 17**). Para esto se determinaron las convenciones que regirán la representación del sistema a través de su estructura funcional:

- **Flujos**

	ENERGIA
	MATERIA
	SEÑAL (INFORMACION)
	LIMITE

- **Abreviaturas**

E. H.: Energía Humana.

E. M.: Energía Mecánica.

E.E.: Energía Eléctrica.

P.F.: Perfiles.

P.F.D.: Perfiles desplazados.

E.L.: Elementos de sujeción



Figura 17. Caja negra del sistema de enraque

3.4.2 Estructura Funcional

Para el desarrollo de este punto se analizó a profundidad el sistema (producto) por medio de la determinación de las secuencias y/o procesos. Esto a través del árbol de funciones, donde se determinaron las funciones secundarias y los enlaces que hacen posible el desempeño de cada subsistema.

El árbol funcional permite clarificar (aún más) a lo que se desea llegar y condicionar en mayor medida las posibles soluciones que realmente cumplen con el objetivo general y específicos del proyecto.

El árbol de funciones que representa el sistema se presenta a continuación **(Ver figura 18)** .

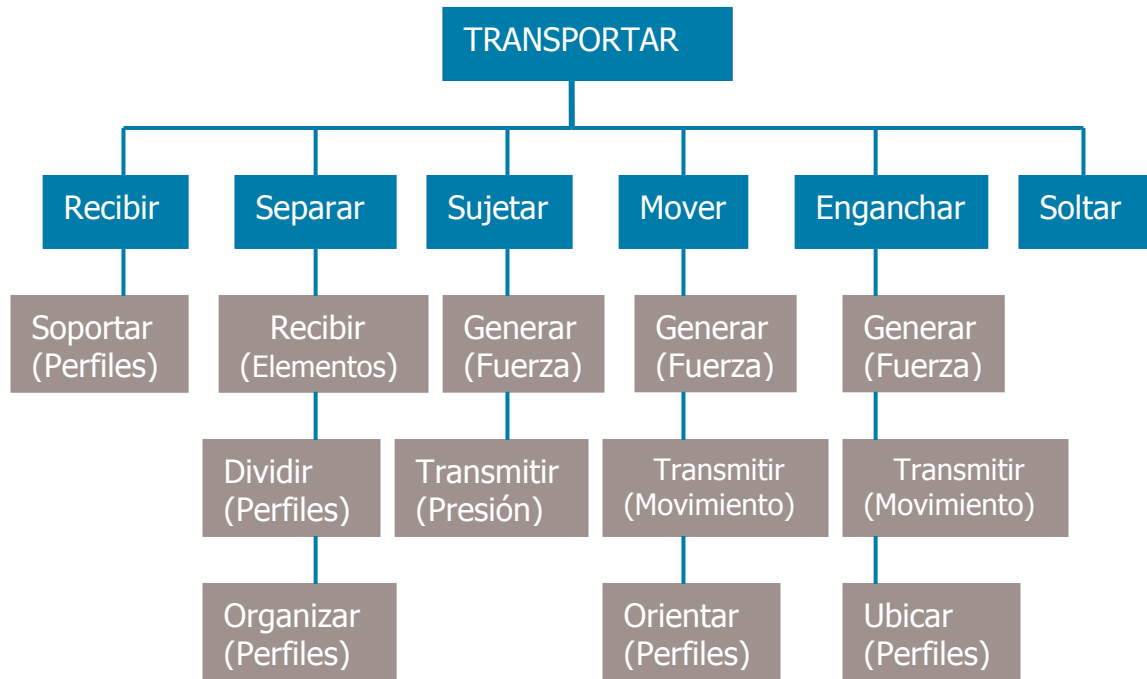


Figura 18. Árbol de funciones sistema de enraque

La estructura funcional permite ver al sistema como un todo ordenado, donde se visualiza cómo interactúan materia, energía, señal y cómo debe existir un elemento que soporte los diferentes portadores físicos que realizan las subfunciones. La estructura funcional que representa al sistema de enraque se presenta a continuación:

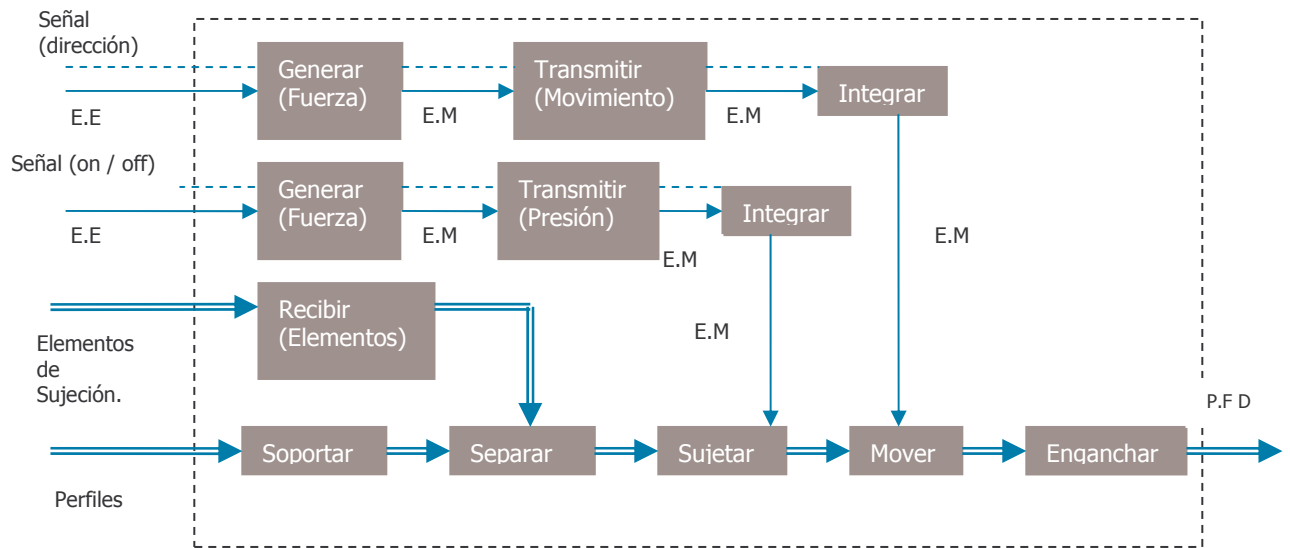


Figura19. Estructura funcional

3.5 ETAPA 4. GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS

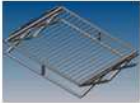




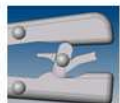






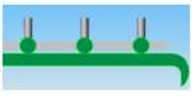
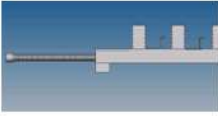


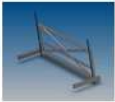
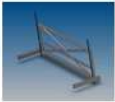











3.5.1 Matriz morfológica

La etapa de generación de alternativas, representa la determinación de los “CÓMO”, es decir, los diferentes portadores físicos que permiten el cumplimiento de las funciones definidas en el análisis funcional. En esta etapa se pretendió generar una gama de soluciones para el producto y ampliar de esta forma la búsqueda de propuestas de diseño.

Las funciones secundarias incluidas en el diagrama morfológico provienen de la estructura funcional que representa el sistema de enraque. Para éste se buscaron posibles portadores, teniendo en cuenta que se trata de un producto que no existe y que lo más importante es el cumplimiento de las funciones de sujeción y transporte así como de las especificaciones de diseño planteadas en el documento PDS (Product Design Specifications. Anexo 2).

Para iniciar el proceso, se definió una tabla con las diferentes alternativas (portadores físicos) que representa la caja morfológica para el sistema (**Ver tabla 6**).

Tabla 6. Caja morfológica

FUNCIONES SECUNDARIAS		SOLUCIONES / MEDIOS			
1	SOPORTAR	 MESA	 CANASTA	 BANCO	 CERCHA
2	SUJETAR	 PINZAS	 TRINQUETE	 SIST. PRENSA	 GANCHOS
3	GENERAR	 MANUAL	 SIST. NEUMAT.	 MOTOR ELEC.	 ACTUADOR
4	TRANSMITIR	 SIST. CELOCIA	 TORNILLO	 SIST. NEUMATICO	 DIADA
5	MOVER	 GRUA	 MESA	 BRAZOS LATERA.	 MANUAL
6	GENERAR	 MOTOR ELEC.	 ACTUADOR NEUMA.	 FUERZA HUMANA	
7	TRANSMITIR	 SIST. DE POLEAS	 SIST. DE ENGRANAJE	 SIST. DE BARRAS	 MANUAL
8	ENGANCHAR	 GANCHO FIJO	 GANCHO MOVIL		

3.5.2 Selección de alternativas solución

A partir de las diferentes alternativas o portadores físicos (existentes en el medio colombiano) presentados en la caja morfológica, se seleccionaron tres posibles combinaciones para el sistema. Esta selección se realizó teniendo en cuenta aspectos como los objetivos del proyecto, los requerimientos planteados en el documento PDS y la posibilidad que existía en cada una de las alternativas para la realización de un buen desempeño en el proceso de pintura electrostática. (Ver anexo 3. Alternativas de solución).

3.5.3 Alternativas de solución seleccionadas

3.5.3.1 Alternativa 1

El funcionamiento de la primera alternativa de solución es la siguiente:

Los perfiles son colocados sobre una mesa soporte en donde se organizan y se ubican según la referencia a pintar (**ver figura 20**). La finalidad de la mesa es facilitar la manipulación de los perfiles a la hora de ser sujetados, evitando la deflexión y la generación de catenarias debido a los múltiples puntos de apoyo que los perfiles tienen sobre la mesa.



Figura 20. Mesa soporte

El sistema de sujeción esta compuesto por dos marcos rectangulares abisagrados entre si, constituidos por cuatro rieles ubicados en cada una de las aristas laterales de los marcos. Sobre estos rieles son introducidos y deslizados los elementos de sujeción, separando uno por uno los perfiles a cada extremo de la misma manera. Estos son sujetados por medio de una presión ejercida por unos tornillos ubicados en uno de los extremos de los rieles y la cual es transmitida a través de todos los elementos de sujeción, deslizándose uno por uno hasta sujetar y prensar todos los perfiles ubicados entre ellos (**ver figura 21**). El movimiento de los tornillos se genera a través de pistolas neumáticas, girando los tornillos hasta que estos transmitan una presión adecuada a todos los perfiles. Las pistolas son manipuladas simultáneamente por operarios.

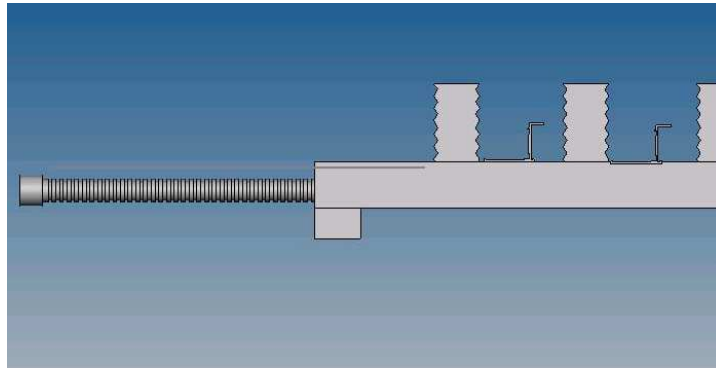


Figura 21. Sujeción de perfiles (tornillo)

El número de elementos que se introducen en los rieles es determinado por la referencia del perfil a pintar (**ver figura 22**).

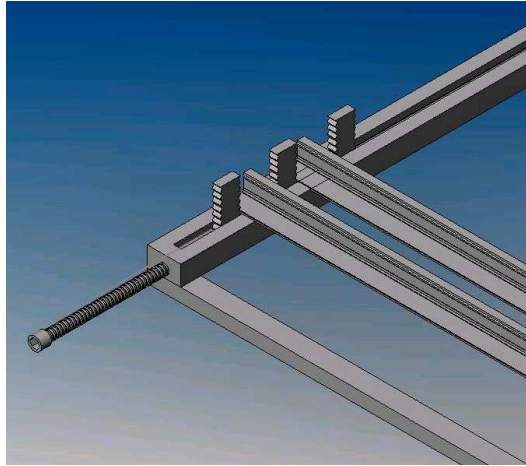


Figura 22. Elementos de sujeción.

Este sistema de sujeción se une a la mesa a través de 4 brazos transportadores ubicados a cada extremo de la mesa con el fin de mover los perfiles una vez estén todos sujetos hasta el bastidor (**ver figura 23**).

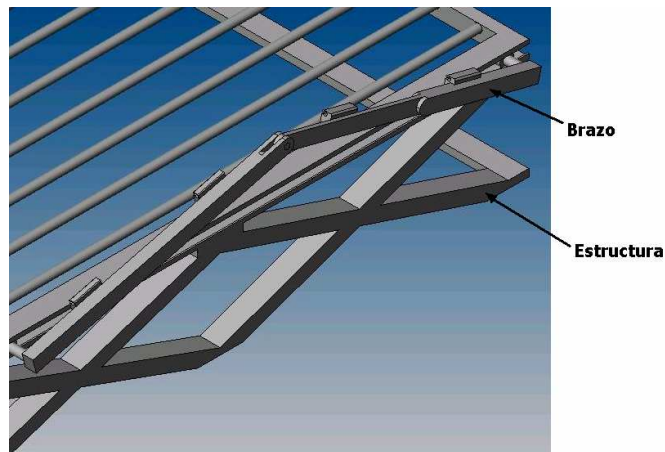


Figura 23. Brazos transportadores

Estos brazos se moverán por medio de actuadores y transmitirán el movimiento por medio de un sistema de barras y pares.

El enganche al bastidor se realizara por medio de un gancho móvil que se acciona en el instante en que los perfiles se suben al bastidor.

El funcionamiento del gancho consta en hacer girar un trinquete por medio de un movimiento vertical hasta lograr su estado de empotramiento¹, en este estado el gancho por el mismo giro realizado 45°, se encuentra ubicado por encima del bastidor, momento en el cual se prosigue a bajar el gancho y ubicarlo sobre el bastidor.

Nota: El estado inicial del gancho es el mostrado en la imagen 24, y se obtiene por un resorte ubicado entre el agujero de la base y el gancho (ausente en la imagen), el cual en el instante de liberar el trinquete de su estado de empotramiento siempre hace regresar el gancho a su estado inicial.

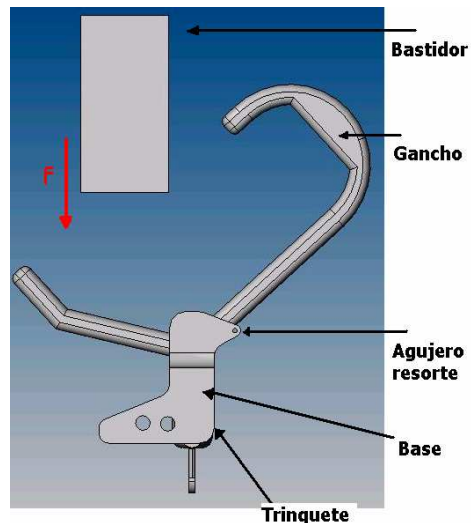


Figura 24. Gancho móvil

¹ Estado en el que se impide el movimiento.

- **Ventajas**

- El hecho de utilizar una mesa como soporte y apoyo, facilita la manipulación de los perfiles a los operarios.
- La mesa soporte, permite evitar la deflexión de los perfiles gracias a los diferentes puntos de apoyo sobre ella.
- La utilización de una mesa como soporte, permite agilizar la actividad de enraque de los perfiles.
- El sistema de sujeción permite sujetar de la misma forma todas las referencias de perfiles.
- La sujeción de los perfiles se desarrolla de forma general, agilizando en un gran porcentaje esta actividad.
- El sistema de sujeción utilizado permite el normal funcionamiento del proceso de pintura electrostática.
- El mecanismo de sujeción es sencillo y no implica grandes inversiones para su elaboración.
- La fabricación del sistema de sujeción puede ser realizada en la misma empresa.
- Utilizar pistolas neumáticas para girar los tornillos del sistema de sujeción agiliza y facilita el enraque de los perfiles.
- El transporte de los perfiles al bastidor se automatiza, evitando que los operarios realicen grandes esfuerzos.
- La actividad de los operarios se reduce solo a ubicar los perfiles sobre la mesa.
- El gancho móvil permite enganchar los perfiles sobre el bastidor con un movimiento vertical.

- **Desventajas**

- Elaborar una mesa soporte puede ser más costoso que elaborar otras alternativas.
- Después de varios ciclos de pintura, los rieles del sistema de sujeción pueden obstruirse dificultando el deslizamiento de los elementos de sujeción.
- El funcionamiento de los tornillos del sistema de sujeción puede dificultarse, por acumulación de pintura en estas áreas, ocasionando restricciones de movimientos.
- La utilización de ganchos móviles para el enganche del sistema de sujeción a los bastidores pueden generar mayores costos de elaboración.
- El mecanismo del gancho móvil puede obstruirse, al cumplimiento de varios ciclos de pintura.
- Los brazos transportadores pueden dificultar la separación del sistema de sujeción en los bastidores.

3.5.3.2 Alternativa 2

En esta alternativa los perfiles son colocados sobre una mesa móvil, que se encuentra sobre dos cerchas laterales permitiendo colocar los perfiles a una altura de trabajo adecuada para los operarios. La mesa móvil es el elemento transportador de los perfiles al bastidor en el instante posterior en que los perfiles estén sujetos (**ver figura 25**).



Figura 25. Mesa móvil

La sujeción de los perfiles se realizara por medio de trinquetes en forma de pinzas los cuales sujetaran los perfiles a cada extremo (**ver figura 26**).

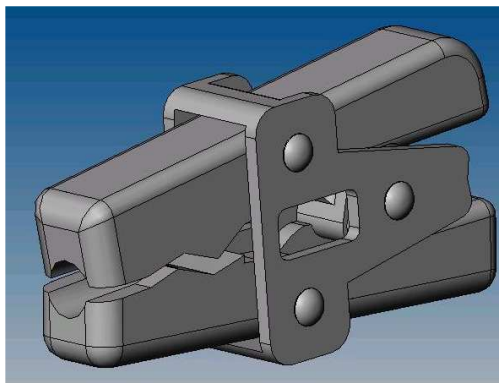


Figura 26. Pinza sujetadora

Esta abre y cierra por medio de un mecanismo trinquete el cual permite ejercer presión sobre cada perfil evitando que este se caiga. Gracias a los dientes de sujeción que permiten sujetar mas fijamente el perfil. **(Ver figuras 27 y 28)**

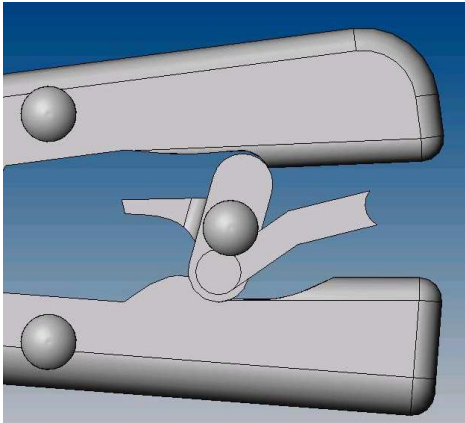


Figura 27. Mecanismo trinquete

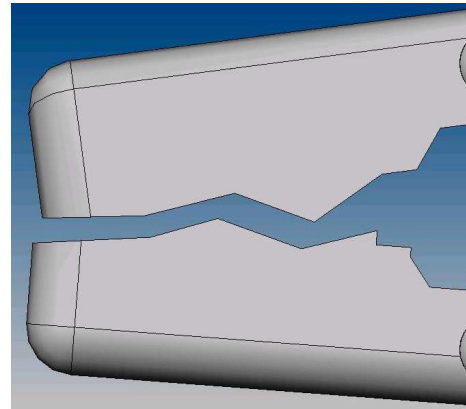


Figura 28. Dientes de sujeción

El trinquete se compone de una pieza elíptica que se desliza sobre la superficie de la parte inferior y superior de la pinza, por medio de una palanca ubicada en un extremo de la elipse **(ver figura 29)**. Este movimiento lineal de la palanca generado por un actuador, se convierte en un movimiento angular de la elipse lo cual genera que se cierre y se abra la pinza. La finalidad del trinquete es generar presión sobre el perfil en el momento de girar y llegar a su estado de empotramiento. Estado del cual se libera al ejercer fuerza sobre el otro extremo de la elipse.

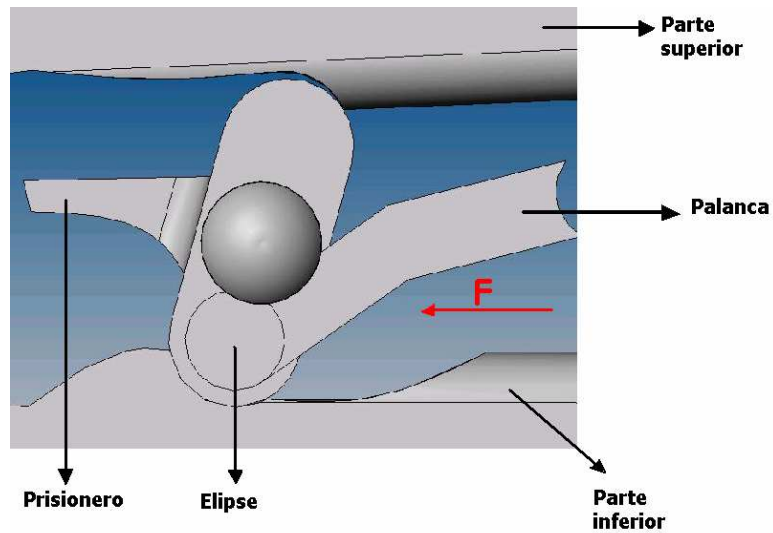


Figura 29. Trinquete empotrado

El número de pinzas depende de la referencia del perfil que se va a pintar. Estas se ubican sobre una barra dentada de la cual se aprisionan en el momento en el cual el trinquete se acciona, por medio de un prisionero que se ubica en medio de los dientes de la barra. **(Ver Figura 30)**

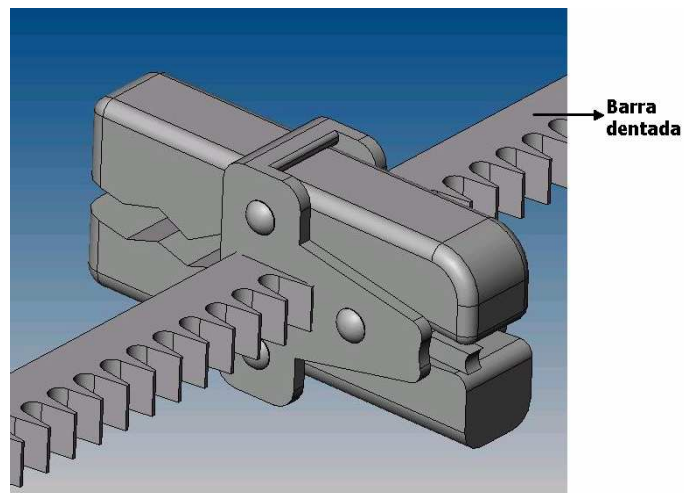


Figura 30. Ubicación de las pinzas

Las barras dentadas se conectaran entre si por medio de una barra superior fija y una barra inferior movable con el fin de permitir la entrada de las pinzas. Una vez todos los perfiles se encuentren sujetos se transportaran al bastidor a través de la mesa móvil de la siguiente forma:

Se giran los perfiles 90° hasta quedar todos verticalmente (**ver figura 31**). Este movimiento será generado por un motor eléctrico y transmitido a la mesa por medio de un sistema de engranaje.

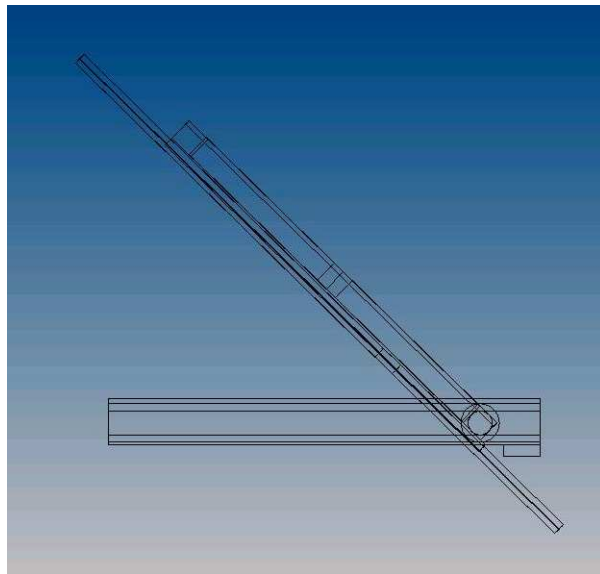


Figura 31. Rotación de la mesa

Después de estar de forma vertical el siguiente paso es ubicar los perfiles bajo el bastidor al cual se va enganchar, esto por medio de un movimiento horizontal y vertical de la mesa, permitiendo mover todo los perfiles bajo el bastidor y subirlos para su enganche (**ver figura 32**).

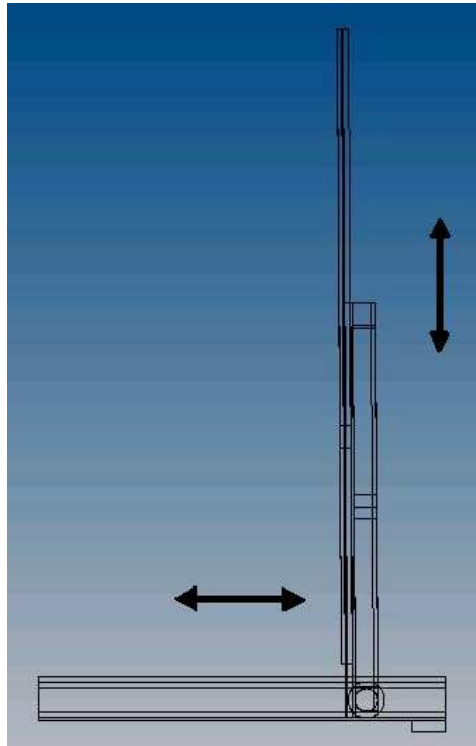


Figura 32. Movimiento horizontal y vertical de la mesa

El enganche al bastidor se hará por medio de dos ganchos fijos ubicados en la barra superior del marco de sujeción (**figura 33**).

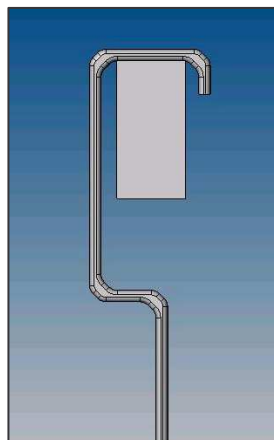


Figura 33. Gancho fijo

- **Ventajas**

- La mesa facilita a los operarios la colocación de las pinzas a los perfiles.
- El apoyar los perfiles sobre la mesa evita la deflexión de los mismos a la hora de manipularlos.
- El sistema de sujeción permite utilizar solo el número de pinzas requeridas para la sujeción de los perfiles a pintar. El número de pinzas depende de la referencia del perfil.
- El sistema de sujeción permite sujetar el mayor número de perfiles por cada ciclo.
- El trinquete utilizado como mecanismo de las pinzas es simple y fácil de elaborar.
- Esta alternativa de sistema de enraque ocupa menor área que las otras alternativas propuestas.
- Utilizar ganchos fijos para la sujeción en los bastidores reduce costos en el desarrollo del proyecto.
- Parte del sistema de sujeción puede ser fabricado en los talleres de manufactura de la empresa Emma y CIA S.A.
- Las partes que componen el sistema de sujeción son económicas, por lo que su reemplazo no generan grandes inversiones.
- El sistema de sujeción utilizado permite el normal funcionamiento del proceso de pintura electrostática.

- **Desventajas**

- El sistema de enganche no permite sujetar todas las referencias de perfiles.
- El desarrollo de este sistema de enganche implica mayor inversión que las otras a alternativas.
- Se pueden generar bloqueos en el funcionamiento del sistema de sujeción al transcurso de varios ciclos de pintura.
- La utilización de servomotores para la generación de movimiento puede ser más costoso que la utilización de otros mecanismos.
- La utilización de un gancho fijo para la sujeción de los perfiles al bastidor, dificulta su enganche debido a que la distancia entre bastidores es pequeña y no permite su ubicación con un solo movimiento angular de la mesa. Por lo cual la mesa debe moverse tanto horizontal y verticalmente para ubicar los perfiles sobre el bastidor.
- Después de varios ciclos de pintura las barras dentadas pueden generar una capa de pintura que cada vez impide más el deslizamiento de las pinzas.
- Hacer girar los perfiles conjuntamente con la mesa, implica un esfuerzo mayor del servomotor debido al peso generado por estos elementos.

3.5.3.3 Alternativa 3.

Los perfiles son colocados sobre un banco de apoyo, con el fin de brindar la altura adecuada para la manipulación de los perfiles. Este banco es móvil y permite desplazarse y cambiar su ubicación (**ver figura 34**).



Figura 34. Banco móvil

El sistema de sujeción por guías consta de un marco que posee en sus extremos guías o ganchos cilíndricos (machos) en los cuales se introducen los perfiles (hembras), que previamente son perforados en sus extremos para su sujeción (**ver figura 35**). La perforación de los perfiles debe hacerse en un proceso anterior al de enraque en donde se les realiza un agujero a cada extremo en una de sus caras geométricas, dependiendo del área primaria a pintar, con el fin de facilitar el proceso de pintura.

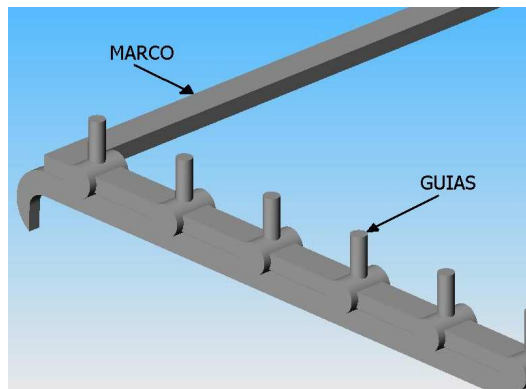


Figura 35. Guías de sujeción

Estos ganchos giran de igual manera sobre un pivote (par binario) al accionar el mecanismo celosía, de este modo permitiendo girar al mismo tiempo y de igual manera todos los ganchos (**ver figura 36**). El objetivo de hacer girar las guías es el de aprisionar sobre la barra los perfiles que se encuentran introducidos en ellas, de este esta forma sujetándolos en sus extremos.

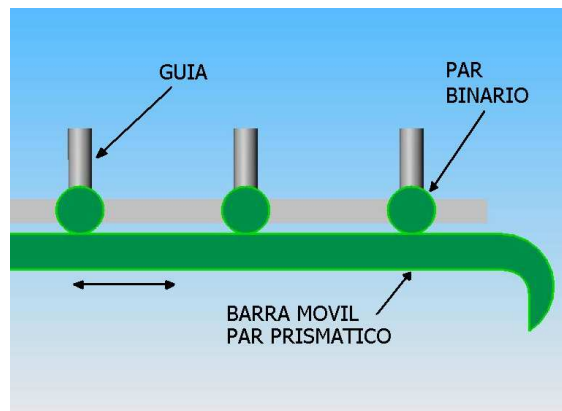


Figura 36. Mecanismo celosía

Las guías son barras binarias que se componen de dos pares binarios (dos pivotes), uno ubicado en el centro y conectado a chasis y el otro en un extremo conectado a un par prismático (barra móvil). El movimiento lineal de la barra móvil

o par prismático es generado por un actuador que impulsa la barra horizontalmente, haciendo mover las guías angularmente (**figura 37**).

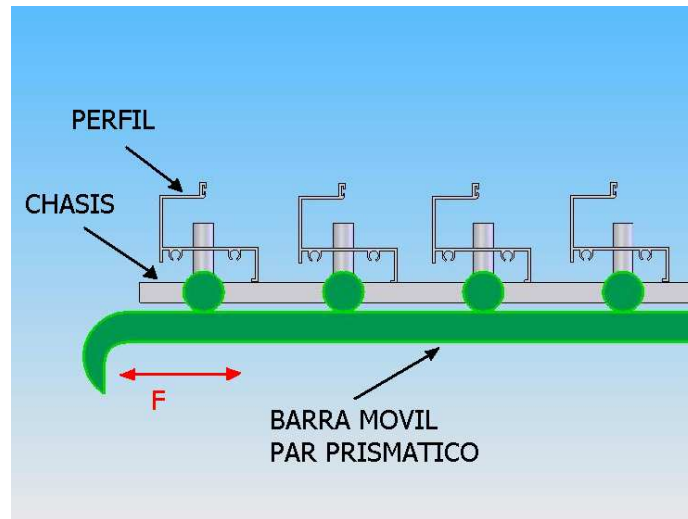


Figura 37. Ubicación de perfiles

Este sistema de sujeción se une a los bancos a través de 2 brazos transportadores ubicados a cada extremo con el fin de mover los perfiles una vez estén todos sujetos hasta el bastidor (**figura 38**).



Figura 38. Brazos transportadores

Estos brazos se moverán por medio de actuadores y transmitirán el movimiento por medio de un sistema de barras y pares.

El enganche al bastidor se realizara por medio de un gancho móvil que se acciona en el instante en que los perfiles se suben al bastidor **(ver funcionamiento en alternativa 1, página 61)**.

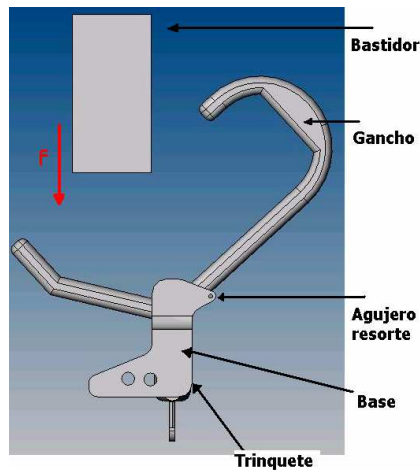


Figura 39. Gancho móvil

- **Ventajas**

- La utilización de bancos como soporte puede ser más económico que otras alternativas.
- El movimiento del banco facilita el transporte de los perfiles al bastidor.
- La forma de sujeción garantiza que los perfiles no se van a caer una vez ya se hallan montado al sistema de sujeción.
- El sistema de enganche permite sujetar de la misma forma la mayoría de referencias de perfiles.
- El mecanismo de sujeción es ágil y permite sujetar todos los perfiles en le mismo instante que se accione el sistema, por lo que se reducen tiempos de enraque y se agiliza el proceso de pintura.

- El sistema de sujeción es sencillo y puede ser fabricado con los recursos disponibles en la empresa Emma y cia.
- El gancho móvil permite enganchar los perfiles sobre el bastidor con un movimiento vertical.
- El enganche al bastidor es ágil y sencillo por lo que se optimiza al máximo los tiempos de transporte.

- **Desventajas**

- El sistema de sujeción es bueno y ágil pero implica el desarrollo de un preproceso anterior al de enraque, en el cual se perforan los perfiles para poder ser sujetados.
- La distancia entre las guías o ganchos no es variable por consiguiente es necesario tener sistemas de sujeción con diferentes medidas según la referencia a pintar.
- El mecanismo del sistema de sujeción posee muchas partes articuladas por lo que se pueden ocasionar obstrucciones debido a la acumulación de pintura a medida que aumenten los ciclos de pintura.
- Se pueden generar errores al perforar la cara equivocada ocasionando que el perfil no quede pintado como es requerido por el cliente.
- El requerir un nuevo preproceso hace que se aumenten los costos de elaboración.

3.5.4 Evaluación de alternativas

El objetivo de la etapa consistió en determinar la alternativa solución más adecuada para la configuración del sistema de enraque. Éste fue el punto de partida para las etapas de mejora de detalles, de determinación de estrategias de construcción y de simulación del sistema definitivo.

3.5.4.1 Análisis de costos

El análisis de costos consistió en determinar a la fecha, el costo de los materiales necesarios para la fabricación de cada una de las alternativas y la estimación del costo de materiales y procesos de manufactura necesarios (soldadura, maquinado, entre otros). Para esto se realizaron tablas de materiales y procesos donde se describe la cantidad de material y su valor comercial (**ver anexo 4. Estimativo de costos**). En este estimativo de costos prevalecen las cotizaciones realizadas por INDUSTRIAS IMMYS LTDA que es una empresa de mantenimiento electromecánico industrial y de fabricación de partes y equipos. Immys es la empresa encargada de prestarle todos estos servicios a Emma y cia, hasta el punto de tener talleres y empleados dentro de las mismas instalaciones de Emma y cia. Por ende todas las cotizaciones referentes a fabricaciones de partes y equipos en este proyecto son realizadas por ellos. A continuación se muestra información referente a esta empresa.

INDUSTRIAS IMMYS LTDA.

Dirección Calle 45 #57-13 Medellín.

Teléfono 2317647.

Contacto Jorge Lopera.

Correo:immys@une.net.co

Tabla 7. Costo estimado para cada alternativa

Costo estimado alternativa	Costo total
Alternativa 1	5` 872.860
Alternativa 2	5` 426.805
Alternativa 3	7` 020.108

Según los resultados totales del análisis, se puede identificar que la alternativa tres representa un elevado costo de fabricación, saliéndose de uno de los principales objetivos del proyecto que consiste en fabricar un producto con tecnología Colombiana y al menor costo posible, por esto se descartó la alternativa desde esta perspectiva, sin embargo funcionalmente continuó siendo considerada.

3.5.4.2 Árbol de objetivos

Como objetivos a ponderar para la evaluación de alternativas, se tomaron los Requerimientos de Diseño planteados en la etapa 2 del análisis. Éstos hacen parte de las especificaciones descritas en el documento PDS (anexo 2) y fueron establecidos de tal forma que pueda realizarse una evaluación del rendimiento alcanzado por el diseño o alternativa. Se eligieron los objetivos más determinantes para el producto, es decir aquellos referentes a su manipulación, desempeño y producción.

A continuación se clasifican los objetivos según su categoría e importancia.

01 Sistema de enraque de perfiles que cumpla la función principal: Sujetar y transportar el máximo de perfiles posibles a un bastidor, de manera que estén listos para ser pintados electrostáticamente.

011 Buenas características de operación

0111 Que el sistema de enraque permita desarrollar con normalidad el proceso de pintura electrostática.

0112 Que se deje un área mínima sin pintar en los perfiles.

01121 Que se puedan sujetar de la misma forma casi todos los perfiles.

0113 Que los tiempos de enraque y de transporte sean los más óptimos.

012 Alta seguridad

0121 Que los mecanismos de la mesa no representen peligro para el operario.

01211 Que el operario cuente con una buena visibilidad al manipular los perfiles.

0122 Que el transporte de los perfiles al bastidor sea bastante seguro.

01221 Que la estructura o chasis sea eficiente y brinde estabilidad al sistema.

013 Posibilidad de fabricación y adquisición de componentes en Colombia

0131 Que sus partes y componentes sean de manufactura factible en Colombia o asequibles mediante proveedores colombianos.

01311 Que posea componentes y partes estandarizadas que permitan un fácil reemplazo de los mismos.

014 Diseño de producto simple

0141 Que el tamaño sea el mas optimo posible.

0142 Que el peso del sistema de sujeción sea el menor posible.

01421 Que los materiales sean lo más livianos posible.

01421 Que el número de componentes y partes sea el menor posible.

015 Costo asequible

0151 Que la empresa Emma y cia este dispuesta a pagar el precio establecido para el desarrollo del sistema.

De acuerdo a los objetivos seleccionados y su peso ponderado, se definió el árbol de objetivos **(ver figura 40)**.

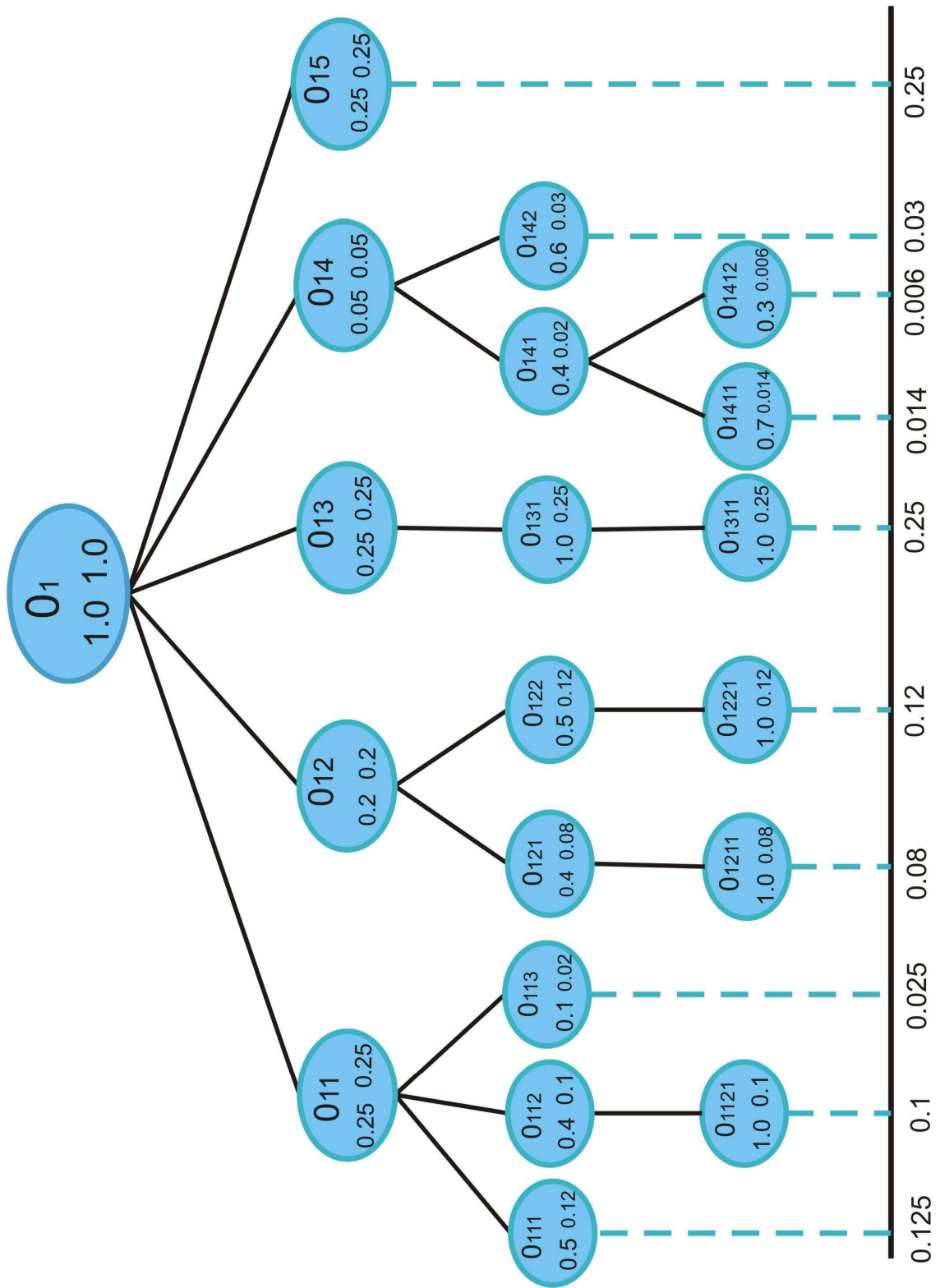


Figura 40. Árbol de objetivos

3.5.4.3 Criterios de evaluación

Algunos de los parámetros elegidos no podían ser medidos en forma sencilla y cuantificable. Por tal razón se les asignaron calificaciones de utilidad estimada, en una escala de tres puntos que representa los siguientes niveles de rendimiento, siendo 1 la peor y 3 la mejor:

1. POR DEBAJO DEL PROMEDIO
2. PROMEDIO
3. POR ENCIMA DEL PROMEDIO

- **Parámetros técnicos**

A cada objetivo le fueron asignados tres posibles parámetros con su respectiva calificación de acuerdo a las alternativas y los parámetros de diseño planteados.¹

Tabla 8. Clarificación de objetivos según las alternativas de solución

OBJETIVO	CAL	ALTERNATIVAS
Que el sistema de enraque permita desarrollar con normalidad el proceso de pintura electrostática	1	90% de efectividad.
	2	Entre 100 y 90% de efectividad.
	3	100% de efectividad.
Que se deje un área mínima Sin pintar en los perfiles.	1	Superior a 50 mm a cada extremo del perfil
	2	Igual a 50mm a cada extremo del perfil
	3	Menor a 50mm a cada extremo del perfil
Que se puedan sujetar de la misma forma casi todos los perfiles.	1	Sujetar menos de 80 referencias diferentes
	2	Sujetar entre 80 a 100 referencias diferentes.
	3	Sujetar más de 100 referencias diferentes.

¹ CROSS, Nigel. Métodos de diseño, estrategias para el diseño de productos. México D.F.: Limusa Wiley;1995.

OBJETIVO	CAL	ALTERNATIVAS
Que los tiempos de enraque y de transporte sean los más óptimos.	1	Tiempos de enraque y transporte superiores a los 15 minutos.
	2	Tiempos de enraque y transporte entre 10 a 15 minutos.
	3	Tiempos de enraque y transporte inferiores a los 10 minutos.
Que los mecanismos de la mesa no representen peligro para el operario.	1	Distancia entre operarios y mecanismos inferiores a los 50 cm.
	2	Distancia entre operarios y mecanismos entre 50 y 70 cm.
	3	Distancia entre operarios y mecanismos superiores a los 70 cm.
Que los operarios cuenten con una buena visibilidad al manipular los perfiles.	1	Altura de la mesa superior a lo 150 cm.
	2	Altura de la mesa entre los 130 y 150 cm.
	3	Altura de la mesa entre los 90 y 100 cm.
Que el transporte de los perfiles al bastidor sea bastante seguro.	1	Transporte 100% manual
	2	Transporte 50% manual
	3	Transporte automatizado
Que la estructura o chasis sea eficiente y brinde estabilidad al sistema.	1	Capacidad de soportar pesos inferiores a los 600 Kg.
	2	Capacidad de soportar pesos de hasta los 600 Kg.
	3	Capacidad de soportar pesos superiores a los 600 Kg.
Que sus partes y componentes sean de manufactura factible en Colombia o asequibles mediante proveedores Colombianos.	1	Partes y componentes con disposición en el mercado bajas.
	2	Partes y componentes con disposición en el mercado promedio.
	3	Partes y componentes con disposición en el mercado alta.
Que posea componentes y partes estandarizadas que permitan un fácil reemplazo de los mismos.	1	Proporción de partes estandarizadas bajo.
	2	Proporción de partes estandarizadas medio.
	3	Proporción de partes estandarizadas alto.
Que el tamaño sea el mas optimo posible	1	Área superior a los 11.4 m ²
	2	Área igual a los 11.4m ²
	3	Área inferior a los 11.4m ²
Que el peso del sistema de sujeción sea el menor posible	1	Peso superior a 50 Kg.
	2	Peso igual a 50 Kg.
	3	Peso inferior a 50 Kg.
Que los materiales sean lo mas liviano posible	1	Materiales con densidad superior a 7.872 g/cc ³
	2	Materiales con densidad igual a 7.872 g/cc ³
	3	Materiales con densidad inferior a 7.872 g/cc ³
Que el número de componentes y partes sea el menor posible	1	Promedio superior de 5 componentes y 10 partes * componente
	2	Promedio de 5 componentes y 10 partes * componente
	3	Promedio Inferior de 5 componentes y 10 partes * componente
Que la empresa Emma y cia. Este dispuesta a pagar el precio establecido para el desarrollo del sistema.	1	Superior a los 7 millones.
	2	Entre 6 y 7 millones.
	3	Inferior a los 6 millones.

Con la información obtenida hasta este punto se realizó una tabla resumen, en la cual se efectuaron los cálculos (de acuerdo a los pesos ponderados de cada objetivo y la calificación asignada a cada alternativa), que permitieron identificar la alternativa que hasta este punto del análisis cumplía en mayor medida con los objetivos. Para la elaboración de este resumen se tomo como modelo el diagrama de evaluación propuesto por Nigel Cross¹.

¹ Métodos de diseño, estrategias para el diseño de productos. México D.F.: Limusa Wiley;1995

Tabla 9. Resumen de evaluación de alternativas

CRITERIO DE EVALUACION	PARAMETROS			ALTERNATIVA 1			ALTERNATIVA 2			ALTERNATIVA 3		
	Peso	Unid.	Mag.	Cal.	Valor pond.	Mag.	Cal.	Valor pond.	Mag.	Cal.	Valor pond.	
Que el sistema de sujeción permita desarrollar con normalidad el proceso de pintura electrostática	0.125	%	100	3	0.375	>90	2	0.25	100	3	0.375	
Que se deje un área mínima sin pintar en cada perfil.	0.100	mm	50	2	0.2	50	2	0.2	50	2	0.2	
Que se puedan sujetar de la misma forma casi todos los perfiles.	0.100	#	>100	3	0.3	<100	2	0.2	<80	1	0.1	
Que los tiempos de enraque y de transporte sean los más óptimos.	0.025	min	10≤15	2	0.05	>15	1	0.025	>15	1	0.025	
Que los mecanismos de la mesa no representen peligro para el operario.	0.080	cm	50≤70	2	0.16	50≤70	2	0.16	50≤70	2	0.16	
Que los operarios cuenten con una buena visibilidad al manipular los perfiles.	0.080	cm	90≤100	2	0.16	90≤100	2	0.16	90≤100	2	0.16	
Que el transporte de los perfiles al bastidor sea bastante seguro.	0.120	%	auto	3	0.36	auto	3	0.36	auto	3	0.36	
Que la estructura o chasis sea eficiente y brinde estabilidad al sistema.	0.120	Kg	>600	3	0.36	600	2	0.24	600	2	0.24	
Que sus partes y componentes sean de manufactura factible en Colombia o asequibles mediante proveedores Colombianos.	0.025		Alta	3	0.075	Alta	3	0.075	Medio	2	0.05	
Que posea componentes y partes estandarizadas que permitan un fácil reemplazo de los mismos	0.025		Alta	3	0.075	Medio	2	0.05	Medio	2	0.05	
Que el tamaño sea el más óptimo posible	0.020	m²	11.4	2	0.04	<11.4	3	0.06	<11.4	3	0.06	
Que el peso del sistema de sujeción sea el menor posible	0.014	Kg	<50	3	0.042	>50	1	0.014	<50	3	0.042	
Que los materiales sean lo más liviano posible	0.006	g/cc³	<7.87	3	0.018	>7.87	1	0.006	<7.87	3	0.018	
Que el número de componentes y partes sea el menor posible	0.030	#	>5	1	0.03	5	2	0.06	>5	1	0.03	
Que la empresa Emma y cia este dispuesta a pagar el precio establecido para el desarrollo del sistema.	0.250	\$	5 872.860	2	0.5	5 426.804	3	0.75	7 020.108	1	0.25	
Σ=1.0				37	2.745		31	2.385		31	2.12	

De acuerdo a los resultados evidenciados en la tabla 9 (resumen de evaluación de alternativas), las alternativas uno y dos son las que presentan los mejores puntajes, siendo la número uno la que registró una mayor calificación.

Por el resultado del método de objetivos ponderados y el análisis de costos se determina que **la alternativa que cumple en mayor medida con los objetivos y requerimientos del proyecto es la alternativa uno, teniendo en cuenta que hasta este punto del análisis las consideraciones se basan principalmente en supuestos ideales.**

Con el fin de complementar el análisis hasta ahora realizado y contar con más herramientas para la toma de decisiones, se confrontaron las alternativas con el documento PDS. Esto permitió evaluar cada alternativa frente a los requerimientos que no fueron incluidos en el árbol de objetivos.

Funcionalmente la alternativa número dos parecía ser la que mejor desempeño registraría, sin embargo la número uno fue la desarrollada para evaluar su funcionamiento. **(Ver anexo 5, formato de pruebas)**

BIBLIOGRAFÍA

- CROSS, Nigel Métodos de Diseño, estrategias para el diseño de productos. México D. F.: Limusa/Wiley; 1995.
- PUGH, Stuart. Total Design. Harlow UK: Addison Wesley, 1991.
- ULRICH, Karl and EPPINGER, Steven. Product Design and Development. McGraw-Hill Inc. 1995.
- ROOZENBURG, N.F.M & EEKELS, J. Product Design: Fundamentals and Methods. Chichester UK: John Wiley & Sons. 1995.
- Hernández, María Cristina. PDS: Memorias de la materia Especificaciones para el diseño de productos: Ingeniería de Diseño de Producto – EAFIT.

CAPITULO IV

PROPUESTA DEFINITIVA

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

A partir de los conocimientos, experiencias y avances alcanzados a lo largo de la investigación se llegó al diseño del sistema definitivo, como resultado de un proceso de aprendizaje donde fue necesario evaluar diferentes sistemas, procesos, materiales, entre otros, para llegar a la aplicación de la investigación objetivo de este proyecto, sin embargo el aprendizaje aún continúa.

El sistema de enraque es un preproceso complementario al sistema de pintura electrostática, en este caso el sistema es creado para los requerimientos y necesidades de la empresa Emma y CIA. S.A. la cual se dedica a la producción de perfilería de aluminio con unas ciertas especificaciones de las cuales se determina las características y condiciones que deben cumplirse para el desarrollo del sistema de enraque. Con este sistema de enraque propuesto, se resuelven los deseos y necesidades por parte de la compañía de automatizar y optimizar esta fase, permitiendo eliminar los cuellos de botella ocasionados por la deficiencia de esta fase del proceso de pintura electrostática. Sistema de enraque se define en este proyecto como una fase del proceso de pintura electrostática que se encarga de la sujeción de los perfiles y el transporte de los mismos hasta los bastidores. A partir de estas dos funciones se desarrollo el proyecto y a partir de ellas se describe el diseño final propuesto.

El sistema de enraque consta de una mesa mecánica la cual se encarga de realizar las funciones de sujeción y transporte de perfiles de aluminio. Su estructura esta hecha de una combinación de aceros 1020 y 1008 brindando una muy buena estabilidad en la realización de los procesos de sujeción y montaje. Las medidas de

la mesa son de 4 metros de ancho por 6.10 metros de longitud y con una altura de trabajo de 0.9 metros lo cual hace que la manipulación de los perfiles sea cómoda y agradable **(ver figura 41)**.

En la parte inferior de la mesa se encuentra 6 ruedas guiadas sobre unos rieles permitiendo su desplazamiento horizontal generado por medio de dos motores eléctricos DC de 6 hp cada uno.

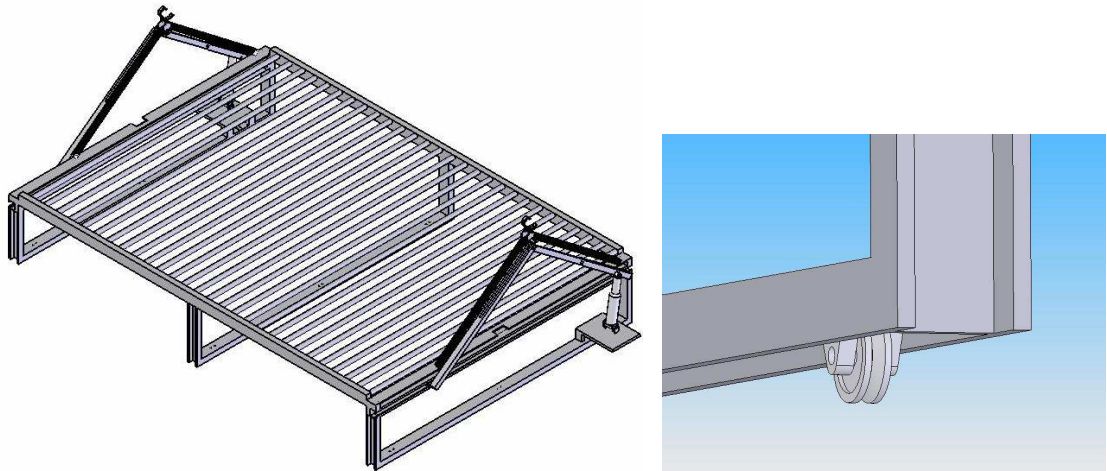


Figura 41. Mesa mecánica

En la parte superior de la mesa se encuentra a cada extremo de su longitud dos rieles en C de acero 1020 de los cuales están unidos los sistemas de sujeción y transporte a través de dos brazos mecánicos articulados **(ver figura 42)**.

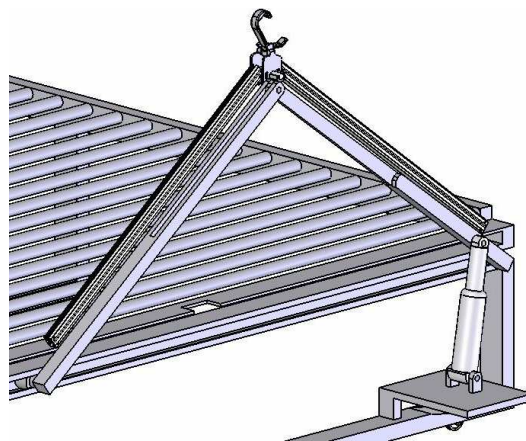


Figura 42. Brazos articulados

Estos brazos se componen cada uno de dos barras articuladas en forma de diada, una de ellas unida al extremo de la mesa por un pivote (restringiendo sus movimientos cartesianos y solo permitiendo su rotación), y el otro extremo ubicado dentro del riel permitiendo su deslizamiento. Esta forma de sujeción es definida en mecanismos como un par prismático debido a que permite el desplazamiento lineal de uno de los extremos de la barra, gracias a su forma de ensamble que en este caso es sobre un riel. Su movimiento es generado por dos actuadores neumáticos ensamblados diagonalmente sobre la barra fijada al pivote, permitiendo convertir el movimiento lineal del pistón neumático en un movimiento angular de las barras **(ver figura 43)**.

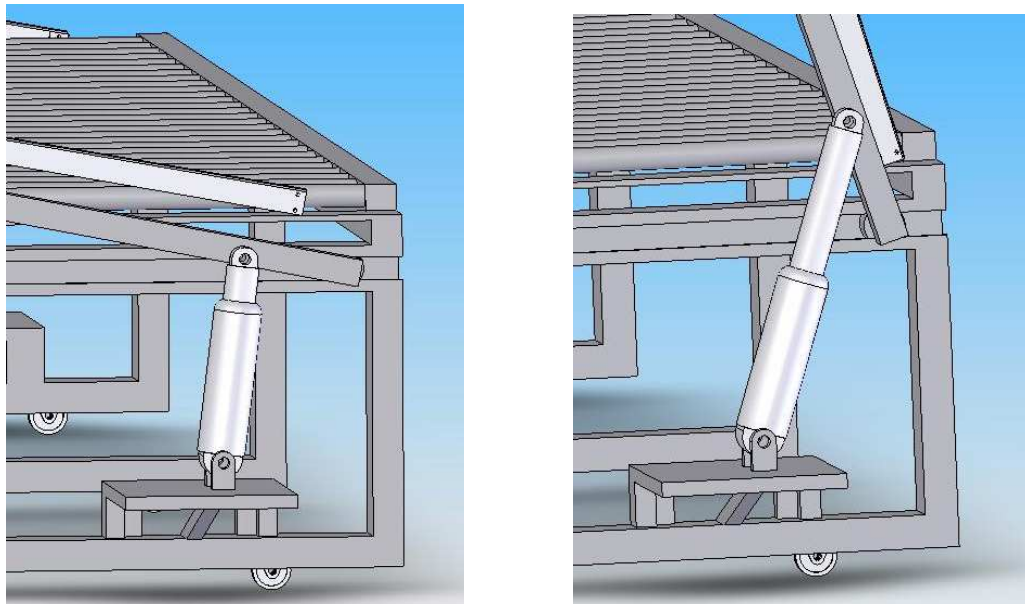


Figura 43. Movimiento actuadores

Sobre la mesa va ubicado el sistema de sujeción que se une a los brazos por medio de un apoyo central. La función de los brazos mecánicos es de transportar los perfiles hasta los bastidores una vez se encuentren sujetos. La razón por la cual se encuentra articulados es la de permitir la sujeción de perfiles a ambos

lados del bastidor con el fin de transportar el mayor número que sea posible por cada ciclo.

El sistema de sujeción se ensambla con los brazos utilizando dos soportes. Estos soportes se encuentran en cada uno de los ejes centrales de cada diada. De los cuales se soportara el sistema de sujeción y se transportara hasta los bastidores **(figura 44)**.

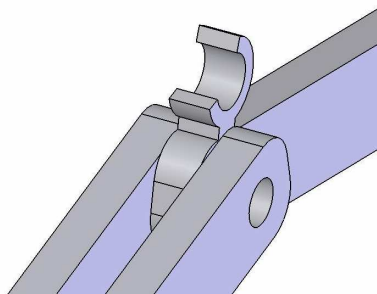


Figura 44. Soporte

El sistema de sujeción esta constituido por cuatro rieles de aluminio abisagrados de a dos por cada brazo, por lo que se mueven y se trasladan a la par del movimiento de los brazos. Cada par de rieles tiene su eje propio y su gancho para el bastidor **(ver figura 45)**. A través de estos ejes se ensamblaran los rieles a los soportes de los brazos.

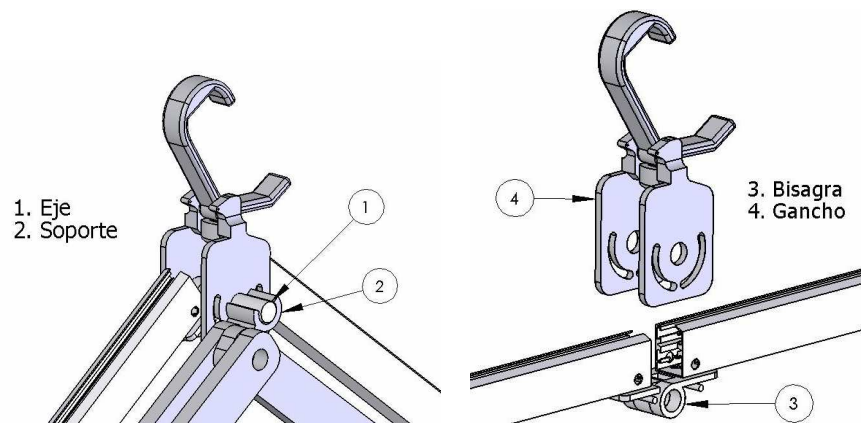


Figura 45. Ensamble sistema de sujeción

Los rieles se encuentran unidos con bisagras en uno de sus extremos, extremos en los cuales se permite el acceso de unos cuerpos o elementos de sujeción que se van deslizando sobre los rieles por medio de pequeños rodamientos que facilitan su desplazamiento **(Ver figura 46)**.

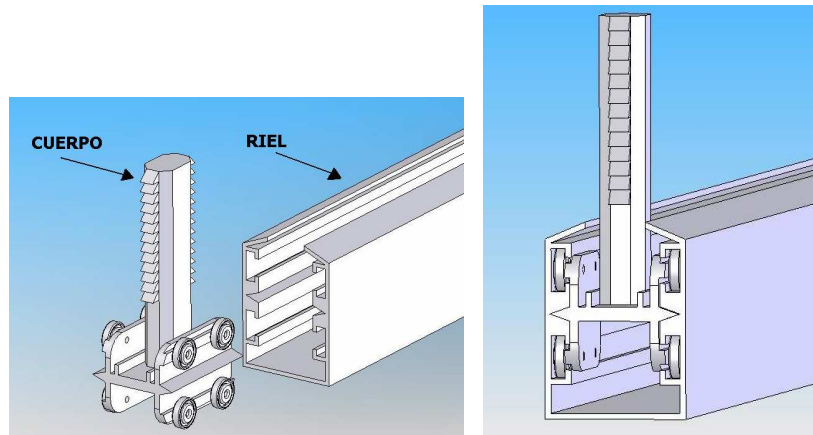


Figura 46. Ensamble cuerpo-riel

Estos cuerpos se componen de 10 piezas, 8 rodamientos (cuatro por cada lado), una base, y una barra sujetadora. La base y la barra sujetadora son perfiles de aluminio cortados en pequeñas secciones ensambladas entre si, y de los cuales se unen los rodamientos por medio de remaches **(Ver figura 47)**.

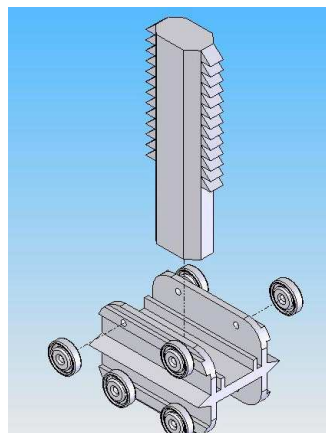


Figura 47. Ensamble cuerpos

El número de cuerpos que se deben introducir sobre los rieles depende básicamente del perfil que se vaya a sujetar (depende del tamaño del perfil). Los rieles solo admite el acceso de los cuerpos por un extremo ya que por el otro se ubica el mecanismo de prensado que permite sujetar los perfiles (**figura 48**). Una vez que se hayan introducido el número de cuerpos requeridos se coloca un tope en la cara de acceso del riel con el fin de que no se salga ningún cuerpo en el proceso de sujeción. Posteriormente se ensamblan los rieles sobre los brazos mecánicos y se prosigue a colocar los perfiles a pintar sobre la mesa, con el fin de ubicar los extremos entre cada uno de los cuerpos contenidos en los rieles.

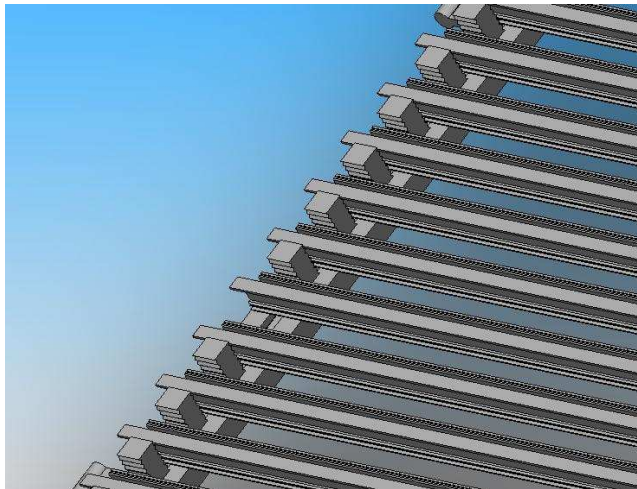


Figura 48. Ubicación de perfiles

Esta actividad es realizada en cada uno de los dos cuadrantes de la mesa generando dos hileras de perfiles. Una vez todos los perfiles se encuentren separados y unidos con los cuerpos se prosigue a sujetarlos. La sujeción de los perfiles es realizada por una presión transmitida por el giro del tornillo ubicado a cada extremo de los cuatro rieles y el cual impulsa cada cuerpo sobre los perfiles hasta quedar lo suficientemente presionados (**Ver figura 49**).

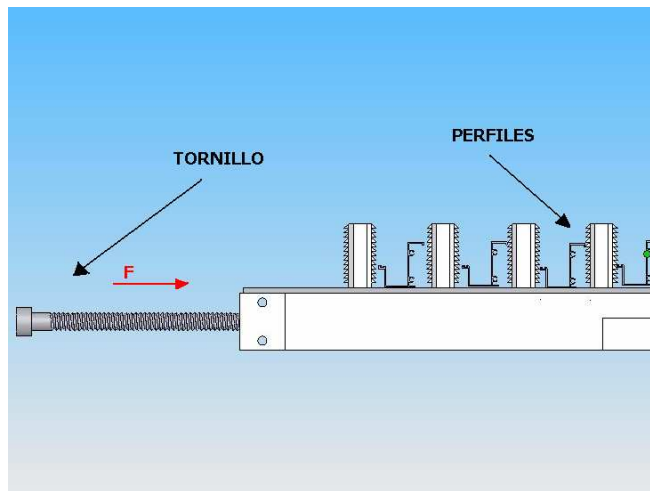


Figura 49. Mecanismo de sujeción

El movimiento del tornillo es generado por una pistola neumática manipulada por un operario que gradúa la presión necesaria para sujetar adecuadamente los perfiles a pintar y se cerciora de que todos estén bien presionados. A partir de pruebas realizadas en el sistema de enganche se han podido percibir problemas de obstrucciones y bloqueos en los elementos de sujeción y a razón de ellos se ha diseñado unos cuerpos que permiten desplazarse fácilmente sobre los rieles evitando bloqueos y obstrucciones **(Ver anexo 5 formato de pruebas)**.

Después de haber realizado el proceso de sujeción los perfiles están listos para ser transportados hasta los bastidores por medio de los brazos mecánicos. Al accionar los actuadores de los brazos los rieles empiezan a girar y a tratar de unirse hasta quedar casi unidos, en ese instante se detienen los actuadores **(Ver figura 50)**.

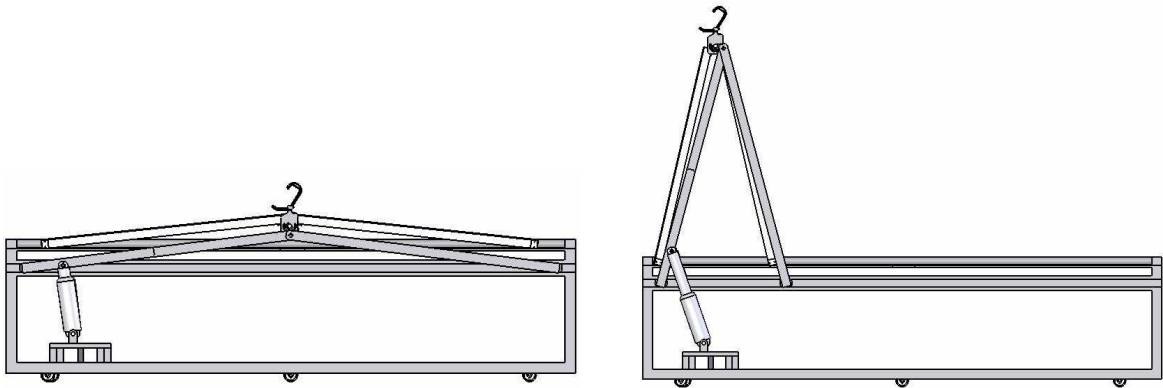


Figura 50. Transporte de perfiles

Ahora la mesa debe moverse por medio de los motores eléctricos bajo los bastidores hasta ubicarse bajo el bastidor al cual se desea enganchar los perfiles. Una vez se encuentre por debajo del bastidor deseado se accionan los actuadores y se continúa subiendo los perfiles hasta que los ganchos móviles (**figura 51**) ubicados en el sistema de enganche empiecen a accionar su sistema de trinquete.

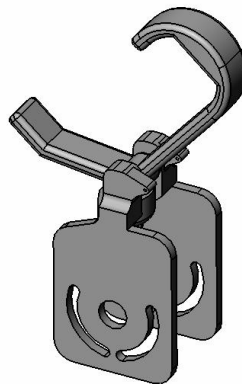


Figura 51. Gancho móvil.

El funcionamiento del gancho consta en hacer girar un trinquete por medio de un movimiento vertical hasta lograr su estado de empotramiento. En este estado de empotramiento el gancho por el mismo giro realizado 45° se encuentra ubicado

por encima del bastidor, momento en el cual se prosigue a bajar el gancho y ubicarlo sobre el bastidor.

Nota: El estado inicial del gancho es el mostrado en la imagen, y se obtiene por un resorte ubicado entre el agujero de la base y el gancho (ausente en la imagen), el cual en el instante de liberar el trinquete de su estado de empotramiento siempre hace regresar el gancho a su estado inicial (**ver figuras 52 y 53**).

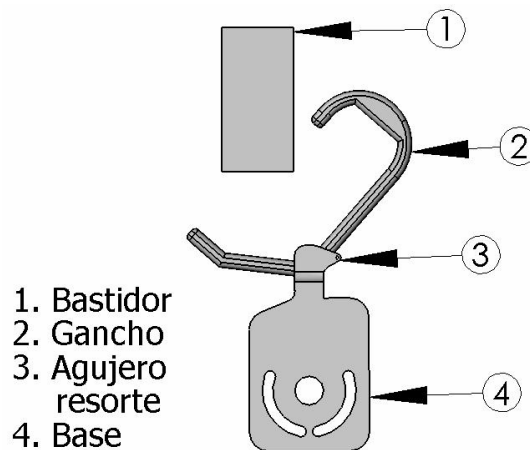


Figura 52. Componentes gancho.



Figura 53. Movimiento gancho

El ensamble con el sistema de sujeción se hace a través de un eje común entre los rieles y se estabiliza por medio de dos guías laterales unidas a dos barras ubicadas en las bisagras de los rieles.

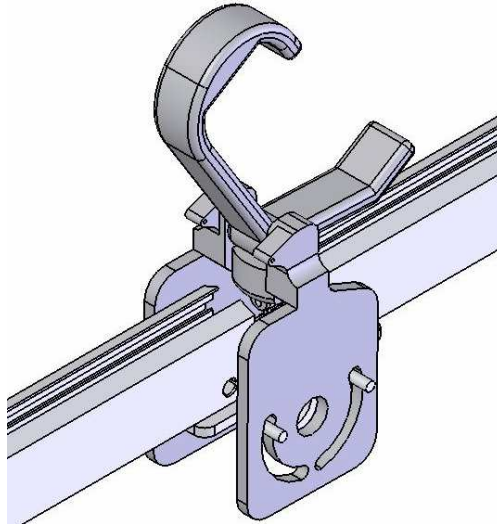


Figura 54. Barras estabilizadoras

El mecanismo consta de una pieza cilíndrica ubicada en el gancho y la cual se encuentra sobre el eje de la base. Esta pieza cilíndrica posee una muesca la cual sirve como guía para liberar un prisionero que se encuentra ejerciendo fuerza hacia el cilindro por medio de un resorte el que se libera en el instante en que la muesca se ubica bajo el prisionero (**figura 55**). En este instante el gancho obtiene su estado de empotramiento, del cual solo puede ser liberado si se aplica una fuerza contraria a la ejercida por el resorte sobre el prisionero.

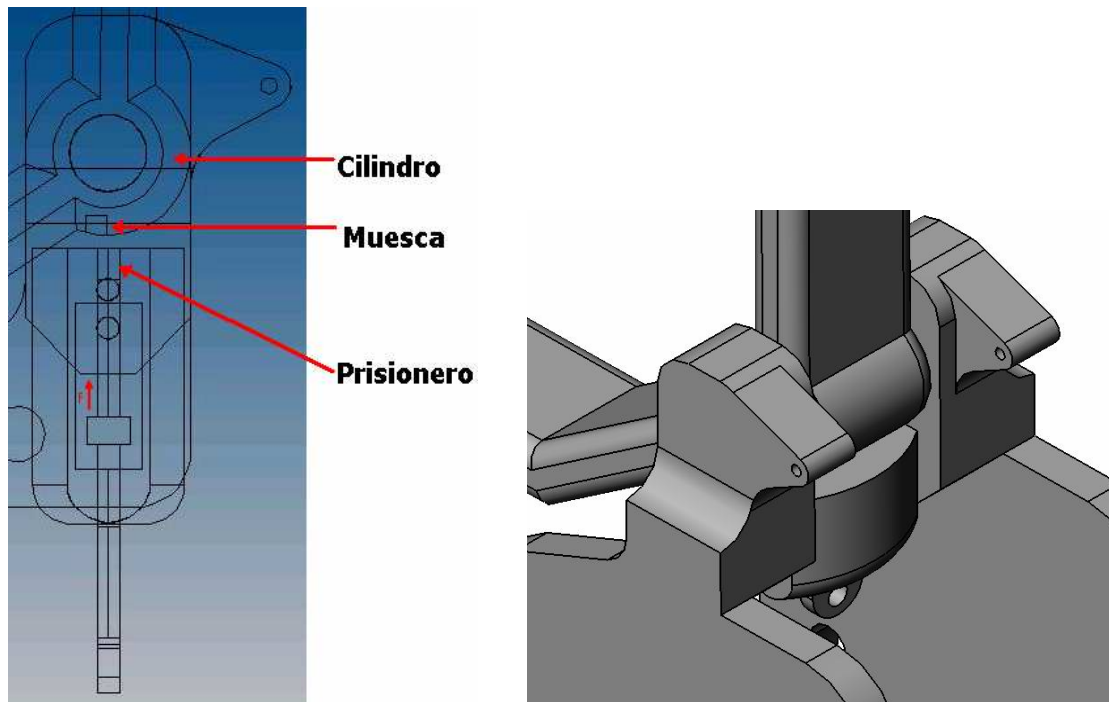


Figura 55. Trinquete gancho

Una vez el gancho se haya accionado el sistema de enganche es desensamblado y retirado de los brazos mecánicos quedando libre y listo para ser transportado por las diferentes fases del proceso de pintura electrostática.

4.2 Desarrollo del sistema

4.2.1 Diseño

La propuesta de diseño surge a partir de unos requerimientos impuestos por la empresa Emma y CIA S.A y en una gran parte los generados por el mismo proceso de pintura electrostática (ver anexo 2. PDS). Estos requerimientos se convierten en gran medida en los límites y a la vez en las metas del diseño, dando como resultado un diseño con unas características específicas. Una de sus características es su fabricación, la cual es un deseo de Emma y CIA S.A de tratar elaborar un proyecto en el cual se utilice al máximo los recursos disponible en la misma empresa, y debido a que es un empresa extrusora de aluminio e involucra una serie de procesos de manufactura, se elaboró el diseño con base en estos recursos y enfocando su construcción a los procesos disponibles en la empresa.

Por esta razón el sistema de sujeción esta diseñado en un 100% para que su fabricación sea resultados de los procesos y materiales disponibles en la empresa Emma y CIA S.A **(ver anexo 6. Cartas de procesos)**.

Requerimientos derivados del proceso de pintura electrostática determinan y afectan en un gran porcentaje el resultado del diseño como tal, el cual debe cumplir con ciertos requisitos descritos en la etapa de conceptualización. Requerimientos que determinan que el diseño debe ser eficiente y a la vez muy económico para la empresa, que facilite su fabricación y reemplazo en los instantes que sea necesario. Todos estos aspectos se reúnen y dan como resultado un diseño viable y a la vez novedoso de un sistema de sujeción de perfiles de aluminio el cual cuenta con la aprobación y aceptación de la empresa Emma y CIA S.A.

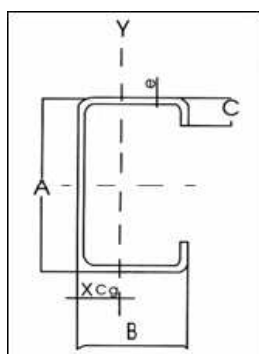
La mesa mecánica parte de la idea de diseñar un sistema de transporte de perfiles de aluminio similar al sistema de transporte existente en el área de anodizado en Emma y CIA S.A. el cual se basa de una mesa mecánica en donde se sujetan los

perfiles y posteriormente son transportados y enganchados a los bastidores, actividades semejantes que se deben de desarrollar para realizar el proceso de pintura electrostática, pero con base en otros requerimientos que modifican en un gran porcentaje el diseño existente.

4.2.2 Materiales

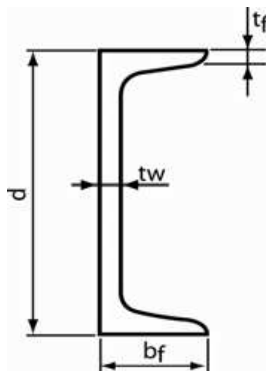
En el desarrollo de las diferentes partes del sistema de enraque se da preferencia la utilización del aluminio como material base, debido a que es el material con mayor disponibilidad en la empresa Emma y CIA S.A. Pero al desarrollo de la mesa mecánica se da preferencia a la utilización del acero como material base, debido a sus dimensiones lo cual no justifica su elaboración en aluminio por sus altos costos. Específicamente la estructura se compone de perfilería de acero 1020 en C para la elaboración de los rieles de los brazos mecánicos, y el resto de la estructura esta diseñada en perfilería de acero 1008 en U (**dimensiones pueden verse en el anexo 7. Planos de taller**). A continuación (**tabla 10 y 11**) se mostrara un esquema de los tipos de perfiles utilizados y las propiedades del material.

Tabla 10. Propiedades del acero 1020



Densidad	0.284 lb/in ³	
PROPIEDADES MECANICAS		
fuerza de tensión (ultima)	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi
Fuerza de tensión (Sy)	250 MPa	36000 psi
Modulo de elasticidad	200 GPa	29000 ksi
Poisson's Ratio	0.26	0.26

Tabla 11. Propiedades del acero 1008



Densidad	0.284 lb/in ³	
PROPIEDADES MECANICAS		
fuerza de tensión (ultima)	350 MPa	44200 psi
Fuerza de tensión (Sy)	170 MPa	24700 psi
Modulo de elasticidad	200 GPa	29000 ksi
Poisson's Ratio	0.29	0.29

Por otra parte el sistema de sujeción compone la parte del sistema de enraque que en su mayoría esta hecho en perfilería de aluminio AA6061 lo cual implica que Emma y CIA S.A. seria la misma productora de este tipo de perfiles para su propio uso. La extrusión de un tipo de perfil específico implica el diseño y fabricación de su matriz de extrusión por lo que se debe cotizar el valor de dichas matrices. Las partes del sistema de sujeción que son elaboradas con perfilería de aluminio son los rieles, la base de los cuerpos y las barras sujetadoras. A continuación se presentara los tipos de perfiles utilizados en estas partes y características como área, perímetro, precio del perfil y precio de la matriz (**ver figuras 56,57 y 58**).

- **Perfil – porta cuerpo**

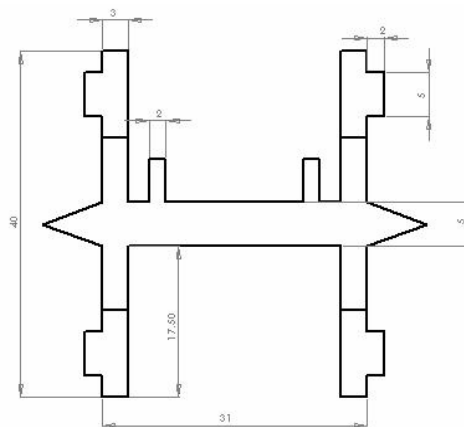


Figura 56. Perfil Porta cuerpo

Área: 460 milímetros cuadrados
 Perímetro: 267.73mm
 COSTO POR METRO: 20,135\$
 COSTO DE LA MATRIZ: 2 '017,775\$

- **Perfil riel**

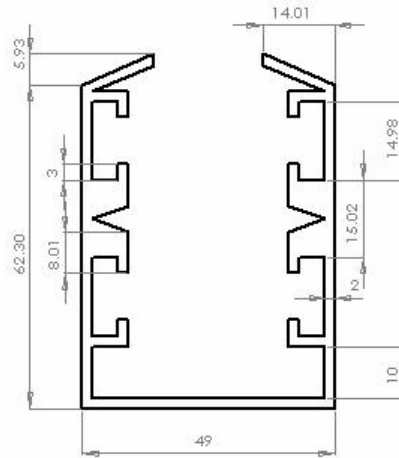


Figura 57. Perfil riel

Área: 672.37 milímetros cuadrados
 Perímetro: 549.16mm
 COSTO POR METRO: 29,418\$
 COSTO DE LA MATRIZ: 2 '017,775\$

- **Perfil elementos de sujeción**

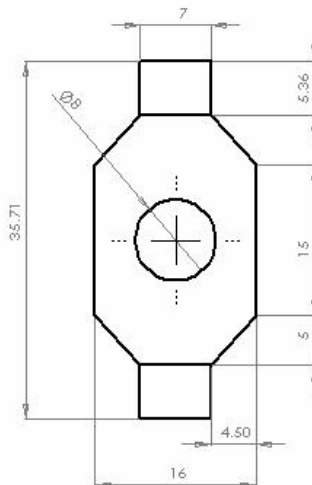


Figura 58. Perfil Elementos de sujeción

Sin el agujero (El agujero es para el tornillo)

Área: 459.92 milímetros cuadrados

Perímetro: 100.90mm

COSTO POR METRO: 20,118\$

COSTO DE LA MATRIZ: 2 '017,775\$

Las propiedades del aluminio estructural AA6061 utilizado para la fabricación de las partes son las siguientes (**ver tabla 12**).

Tabla 12. Propiedades del AA6061

Densidad	2.7 g/cc	0.0975 lb/in ³
PROPIEDADES MECANICAS		
fuerza de tensión (ultima)	124 MPa	28000 psi
Fuerza de tensión (Sy)	52.2 MPa	8000 psi
Modulo de elasticidad	68.9 GPa	10000 ksi
Poisson's Ratio	0.33	0.33

El resto de partes del sistema de sujeción como el eje de las bisagras, las bisagras, tornillos, base de los tornillos y los ganchos móviles son de acero 1008 y se ensamblan mecánicamente con las partes de aluminio.



Figura 59. Sistema de enraque completo

4.2.3 Mecanismos y Cálculos de ingeniería

4.2.3.1 Síntesis de mecanismo

- **Mesa mecánica**

Todos los mecanismos existentes parten de unas necesidades específicas que conllevan al surgimiento de diferentes alternativas de solución. Por lo que el hecho de encontrar un mecanismo apto para suplir estas necesidades solo significa haber elegido una alternativa entre un sin número de ellas. Referente al desarrollo de la mesa mecánica como tal, se han propuesto diferentes alternativas de solución para el mecanismo requerido, de las cuales se ha elegido una como propuesta definitiva para el desarrollo del proyecto. Esta elección se ha realizado después de un previo análisis del funcionamiento del mecanismo y de sus componentes.

La función principal que este mecanismo debe cumplir, es de transportar los perfiles previamente sujetos hasta los bastidores. Función que se realiza a través de un movimiento de 4 barras generado por la fuerza de dos actuadores. A continuación se desarrollará una síntesis del mecanismo utilizado.

Esta síntesis consta de una representación del mecanismo a través de barras y pares, de la cual se realiza un análisis abstracto de su funcionamiento. Esta representación de barras y pares se define como cadena cinemática¹ (**ver figura 59**).

○ Par

⊙ Chasis

¹ Representación de un mecanismo a través de barras y pares.

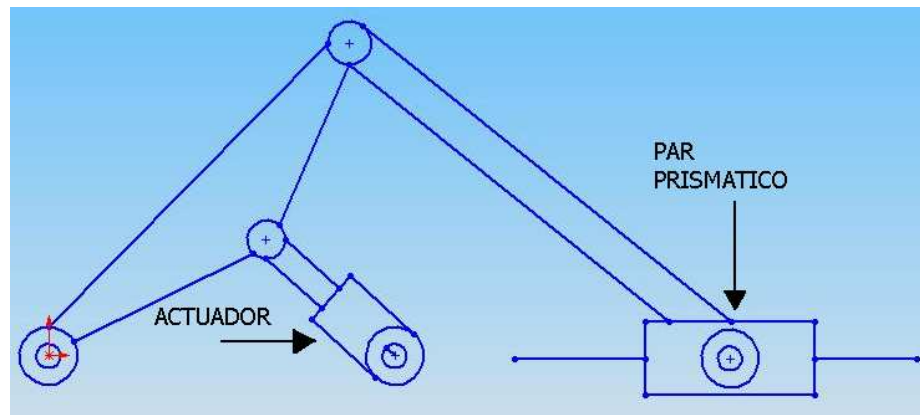


Figura 59. Representación parcial del mecanismo en barras y pares

En la figura 59 se alcanzan a visualizar diferentes elementos del mecanismo representados por símbolos, como lo son el par prismático (elemento de unión que permite movimientos lineales verticales u horizontales) y el actuador. Estos elementos también pueden ser representados por medio de barras y pares de la siguiente forma (**ver figura 60**):

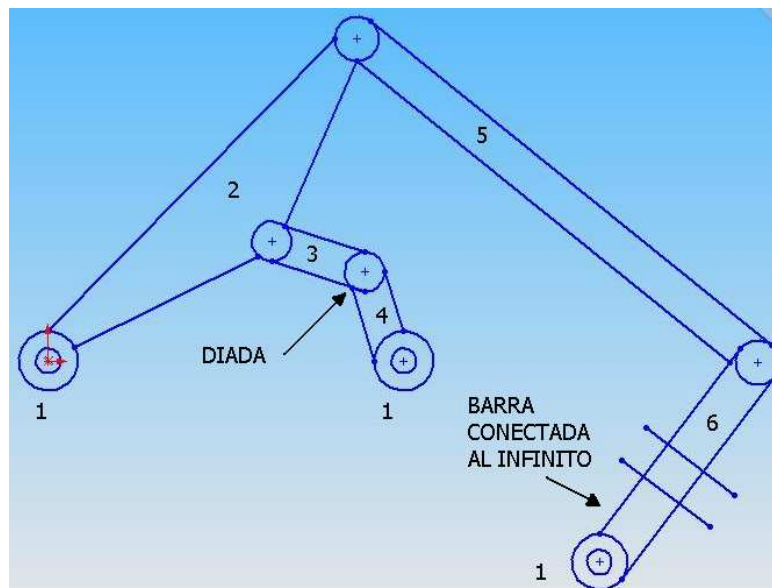


Figura 60. Representación del mecanismo en barras y pares

En la síntesis de mecanismos los actuadores o gatos hidráulicos son considerados como diadas y los pares prismáticos se representan como una barra conectada al infinito semejando un movimiento casi lineal.

La configuración cinemática de un mecanismo se hace por medio de un arreglo vectorial que ordena en forma ascendente los pares y barras de este modo:

(Barras binarias, pares binarios, barras ternarias, pares ternarios.....)

Por consiguiente la cadena cinemática del mecanismo en base a la imagen es (4, 7, 3), 4 barras binarias, 7 pares binarios y 3 barras ternarias.

A partir de esta síntesis también se pueden hallar los grados de libertad del mecanismo, los cuales se definen como el número mínimo de actuadores y motores que determinan cuantas partes de la cadena cinemática tienen movimientos¹. Teóricamente estos grados de libertad se determinan con la formula de GRUEBLER:

$$G = 3 (m-1) - 2p$$

Siendo:

G = grados de libertad.

M = Número de barras.

P = Número de pares.

Por lo que teóricamente los grados de libertad para este mecanismo es igual a:

$$G = 3 (6 - 1) - 2(7)$$

G = 1 grado de libertad.

¹ Teoría de Gruebler

Resultado que se corrobora por medio del concepto expresado anteriormente que dice que los grados de libertad son iguales al número de actuadores y motores del mecanismo; Y en este mecanismo el número de actuadores representados es igual a 1.

4.2.3.2 Sistema neumático

El diseño propuesto para el sistema de enraque implica la utilización de una serie de mecanismos que necesitan la implementación de sistemas neumáticos o hidráulicos. Debido a que las instalaciones de Emma y CIA S.A están dotadas de una red neumática de 100 psi, los mecanismos del sistema de enraque fueron diseñados con el fin de utilizar este recurso.

- **Carga**

Previo al análisis y las especificaciones del sistema neumático se debe calcular el peso máximo al cual estará expuesto el sistema. Para ello se debe calcular la suma total de la carga y posteriormente determinar cual sistema neumático será el más óptimo. Para la búsqueda de esta carga se realizan los siguientes cálculos:

< Peso de la perfilería

Para este cálculo se busco la referencia de perfil ALC¹ pintada electrostáticamente, que tuviera el mayor peso dando como resultado la referencia ALC117 con un peso de 2.767 Kg./metro.

¹ Aluminio del caribe (cliente centro-americano de Emma y CIA. S.A)

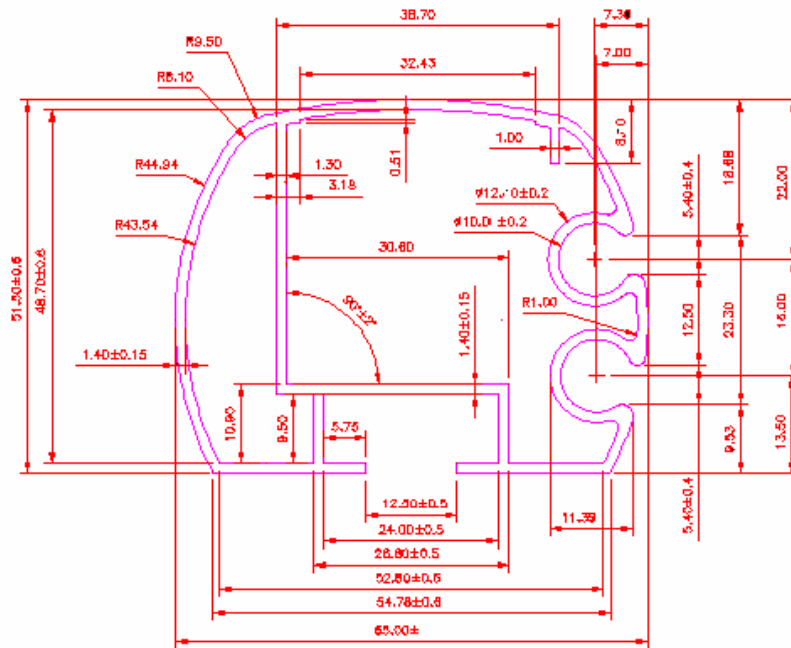


Figura 61. Perfil ALC 1170 (medidas en mm)

Peso 6 metros de perfil = $2.767 * 6 = 16.602$ Kg

Si sumamos la media del perfil con la medida del cuerpo y el resultado se lo dividimos a la longitud del riel nos dará el número máximo de perfiles por cada lado.

Entonces: $65 + 36 = 101 \wedge 1800/101 = 17.8$ divisiones

Por consiguiente el número aproximado de perfiles por cada lado es = 17 perfiles. Como son dos lados se multiplica por 2.

$17 * 2 = 34$ perfiles en total

Por consiguiente $34 \text{ perfiles} * 16.602 \text{ Kg. /perfil} = \mathbf{564.5 \text{ Kg.}}$

< **Peso de las diadas**

El peso de las diadas se halla a partir del volumen conocido en el modelo de solidWorks de cada uno de los brazos que componen las diadas.

El volumen de un brazo horquilla es:

$$V = 10060782.625 \text{ mm}^3 / \text{brazo} = 0.0100607 \text{ m}^3$$

El material utilizado es el acero 1008 con una densidad equivalente a:

$$P = 0.284 \text{ lb.} / \text{in}^3 = 7861.093 \text{ kg} / \text{m}^3$$

De la formula:

$$m = P * v$$

El peso de un brazo horquilla de acero 1008 equivale a:

$$m = 7861.093 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.0100607 \text{ m}^3 = 79.08 \text{ kg}$$

Por ser 2 brazos el peso total es $79.08 * 2 = \mathbf{158.177 \text{ kg}}$

El volumen de un brazo Actuador es:

$$V = 8154557.83 \text{ mm}^3 / \text{brazo} = 0.008154 \text{ m}^3$$

De la formula:

$$m = P * v$$

El peso de un brazo actuador de acero 1008 equivale a:

$$m = 7861.093 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.008154 \text{ m}^3 = 64.103 \text{ kg}$$

Por ser 2 brazos el peso total es $64.103 * 2 = \mathbf{128.207 \text{ kg}}$

Por consiguiente el peso total de las diadas es

$$12.8207 + 15.8177 = \mathbf{286.325 \text{ Kg}}$$

< **Peso del sistema de sujeción**

El peso del sistema de sujeción es la suma de los pesos generados por el número de cuerpos y los 4 rieles. El número de cuerpo ya fue determinado anteriormente igual que con el número de perfiles ALC 117 dando como resultado 17 perfiles, por lo que el número de cuerpos por cada riel es igual a $17 + 1 = 18$.

Son 4 rieles, entonces $18 * 4 = 72$ cuerpos en total.

El volumen de cada cuerpo ensamblado es igual a (solid Works):

$$V = 68052.7 \text{ mm}^3 = 0.00006805 \text{ m}^3$$

Los cuerpos están fabricados de aluminio por lo que su densidad es:

$$P = 0.0975 \text{ lb / in}^3 = 2698.791 \text{ kg / m}^3$$

De la formula:

$$m = P * v$$

El peso de un cuerpo equivale a:

$$m = 2698.791 \text{ kg / m}^3 * 0.00006805 \text{ m}^3 = 0.1836 \text{ kg}$$

Por ser 72 cuerpos el peso total es $0.1836 * 72 = 13.22 \text{ kg}$

El volumen de cada perfil es igual a (solid Works):

$$V = 1209058, 57 \text{ mm}^3 = 0.00121 \text{ m}^3$$

Entonces el peso de un riel de aluminio es:

$$m = 2698.791 \text{ Kg. / m}^3 * 0.00121 \text{ m}^3 = 3.263 \text{ Kg.}$$

Peso de los cuatro rieles es $3.263 * 4 = 13.05$ Kg.

El volumen del gancho y las bisagras es:

$$V = 860735.16 \text{ mm}^3 = 0.0008607 \text{ m}^3$$

De la formula:

$$m = P * v$$

El peso de las partes equivalen a:

$$m = 2698.791 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.0008607 \text{ m}^3 = 2.32 \text{ kg}$$

$$2.32 * 2 = 4.645 \text{ kg}$$

Por lo que el peso aproximado del sistema de enganche es

$$13.05 + 13.22 + 4.645 = \mathbf{30.915 \text{ Kg.}}$$

< **Peso total**

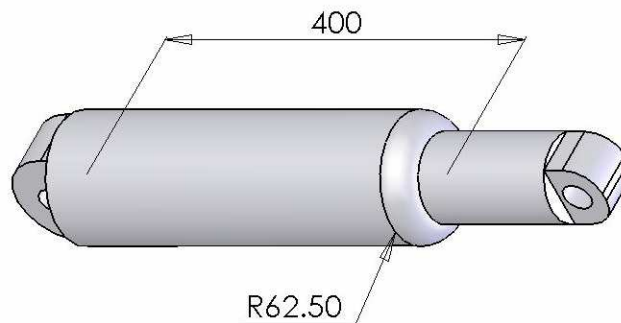
Después de obtener el peso de cada una de las partes que componen la carga que soportara los actuadores el peso máximo aproximado es de:

$$564.5 \text{ kg} + 286.325 \text{ kg} + 30.915 \text{ kg} = \mathbf{881.74 \text{ Kg.}}$$

- **Actuadores**

A partir de la carga máxima de funcionamiento que el sistema neumático debe soportar se ha desarrollado un análisis de los diferentes actuadores disponibles en el mercado, con el fin de hallar el más adecuado para generar dicha fuerza. Después de la asesoría brindada por la empresa HIDRAULICA Y NEUMATICA S.A y el previo análisis del diseño y especificaciones requeridas por el proyecto, se decide utilizar dos actuadores neumáticos con las siguientes especificaciones:

CILINDRO NEUMÁTICO, Ø125x400mm, DOBLE EFECTO CAMISA PERFILADA, NORMA ISO6431, CON PIVOTE TRASERO Y HORQUILLA. Este cilindro de diámetro 125mm con una presión de 100 psi (existente en las instalaciones en Emma y CIA S.A) produce una fuerza axial de 850 Kg.



Medidas en milímetros

Figura 62. Dimensiones actuador

Estos actuadores deben funcionar bajo unas condiciones que le permitan trabajar lo mas optimo posible. Por ejemplo su ubicación en la mesa y su rango de movimiento son indispensables a la hora de mover la carga por lo que se debe tener en cuenta algunas medidas:

- La fuerza de 850 kg. del cilindro neumático es completamente axial al eje, y debido a la posición que trabaja el cilindro en el diseño de la mesa esta fuerza se puede reducir. por lo que se recomienda que el ángulo sea mínimo de 45°.

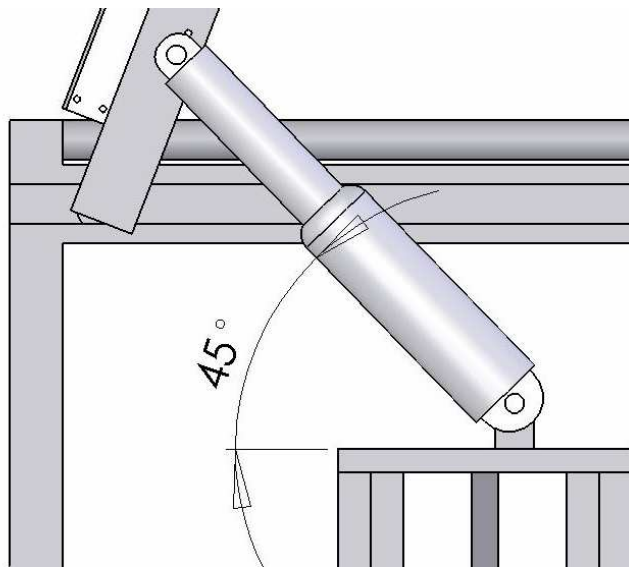


Figura 63. Angulo mínimo de acción de fuerza

Para aprovechar el máximo la fuerza axial producida por los actuadores se ubican los actuadores a un ángulo de 80° en su posición inicial Xo. Condición de la cual se parte para calcular las medidas X y Y.

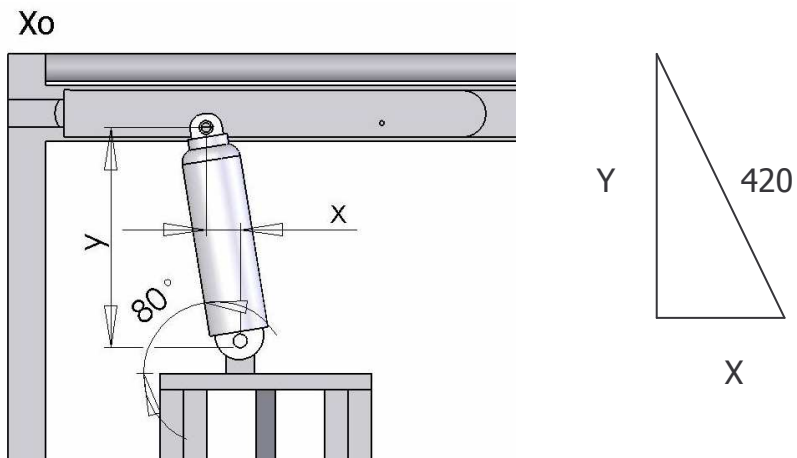


Figura 64. Angulo de acción de fuerza y medidas requeridas para el diseño

$$\text{Sen } 80^\circ = Y/420$$

$$Y = 0.9848 * 420 = 413.62 \text{ mm}$$

^

$$\cos 80^\circ = X/420$$

$$X = 420 * 0.1786 = 72.93 \text{ mm}$$

- Para optimizar al máximo el esfuerzo realizado por los actuadores neumáticos se debe generar la mayor palanca posible sobre los brazos, por lo que la distancia entre el punto de acción de la fuerza y el punto de rotación debe ser la mayor posible.

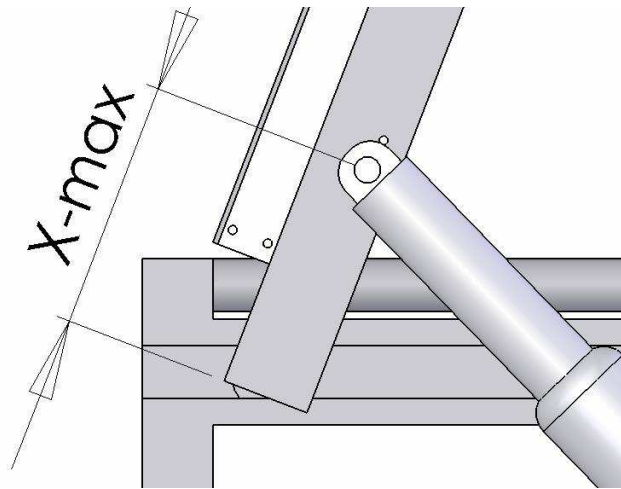


Figura 65. Palanca actuador-brazo

La medida óptima entre el actuador y el punto de giro es hallado por medio de la herramienta solidWorks¹ dando como resultado una distancia de 272.67mm. Esta medida es el resultado de varios ensayos a partir de las condiciones dadas por el diseño y las especificaciones del actuador.

¹ Programa de modelación CAD

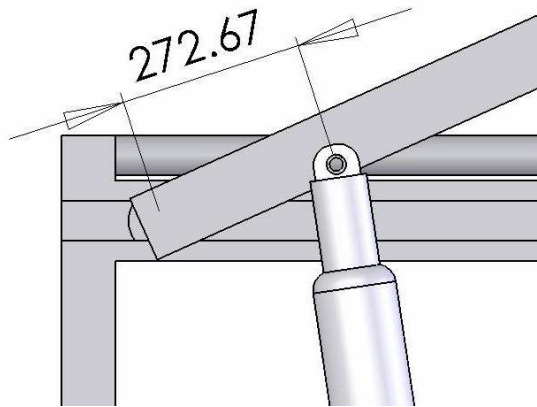


Figura 66. Palanca máxima

El ángulo final de acción de fuerza para el actuador es de 67.5° después de recorrer los 400mm y partir de una ángulo inicial de 80° .

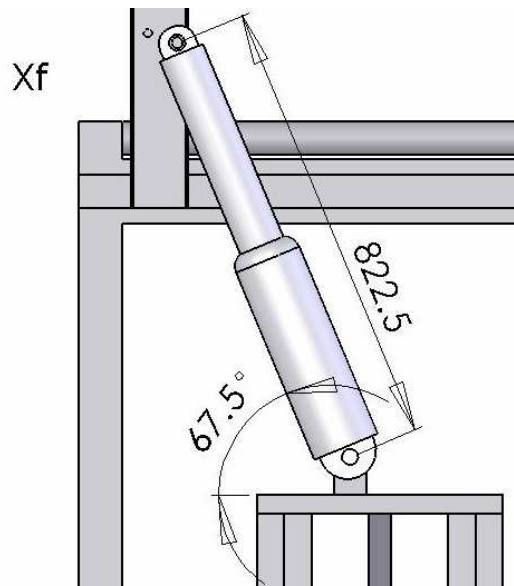


Figura 67. Estado final del actuador

4.2.3.3 Análisis de esfuerzos.

El diseño del sistema de enraque implica la utilización de ciertos materiales y formas con base en las especificaciones y requerimientos que exigen el proyecto. Complementario a estas especificaciones se deben tener en cuenta algunos criterios físicos y cálculos que cercioran que lo diseñado y lo propuesto esta desarrollado desde lo más optimo posible. Con base en este criterio se pretende desarrollar un análisis de esfuerzos en diferentes partes del sistema de enraque en donde se cree que hay altas concentraciones de fuerzas que puedan ocasionar fracturas o daños en las diferentes partes. Este análisis consta en encontrar el área mínima que la parte o pieza podrá tener para soportar el peso requerido por el sistema.

- **Diadas**

Esta parte del sistema de enraque permite trasportar los perfiles previamente sujetos desde la mesa hasta los bastidores. En esta actividad son expuestos a diferentes cargas dependiendo del tipo de perfil que se vaya a pintar. Las partes que concentran la mayor cantidad de esfuerzos son las constituidas por el par prismático y el pibote.

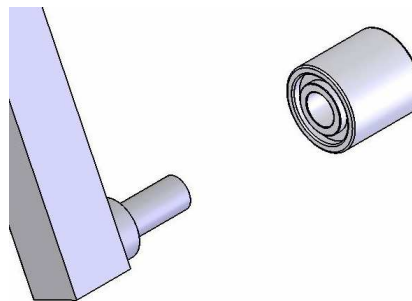


Figura 68. Par prismático

De la fórmula.

$$\sigma = F / A$$

Con: σ = Tensión mecánica.

F = Fuerza expuesta.

A = área transversal de la pieza.

σ acero A36 = 400-550 Mpa = 400 N/mm² (con esta tensión se realiza el análisis)

F = 1000 kg = 9800 N

A = πR^2 (área circular)

Reemplazando en la formula

$400 \text{ N/mm}^2 = 9800 \text{ N} / (3.14) (R)^2$

$R^2 = 9800 \text{ N} / 1256 \text{ N/mm}^2$

R = 2.8 mm

Por lo que el área mínima que esta pieza de acero A36 debe tener es de 24.61 mm².

- **Sistema de enganche**

La articulación del sistema de enganche es una de las partes que enfocan mayor concentración de esfuerzos. La pieza específica a la cual recaen estos esfuerzos es su eje, al cual se le realiza el siguiente análisis.

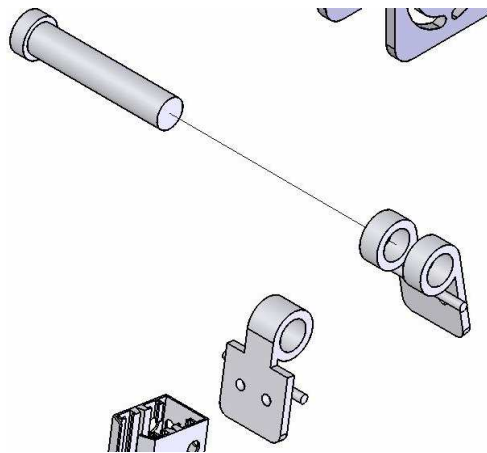


Figura 69. Eje sistema de sujeción

De la fórmula.

$$\sigma = F / A$$

Con: σ = Tensión mecánica.

F = Fuerza expuesta (sistema sujeción + carga de perfiles).

A = área transversal de la pieza.

$$\sigma \text{ acero 1008} = 350 \text{ Mpa} = 350 \text{ N/mm}^2$$

$$F = 595.415 \text{ kg} = 5835.067 \text{ N}$$

$$A = \pi R^2 \text{ (área circular)}$$

Reemplazando en la fórmula

$$350 \text{ N/mm}^2 = 5835.067 \text{ N} / (3.14) (R)^2$$

$$R^2 = 5835.067 \text{ N} / 1099 \text{ N/mm}^2$$

$$R = 2.3 \text{ mm}$$

Por lo que el área mínima que esta pieza de acero A36 debe tener es de 16.61 mm².

BIBLIOGRAFÍA

- ERDMAN, SANDOR. Diseño de Mecanismos, Análisis y Síntesis, 3a edición, 1998.
- NIETO, JUSTO. Síntesis de Mecanismos. Madrid. Editorial A.C. 1.982.
- MARK W. ZEMANSKY. Física, edición española 1972.

SITIOS WEB

- www.matweb.com [Consulta: 20 de septiembre de 2006]

5. CONCLUSIONES

- Se realiza una propuesta viable para la empresa Emma y CIA S.A de un nuevo sistema de enraque de perfiles de aluminio para la planta de pintura electrostática, cumpliendo con las expectativas y deseos expuestos para su elaboración.
- El conocimiento real del proceso de pintura electrostática, en conjunto con todas sus necesidades de operación al igual que la forma física de actividades por parte de los empleados; permite generar una propuesta de diseño viable para solucionar cualquier problema que se presente en el proceso que impida ser eficiente desde el punto de vista de producción.
- Los objetivos planteados son la referencia para estimar el desarrollo del avance y el resultado al que se logró con la culminación de este proyecto.
- Se consiguió explorar la tecnología de sistemas de sujeción de perfiles, comprender los principios mecánicos y comprobar experimentalmente los planteamientos conceptuales. El análisis realizado proporcionó herramientas suficientes para concebir y proponer una posible aplicación para la empresa Emma y cia de un nuevo sistema de enraque y por que no para la industria Colombiana dedicada a la producción de perfilería de aluminio.
- Se elabora un nuevo sistema de sujeción, con la gran ventaja de ser universal y de permitir sujetar de igual manera todas las referencias de perfiles utilizadas en el proceso de pintura electrostática.

Actividad que actualmente es realizada utilizando gancheras diferentes para cada referencia de perfil.

- A nivel de análisis se cumplió el objetivo, porque la información consignada en este trabajo de grado es un verdadero aporte al conocimiento local (este documento es un primer paso para la realización de nuevas formas de sujeción de perfiles de aluminio para el proceso de pintura electrostática).
- Al decidir realizar este proyecto, la innovación no fue una elección sino que se convirtió en una herramienta fundamental porque el tema planteado y desarrollado es nuevo en el marco de referencia local.
- Con este proyecto de grado se logra demostrar que pueden existir nuevas alternativas viables en el desarrollo de sistemas de enraque de perfiles que pueden suplir las necesidades generadas por los sistemas utilizados actualmente. Se comprobó que es posible **diseñar** un nuevo sistema de enraque de perfiles acorde con la infraestructura y recursos disponibles en la empresa Emma y CIA S.A.
- Cualquier alternativa de solución en el diseño implica investigar para adquirir nuevos conocimientos en campos alternos al centro de la propuesta inicial.
- Esta fue la tesis propuesta y aunque en los inicios del proyecto no se tuvo certeza en poder encontrar una alternativa viable por la cantidad de requerimientos que un diseño en esta área implica, el efecto del conocimiento, perseverancia, pasión y confianza que de mi parte se le dedico al desarrollo de este proyecto se logró demostrar que si es posible.