

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUBRIMIENTO
SUPERFICIAL POR POLVO CARGADO
ELECTROSTÁTICAMENTE APLICADO EN PASTILLAS
DE FRENO”**

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Rodríguez T., Lorenzo F.
Valletta F., Romano A.
Para optar al Título de
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUBRIMIENTO
SUPERFICIAL POR POLVO CARGADO
ELECTROSTÁTICAMENTE APLICADO EN PASTILLAS
DE FRENO”**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Fausto Carpentiero.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Roberto Riccelli.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Rodríguez T., Lorenzo F.
Valletta F., Romano A.
Para optar al Título de
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2009



Caracas, 15 de octubre de 2.009

ACTA

Los abajo firmantes, Miembros del Jurado Examinador designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los bachilleres:

ROMANO VALLETTA y LORENZO RODRIGUEZ

Titulado:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL POR POLVO CARGADO ELECTROSTATICAMENTE APLICADO EN PASTILLAS DE FRENO”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el Plan de Estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico.


Prof. Jorge David Cruz Moreno
Jurado




Prof. Rodolfo Berrios
Jurado


Prof. Fausto Carpentiero
Tutor

Rodríguez T., Lorenzo F. y Valletta F., Romano A.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUBRIMIENTO
SUPERFICIAL POR POLVO CARGADO
ELECTROSTÁTICAMENTE APLICADO EN PASTILLAS
DE FRENO**

Tutor Académico: Prof. Fausto Carpentiero. Tutor Industrial: Ing. Roberto Riccelli. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2009. 184 Pág.

Transporte - Malla metálica. Diseño. Pastilla – freno. Electrostática. Pintura – polvo.

Por requerimiento de la empresa Driff C.A. se realizó un estudio para el diseño de un sistema semiautomático de recubrimiento superficial por polvo cargado electrostáticamente de pintura, aplicado sobre pastillas de freno.

La metodología de diseño que se utilizó, fueron las técnicas de tormenta de ideas y matrices morfológicas. Este diseño se dividió por etapas para simplificar su estudio, cada etapa es igualmente necesaria para el correcto recubrimiento de la pieza. Se comenzó por la colocación de las pastillas de freno sobre una malla transportadora la cual introduce la pieza en la primera etapa que está dispuesta para el desengrasado y fosfatizado, eliminando impurezas y mejorando la adhesión del polvo, la siguiente etapa es un enjuagado con agua limpia para eliminar excesos de fosfato y desengrasante, el liquido de estas dos etapas es esparcido directamente sobre las piezas a altas presiones a través de aspersores, luego se secan por medio de un horno de tipo radiactivo-convectivo compuesto por lámparas infrarrojas, éstas tres etapas conforman las etapas de pretratamiento. En la cuarta etapa se realiza el recubrimiento de la pieza por medio una pistola tipo tribo que se encarga de esparcir el polvo cargado electrostáticamente sobre superficie de la pastilla, para lograr la adherencia permanente es necesario que el polvo sea fundido, ésta tarea se realiza en la quinta y última etapa, a través del uso de un horno radiactivo-convectivo igual al de la etapa de secado, quedando así la pieza terminada. Todas las etapas están colocadas sobre la banda de transporte y dispuestas horizontalmente una tras otra.

Con la implementación de este sistema se logró un aumento en la capacidad de producción de la empresa que supera las 15000 piezas diarias y una mejora sustancial en la calidad de la pieza, también se logró la eliminación de emanaciones de solventes, obteniendo así un proceso mucho menos contaminante.

Rodríguez T., Lorenzo F. y Valletta F., Romano A.

**DESIGN OF A SYSTEM OF SUPERFICIAL COVERING BY
ELECTROSTATICLY CHARGED POWDER APPLIED
ON BRAKE PADS.**

Academic tutor: Prof. Ing. Fausto Carpentiero. Industrial tutor: Ing. Roberto Riccelli. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2009. 184 Pág.

**Conveyor - belt, Design, Powder-coating, Brake - Pads,
Electrostatic.**

For requirement of the company Driff C.A. there realizes a study for the design of a semiautomatic system of superficial covering for loaded powder electrostaticly of painting applied on brake pads.

The methodology of design used they were the technologies of storm of idea and morphologic counterfoils. This design divides for stages to simplify his study, every stage is equally necessary for the correct covering of the piece. There is begun by the placement of the brake pads on a mesh transporter which introduces the piece in the first stage that is arranged for the cleaning and phosphatizing, eliminating impurities and improving the adhesion of the powder, the following stage is the rinsed one with clean water to eliminate excesses of phosphate, the liquid of these two stages is spread directly on the pieces to high pressures across water-sprinklers, then they dry off by means of an oven of radioactive-convective type composed by infrared lamps, these three stages shape the stages of pretreatment. In the fourth stage the covering of the piece realizes for way a pistol tribo type that takes charge spreading the loaded powder electrostaticly on surface of the pads, to achieve the permanent adherence is necessary that the powder is fused, this one task is realized in the fifth and last stage, across the use of a radioactive-convective oven equally to that of the stage of dried, remaining like that the finished piece. All the stages are placed on the band of transport and arranged horizontally one after other one.

With the implementation of this system an increase is achieved in the capacity of production of the company that overcomes 15000 daily pieces and a substantial improvement in the quality of the piece, also there is achieved the elimination of emanations of solvents, obtaining this way a much less pollutant process.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	
1.1 Justificación del Problema _____	3
1.2 Antecedentes _____	4
1.3 Planteamiento del Problema _____	5
1.4 Objetivo General _____	6
1.4.1 Objetivos Específicos _____	6
1.5 Alcances _____	6
CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS	
2.1 Recubrimiento en polvo _____	8
2.1.1 Polvos Termoplásticos _____	10
2.1.2 Polvos Termoestables _____	12
2.1.3 Polvos acrílicos _____	16
2.1.4 Tamaño De Partículas Del Polvo _____	17
2.1.5 Sustratos _____	20
2.1.5.1 Acero _____	22
2.1.5.2 Acero Inoxidable _____	23
2.1.5.3 Acero Galvanizado _____	24
2.1.5.4 Aluminio _____	24
2.1.6 Limpieza De La Pieza _____	26
2.1.6.1 Limpieza Por Ácidos _____	26
2.1.6.2 Fosfatado _____	28
2.1.6.2.1 Fosfato de hierro _____	28
2.1.6.2.2 El Fosfato De Cinc _____	32
2.1.7 Aplicación Del Recubrimiento _____	37
2.1.7.1 Aplicación Por Cama Líquida _____	37
2.1.7.2 Aplicación Electrostática Rociada (Spray) _____	39
2.1.8 El Sistema De Transporte Del Polvo _____	41
2.1.9 Tamiz Para el Polvo _____	45
2.1.10 Suministro De Aire Comprimido _____	46
2.1.11 Sistema De Carga _____	47
2.1.11.1 Coronas de carga _____	47

ÍNDICE GENERAL

2.1.11.2 Tribo de Carga_____	58
2.2 Reseña Sobre Pastillas De Freno_____	60
2.2.1 Las fibras_____	61
2.2.2 Las cargas minerales_____	61
2.2.3 Componentes metálicos_____	61
2.2.4 Los lubricantes o modificadores de coeficiente_____	62
2.2.5 Los materiales orgánicos_____	62
2.2.6 Los abrasivos_____	62
2.2.7 Procesos para la fabricación de la pastilla_____	62
2.2.8 Componentes Generales De Las Pastillas De Freno__	65
2.3 Sistema de Transporte_____	67
2.3.1 Correas de transporte de malla metálica_____	67
2.3.1.1 Transporte por poleas_____	68
2.3.1.2 Dispositivos de Tensión del Sistema de transporte_____	69
2.3.1.3 Soportes de banda o correa metálica_____	72
2.3.1.4 Alineación y arrastre de la banda transportadora_____	76

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Estudio previo para el diseño del Equipo de pintado de pastillas de Freno_____	80
3.2 Consideraciones para el diseño del equipo_____	82
3.3 Matriz Morfológica_____	83
3.4 Primera Etapa: fosfatizado y desengrasado_____	86
3.4.1 Estudio previo para el diseño de la Etapa fosfatizado y desengrasado_____	86
3.4.2 Consideraciones para el diseño de la etapa de_____	86
3.4.3 Diseño de la etapa de fosfatizado y desengrasado__	87
3.5 Segunda Etapa: enjuagado_____	101
3.5.1 Estudio previo para el diseño de la Etapa de enjuagado	101
3.5.2 Consideraciones para el diseño de la etapa de enjuagado_____	101
3.5.3 Diseño de la etapa de enjuagado_____	102
3.6 Tercera Etapa y Quinta Etapa: Secado y Curado_____	105
3.6.1 Estudio previo para el diseño de la Etapa de Secado y Curado_____	105

ÍNDICE GENERAL

3.6.2 Consideraciones para el diseño de la etapa de secado y curado_____	105
3.6.3 Matriz Morfológica_____	106
3.6.4 Diseño de la etapa de secado y curado _____	109
3.7 Cuarta Etapa: Pintado_____	115
3.7.1 Estudio previo para el diseño de la etapa de pintado__	115
3.7.2 Consideraciones para el diseño de la etapa de pintado	115
3.7.3 Diseño de la etapa de pintado_____	117
3.8 Sistema de Transporte_____	141
3.8.1 Estudio previo para el diseño del sistema de transporte	141
3.8.2 Consideraciones para el diseño del sistema de transporte_____	142
3.8.3 Matriz Morfológica_____	143
3.8.4. Diseño del sistema de transporte_____	146
3.9 Estructura_____	155
3.9.1 Diseño de la carcasa_____	155
3.9.2 Diseño de la estructura_____	156
3.9.2.1 Calculo de esfuerzos en las vigas_____	158
3.9.2.2 Calculo de esfuerzos en las columnas_____	162
3.9.3 Diseño de pernos_____	166
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES_____	170
BIBLIOGRAFÍA_____	174
ANEXO_____	178

LISTA DE CUADROS

TABLA	Página
1. Matriz morfológica equipo de pintado_____	84
2. Relación cobertura, ángulo, distancia. Tomado de <i>Catalogo 54 Bex</i> ® Nozzles_____	89
3. Boquillas tipo GS. Tomado de <i>Catalogo 54 Bex</i> ® Nozzles_____	91
4. Características generales de bomba PQ65 . Tomado de <i>Catalogo PQ Electrobombas de rodete periférico (aconsejadas para usos industriales)</i> , Pedrollo®_____	96
5. Matriz Morfológica del diseño del horno_____	107
6. Resumen características del panel IR. Tomado de <i>Catalogo 4765 IR panels</i> Reseach Inc._____	113
7. Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones. Tomado de <i>Diseño optimo de ciclones</i> por Carlos Alberto Echeverri Londoño, Medellín 2006_____	124
8. Características de los ciclones convencionales. Tomado de <i>Diseño optimo de ciclones</i> por Carlos Alberto Echeverri Londoño, Medellín 2006_____	125
9. Matriz morfológica diseño de sistema de transporte_____	144
10. Modelos de mallas metálicas. Tomando de <i>Flat wire belt assembly</i> , Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 2_____	147

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO	Página
1. Proceso de Manufactura del polvo _____	9
2. Constituyentes típicos de la superficie del metal_____	21
3. PH vs. Resistencia a la corrosión_____	34
4. Temperatura del fosfatado vs. Resistencia a la corrosión _____	34
5. Tiempo de baño vs. Resistencia a la corrosión_____	34
6. Recubrimiento Electrostático por cama líquida_____	38
7. Sistema típico de aplicación electrostática por spray, Tomado de <i>Powder Coater`s Manual</i> , Cap. III pág. 5, 1998_____	40
8. Corte de pastilla_____	66
9. Rango de envoltura_____	68
10. Tensor catenario_____	70
11. Tensor de ajuste manual_____	71
12. Tensor por contrapeso_____	71

ÍNDICE GENERAL

13. Tensor Mecánico _____	72
14. Soporte por rodillos. Tomado de <i>Flat wire conveyor belt</i> , Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 6 _____	73
15. Soporte de espiga. Tomado de <i>Flat wire conveyor belt</i> , Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 7 _____	74
16. Soporte longitudinal. Tomado de <i>Flat wire conveyor belt</i> , Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 6 _____	75
17. Soporte solido. Tomado de <i>Flat wire conveyor belt</i> , Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 6 _____	76
18. Alineación de rodillos. Tomado de <i>Flat wire conveyor belt</i> , Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 7 _____	78
19. Desalineación de correa. Tomado de <i>Flat wire conveyor belt</i> , Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 6 _____	79
20. Galpón B _____	81
21. Propuesta para el diseño equipo de pintado _____	85
22. Relación cobertura, ángulo, distancia. Tomado de <i>Catalogo 54 Bex</i> ® Nozzles _____	89
23. Relación cobertura, ángulo, distancia. Tomado de <i>Catalogo 54 Bex</i> ® Nozzles _____	90
24. Curva de funcionamiento de bombas PQ. Tomado de <i>Catalogo PQ Electrobombas de rodete periférico (aconsejadas para usos industriales)</i> , Pedrollo® _____	95
25. Características generales de bomba PQ65 . Tomado de <i>Catalogo PQ Electrobombas de rodete periférico (aconsejadas para usos industriales)</i> , Pedrollo® _____	96
26. Etapa de fosfatizado y desengrasado _____	100
27. Etapa de Enjuagado _____	104
28. Propuesta diseño de paneles. Tomado de <i>Catalogo 4765 IR panels</i> Reseach Inc. _____	108
29. Etapa de secado, Etapa de curado _____	114
30. Diagrama sistema tribo _____	117
31. Diagrama de pistola y soporte _____	118
32. Boquilla tipo tribo. Tomado del manual <i>Tribomatic</i> ® II <i>Extended Automatic Powder Spray Gun</i> , Nordson _____	119
33. Diagrama deposito. Tomado del <i>Manual 37-3 Tribomatic</i> ® <i>Hoppers</i> . Nordson _____	120
34. Diagrama sistema de control, vista frontal y trasera. Tomado del <i>Manual Tribomatic</i> ® II <i>Three-Gauge Control Unit</i> . Nordson _____	121
35. Bomba tipo tribomatic II. Tomado del <i>Manual Tribomatic</i> ® II <i>Three-Gauge Control Unit</i> . Nordson _____	122

ÍNDICE GENERAL

36. Diagrama de compuertas de entrada y salida, medidas en mm _____	127
37. Diagrama del ciclón. Tomado de <i>Diseño optimo de ciclones</i> por Carlos Alberto Echeverri Londoño, Medellín 2006 _____	129
38. Etapa de pintado _____	140
39. Propuesta de banda tipo malla metálica _____	145
40. Fotografía de la malla. Tomado de <i>Flat wire belt assembly</i> , Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 2 _____	145
41. Soporte longitudinal, medidas en mm, (no está representado a escala) _____	149
42. Modelo de malla metálica, disposición de ruedas dentadas, vista planta y frontal (no está representado a escala) _____	154
43. Esquema de vigas y columnas para los soportes de la primera y segunda etapa _____	157
44. Cargas distribuidas aproximadas en la viga (vista lateral) _____	158
45. Denotación de puntos en la viga (vista planta) dividida por tramos _____	158
46. Tramo AB, momentos y reacciones _____	159
47. Diagrama fuerza cortante _____	159
48. Diagrama de momento flector _____	159
49. Tramo BC, momentos y reacciones _____	160
50. Diagrama fuerza cortante _____	160
51. Diagrama de momento flector _____	160
52. Sección transversal de tubo estructural tipo ECO rectangular _____	161
53. Columna en los planos YZ y XY, Reacciones _____	162
54. Sección transversal de tubo estructural tipo ECO, cuadrada _____	163
55. Diagrama de posicionamiento de los pernos. Medidas en mm _____	166
56. Diagrama de fuerza y momento _____	166

INTRODUCCIÓN

La tendencia actual en la producción se direcciona a minimizar tiempos y costos, por ende; en el área de recubrimientos, el polvo electrostático está ganando terreno sobre las pinturas líquidas. Los avances en el estudio de esta técnica de recubrimiento superficial están dando resultados satisfactorios en cuanto a eficiencia y calidad, es por eso que se recurre a este proceso en la industria para la terminación de piezas que necesitan algún tipo de protección anticorrosiva, un buen acabado superficial o simplemente estética.

Esta técnica nace a mediados de la segunda guerra mundial en Europa, el Dr. Irwin Gemmer un ingeniero Alemán, él encontró que cuando se calentaban partes metálicas y se introducían en una nube de partículas de polvo plásticos suspendidas por un aire turbulento, las partículas se podían adherir y fundir a la pieza metálica, luego descubrió que cuando esas piezas son calentadas y enfriadas, las partículas plásticas fusionan y solidifican en una capa o película resistente y encapsulando la pieza sin dejar marcas. Este fue el nacimiento de la industria de la pintura por polvo electrostático.

La introducción de sistema de polvo en la industria se inicio a mediados de los años 60, siendo utilizados en la actualidad por la mayoría de las industrias manufactureras. Estos mismos tipos de pintura ofrecen ventajas y beneficios que hasta el momento no ha sido posible de alcanzar con sistemas convencionales de pintura en líquido.

Quizá el principal beneficio de estas pinturas en polvo sea que no se utiliza ningún tipo de solventes, la ausencia de estos elimina la consiguiente emisión de vapores y así se crea un ambiente virtualmente limpio de

INTRODUCCIÓN

contaminantes. Los factores de seguridad se mejoran al reducir considerablemente las probabilidades de incendios.

Las propiedades físicas del material en polvo, combinado con la aplicación, utilizando el principio de deposición electrostática, produce como resultado una capa más dura y mejor recubrimiento de esquinas sin escurrimiento. El material que es 100% sólido reduce otros riesgos inherentes en los sistemas líquidos, usando sistemas adecuados de recolección y circulación es posible recuperar y reutilizar el material con una eficiencia hasta del 98%. Los sistemas de polvo reducen considerablemente el mantenimiento de los equipos.

Este proceso consta de varias etapas para su correcta terminación.

1. Etapa de lavado: se trata la superficie de la pieza con ciertos químicos (fosfatado) para eliminar restos de grasa, aceite, óxido y otros elementos que puedan impedir la correcta adherencia del recubrimiento.
2. Etapa de Secado: se seca la superficie anteriormente lavada antes de realizarse la aplicación del recubrimiento.
3. Etapa de aplicación: se aplica con una técnica especial que ioniza las partículas de polvo para así adherirse a la superficie cargada opuestamente logrando el recubrimiento total de la pieza con la pintura.
4. Etapa de curado: es un horno que funde el polvo a una temperatura requerida en un tiempo estipulado.

CAPÍTULO I**DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA****1.1 Justificación del problema**

La industria venezolana presenta un déficit de partes y piezas de automóviles por la creciente demanda de éstas, dependiendo así de las importaciones y la poca producción nacional, lo que se busca es aumentar la producción y calidad para suplir la demanda cumpliendo con los estándares internacionales para estar a nivel de las industrias extranjeras.

Ante la necesidad de aumentar la calidad de las pastillas de freno para llegar a niveles competitivos con las grandes empresas nacionales e internacionales, la empresa DRIFF C.A., busca la implementación de nuevas tecnologías que mejoren el acabado de las piezas a la vez que disminuyen la generación de vapores que contaminan el medio ambiente, mejorando la eficiencia y productividad de la planta.

1.2 Antecedentes

En el año 1974, el Profesor Humberto Elías, realizó un trabajo de ascenso en la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela titulado: “*Criterios de Diseño para Sistemas de Pintura Convencionales*”.

En este trabajo, se puntualizó los criterios necesarios para el diseño de transporte de cadenas, sistema de tratamiento de metales, cámara de pintura, horno de pintura, sistemas de presurización, así como la distribución en planta de los equipos y la descripción del proceso de producción para montar un sistema de pintado.

Sin embargo en este trabajo solo nos habla de pinturas convencionales para el momento, que eran las pinturas líquidas.

En el año 2003, Johan Hofmayr, y Frakling Linares, realizó un trabajo especial de Grado en la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela titulado: “*Diseño y Construcción de un Horno de curado para recubrimiento superficial de aplicación electrostática*”.

En este trabajo se lleva a cabo el diseño de un horno de curado, donde se hace referencia a la selección de materiales para el horno, el cálculo de la estructura para determinar el espesor del material más adecuado. La estructura del horno es diseñada en función de los equipos que este debe sostener y su función dentro de la línea de producción.

Se determina la configuración más apropiada para el horno de acuerdo al espacio de planta y objeto a pintar.

Se evalúan las pérdidas por transferencia de calor a través de las paredes, piso y techo del horno, suponiendo estado estable.

Selección de materiales y diseño del calentador de aire para el cual se busca un quemador apropiado y el ventilador de recirculación de aire en el horno. Además se elabora la selección del transporte interno del horno en función del proceso e instalación que se desea. Luego se procede a la construcción del mismo.

1.3 Planteamiento del Problema

En la búsqueda de mejorar del proceso de pintura para las pastillas de freno fabricadas por la empresa DRIFF C.A., ubicada en San Antonio de Los Altos. Se requiere sustituir el procedimiento por uno semiautomático, a través de la instalación de un sistema de aplicación de polvo electrostático, que permitirá utilizar menos tiempo en el proceso de pintado de las pastillas de freno. Actualmente se realiza de forma manual y con pintura líquida, resultando los tiempos de producción muy elevados, además del desperdicio de pintura que es también considerable. Se dispone de un área de 30 m² para implementar el sistema.

La instalación debe constar de un sistema de limpieza provisto de tanques para el desengrasado. Un sistema para la aplicación de la pintura, el cual debe aspirar el polvo que no entre en contacto con la pieza, a través de un sistema de recuperación.

Finalmente se debe tener un horno para el curado del recubrimiento, en el que se introduzcan varias pastillas previamente rociadas con las partículas y

donde permanezcan por intervalos de tiempo que permitan la reacción química de la pintura originando la adherencia sobre la superficie.

1.4 Objetivo General

Diseñar un sistema de recubrimiento superficial por polvo cargado electrostáticamente aplicado en pastillas de freno.

1.4.1 Objetivos Específicos

- Especificar los parámetros generales que definen la cámara de pintado semiautomático.
- Especificar los parámetros generales que definen el horno de curado.
- Especificar los parámetros generales que definen el sistema de transporte.
- Determinar todos los parámetros referentes a la transferencia de calor.
- Planificar la construcción del sistema.

1.5 Alcances

- Determinación de las dimensiones del horno según el espacio disponible y el número de pastillas.
- Determinación de la mejor construcción y selección de los equipos del horno.

- Determinación de la mejor estructura para el horno.
- Análisis estructural del horno.
- Seleccionar los materiales más adecuados para llevar a cabo la construcción del horno.
- Elaboración de los planos para la construcción del horno.
- Determinación de las dimensiones de la cámara de pintado según el espacio disponible y el número de pastillas.
- Determinación de la mejor construcción y disposición interna de los equipos de la cámara de pintado.
- Determinación de la mejor estructura para la cámara de pintado.
- Análisis estructural de la cámara de pintado.
- Seleccionar los materiales más adecuados para llevar a cabo la construcción de la cámara de pintado.
- Elaboración de los planos para la construcción de la cámara de pintado.
- Determinación de las dimensiones para la armazón del sistema de transporte.
- Selección del tipo, forma y mecanismo a utilizar para el sistema de transporte.
- Selección de material para el sistema de transporte.
- Diseño del armazón para el sistema de transporte.
- Análisis estructural para el sistema de transporte.
- Elaboración de los planos para la construcción del sistema de transporte.
- Cálculo del espesor del aislante del horno.
- Determinación del mejor aislante térmico para la pared del horno.
- Determinación de la temperatura de trabajo del horno según las especificaciones técnicas de los fabricantes de recubrimiento en polvo.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Recubrimiento en polvo

El recubrimiento en polvo son partículas de plástico finamente trituradas compuestas por resina, un agente de enlace en el caso del polvo termoestable, pigmentos, aditivos fluidificantes y rellenos para que adquiera propiedades específicas. Cuando estos son calentados, estas partículas de plástico se derriten para formar una película continua, muy duradera y químicamente resistente.

Es aplicado como un material seco y contiene muchos componentes orgánicos volátiles (VOC). La materia prima es literalmente polvo, mezclado al seco, extruido y se convierte en el material final. Es ambientalmente un recubrimiento seguro que puede dar una gran variedad de terminaciones de buena calidad que hace del polvo una alternativa muy popular en un sentido ecológico para el clima en el que vivimos actualmente.

Los materiales en polvo pueden ser termoplásticos o termoestables, el polvo termoplástico no reacciona químicamente en la fase curado, es utilizado típicamente para aplicaciones funcionales y aplicado en finas capas, en su mayoría de 6 - 12 mils.(0,15 – 0,30 mm). Son usados en una amplia gama de aplicaciones que requieren una terminación de resistencia de impacto y/o de resistencia química.

El polvo termoestable es aplicado y después curado en un horno a cierta temperatura por un tiempo determinado. El proceso de curado causara un enlace químico que tomara lugar cambiando el polvo en una película continua que no se refundirá. El polvo termoestable es usado para una variedad de aplicaciones funcionales y decorativas aplicado en finas capas en su mayoría de 1,5 a 4 mils (38,1 a 101,6 μm).

Los polvos pueden estar formulados para satisfacer una cantidad de apariencias o un rendimiento característico, esto puede incluir espesor, brillo, textura, color y cualidades técnicas (dureza, resistencia química, resistencia U.V., resistencia a altas temperaturas, etc.) del recubrimiento. Están disponibles con acabados lisos, corrugados y metálicos.

El polvo termoestable tiene una resina como componente primario que forman la película, varias pigmentaciones de color, aditivos fluidificantes y un agente para el curado. Los ingredientes secos son mezclados a gran velocidad para crear una mezcla homogénea que después es cargado en un extrusor para luego ser empacado, estos empaques están bien clasificados para su posterior distribución.

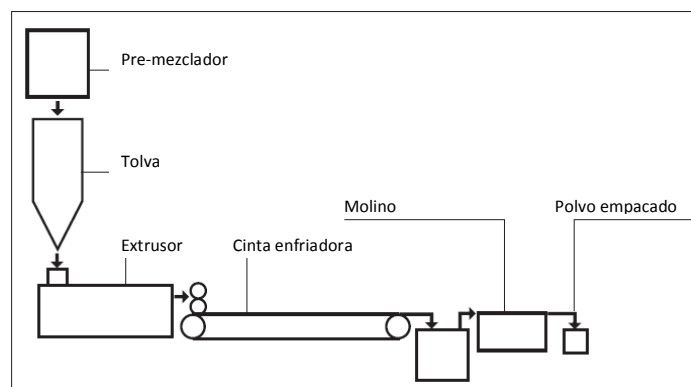


Gráfico 1 - Proceso de Manufactura del polvo

2.1.1 Polvos Termoplásticos

Hay tres resinas primarias usadas en polvos termoplásticos, vinilo, nylon y poliéster. Este material es usado para algunas en aplicaciones en contacto con alimentos, equipos de juegos, carritos de compras, estanterías de hospitales y otras aplicaciones.

Los polvos termoplásticos son en su mayoría materiales con alto peso molecular que requieren una alta temperatura para fundirse y fluir. Es comúnmente aplicado por cama fluidificadas y ambas partes son pre calentadas y post calentadas.

La mayoría de estos polvos tienen una propiedad de adhesión marginal, entonces el sustrato debe ser preparado antes de su aplicación.

Policloruro de Vinilo (PVC)

El recubrimiento por polvo de Policloruro de Vinilo proporciona una gran durabilidad, resistencia química y resistencia al agua, esta puede ser formulada por aplicaciones aprobadas por la FDA (administración estadounidense de drogas y alimentos) tales como en estanterías de alimentos congelados y cestas de lava platos. El terminado es algo suave, brillante y flexible. Esto tiene buena resistencia al agua, detergente y altas temperaturas por largos periodos de tiempo.

Poliiolefinas

El polietileno produce películas suaves. El polvo de polipropileno tiene mucho en común con las superficies de plástico del polipropileno solido. Como

muchos de los polvos termoplásticos, son duraderos y resistentes a muchos químicos y detergentes.

Además de su dureza y resistencia comunes en otros termoplásticos, el polietileno es un excelente aislante eléctrico. También es usado como forro de equipos de laboratorio ya que su superficie es fácil de limpiar.

Nylon

Las resinas de nylon (poliamidas), producen películas que son lisas, resistentes a químicos, solventes y resistentes a abrasiones fuertes. La mayoría de las veces los polvos de nylon requerirán primero lograr una adhesión del nivel requerido para un mayor rendimiento de aplicación. El nylon puede ser formulado para aplicaciones que tengan contacto con los alimentos, dan una excelente protección a las estanterías y además es ampliamente usado en superficies de soporte para prever que se rompan por abrasión mecánica, algunos nylon son también usados para aplicaciones de exteriores tales como lámparas o asientos.

Polyester

El polyester se basa en un material de polvo termoplástico que tiene propiedades de adhesión mejores que la común y buena resistencia a los rayos U.V. Sin embargo son algo más difícil de aplicar que los materiales de nylon y no son tan resistentes a la abrasión y solventes. El polyester es usado para aplicaciones de exteriores como muebles de patio debido a su característica de gran durabilidad en exteriores.

PVDF (fluoruro de polivinilideno)

PVDF tiene excelentes características contra el desgaste y resistencia química con excepción a los solventes provenientes de los hidrocarburos, estos son usados para recubrir tuberías y válvulas en la industria de procesos químicos, usualmente se recomienda cromar la pieza a recubrir.

2.1.2 Polvos Termoestables

Los polvos termoestables son más usados que los polvos termoplásticos. Estos están principalmente compuestos por una resina sólida de un peso molecular relativamente alto y un agente de enlace. Los polvos termoestables son usados para una gran cantidad de aplicaciones decorativas y protectoras. Son aplicados mediante un proceso de rociado electrostático, calentado a la temperatura necesaria y es curado.

Las principales resinas utilizadas en la formulación de los polvos Termoestables son: Epoxi, Poliéster y Acrílico.

Estas principales resinas con usadas con diferentes agentes de enlace para producir una variedad de materiales en polvo. Muchos agentes de enlace o agentes de curado son usados en el recubrimiento en polvo incluyendo aminas, anhídridos, melaminas e isocianatos bloqueados y no-bloqueados. Algunos materiales también usan más de una resina en formulas híbridas.

Cuando un polvo termoestable es aplicado y sometido al calor este se funde, fluye y se enlaza químicamente para formar la película de acabado final. La reacción química en el ciclo de curado crea una red de polímeros que provee una excelente resistencia a la ruptura del recubrimiento. El polvo termoestable

una vez que ha sido curado no se fundirá ni fluirá otra vez si es sometido al calor una segunda vez.

Epoxi

Los polvos epoxi fueron los primeros materiales termoestables comercialmente disponibles y son los más usados hoy en día. Están disponibles en una gran gama de formulaciones, de película gruesa para aplicaciones funcionales y de película delgada para aplicaciones decorativas. Ellas proveen una excelente dureza, resistencia química, resistencia a la corrosión y flexibilidad. El principal inconveniente con los epoxis es que se entizan cuando son sometidos a radiación U.V. Por esta razón son raramente usados para aplicaciones de exteriores.

Aplicaciones funcionales de los polvos epoxi

Los epoxis funcionales son comúnmente usados como aislantes eléctricos y protectores contra la corrosión, algunas aplicaciones funcionales típicas de los epoxis es en motores eléctricos y alternadores que toman ventaja de sus propiedades de aislamiento. Como los epoxis funcionales tienen también una buena resistencia química, esta es usada en una variedad de aplicaciones donde se requiere resistencia a la corrosión, tales como tuberías, componentes de automóviles y barras para acero reforzado.

Aplicaciones decorativas del polvo epoxi

Los epoxis son usados a menudo en aplicaciones decorativas. Ellos pueden ser formulados para proveer una variedad de brillos, colores y texturas, aplicado relativamente en finas capas de 0,5 a 3 mils.(12,7 – 76,2 μm). Todavía dando la resistencia y durabilidad de los recubrimientos funcionales. Las

aplicaciones típicas incluyen el inmobiliario metálico de oficina, estanterías, partes interiores de los automóviles y juguetes.

Híbridos de epoxi y poliéster

Los “Híbridos” de epoxi y poliéster, como su nombre lo indica, combinan resina de epoxi con resina de poliéster para formar un polvo con casi las mismas propiedades de los epoxis. Aunque algunos híbridos son menos resistentes a los químicos y solventes, estos son fuertes, flexibles y con un precio competitivo.

Los híbridos son susceptibles de ser utilizados en muchas de las mismas aplicaciones que los epoxis. Además de una ligera mejora en el tiempo de durabilidad. La resina de poliéster algunas veces provee mejoras en la carga electrostática del polvo.

Polvo de poliéster

La resina de poliéster es usada para formular materiales de poliéster de uretano y materiales de poliéster de triglycidyl isocyanurate (TGIC).

Poliéster de uretano

Los polvos de poliéster de uretano curados tienen una excelente resistencia al ambiente exterior, dureza y una buena apariencia, con una capa de 1 a 2 mils. (25,4 a 50,8 μm) de espesor. Una delgada capa puede resistir desgaste y maltrato físico esto hace del poliéster de uretano un producto popular para terminaciones de alta calidad.

Es común bloquear el agente de enlace en el poliéster de uretano con e-caprolactam. Para comenzar con el proceso de enlace el material debe alcanzar

una temperatura por encima del umbral del agente de bloqueo. Con el e-caprolactam el desbloqueo ocurre aproximadamente a 360° F (182° C). Por tanto, la temperatura tiene que ser mayor a 360° F para que comience a fundirse en el ciclo de curado.

El recubrimiento por polvo e-cap son usualmente sensibles a capas más gruesas de 3 mils. (76,2 μm). Las capas gruesas con el uretano pueden perder algunas de sus propiedades mecánicas y puede exhibir efectos de desgasificación debido a la evolución de e-caprolactam.

Estas son usadas en aplicaciones de exterior como muebles de patio, ruedas de automóviles, tapicería, cortadora de césped y una amplia gama de productos que requieren una alta calidad y acabados decorativos comparables con el recubrimiento líquido.

Poliéster (TGIC)

El recubrimiento de poliéster (TGIC) usa el epoxi de agente de enlace funcional triglycidyl isocyanurate (TGIC). Los TGIC tienen una característica de adhesión muy buena, resistencia a la corrosión y durabilidad en exteriores. Son curados típicamente a bajas temperaturas como el uretano y tienen un tiempo de curado más corto. En el ciclo de curado presenta buenas características después de este presentando pocos gases atrapados. Este recubrimiento provee a la pieza una buena cobertura de bordes y dureza con un grosor de película de 3-5 mils. (75-100 μm), tiene igual resistencia a la corrosión que el poliéster de uretano pero menos resistencia contra químicos.

Algunos usos típicos de este material son para rines de automóviles, carcasas de aires acondicionados y accesorios para jardines.

2.1.3 Polvos acrílicos

Como el poliéster, los acrílicos dan una excelente durabilidad al exterior. Comúnmente los materiales basados en acrílicos son: acrílicos de uretano (resina de hidroxilo funcional), acrílicos híbridos (resinas de ácido funcional) y acrílico glicidil metacrilato (GMA) (resina de epoxi funcional).

Los acrílicos de uretano requieren temperaturas de curado de 360 F (182 °C). Como el poliéster de uretano, pueden exhibir problemas con gases atrapados en películas gruesas (3 mils. / 75 µm). Ofrecen excelente apariencia con finas películas, buena resistencia química pero con baja resistencia al impacto y no son muy flexibles.

Los acrílicos GMA pueden ser curados en menos tiempo o bajas temperaturas que el poliéster de uretano y provee superior resistencia al desgaste. Estos recubren excelentemente el cobre o cromo. Como los acrílicos de uretano la flexibilidad es una limitante. Puede ser aplicada con películas mayores de 3 mils. (75 µm) sin riesgo de presentar el problema de los gases atrapados. Los acrílicos GMA son incompatibles con otras resinas y debe estar en sistemas aislados de otros polvos.

Los acrílicos híbridos combinan una resina acrílica y epoxi, ésta es mejor que el híbrido epoxi/polyester pero no es tan buena para el uso en el exterior. Tiene mayor flexibilidad que otros acrílicos por la propiedad mecánica del epoxi.

A causa de que el recubrimiento con estos acrílicos tienen mejor apariencia, una superficie dura, excelente contra el desgaste, buena características para aplicación electrostática los acrílicos son frecuentemente usados para aplicaciones en productos que tienen altos estándares de calidad.

Los accesorios, automóviles y otros productos que requieran durabilidad y larga vida en un entorno severo son buenos candidatos para el recubrimiento en polvo con acrílicos. Normalmente son usados en rines de automóviles, piezas para plomería y maquinas para alquiler.

Investigaciones han conducido a determinar que el uso para el recubrimiento de la carrocería de automóviles es excelente, mientras que en los Estados Unidos de América se está evaluando esta posibilidad, ya los fabricantes de autos en Europa lo están usando en su línea de producción.

2.1.4 Tamaño De Partículas Del Polvo

El tamaño de la partícula del polvo se ve influenciada por el sistema de transporte, el sistema de carga y las características de la película final. El tamaño original del pulverizador es determinado por el fabricante que requiere ciertas características de deposición y apariencia de polvo. El usuario final debe entender el rol del tamaño de la partícula en el proceso electrostático y la mezcla consistente de este para su buena aplicación.

La consistencia del flujo del polvo en la pistola de aplicación comienza en la tolva de alimentación. Continuando, es requerida una fluidificación uniforme para alcanzar un flujo consistente a través de la bomba y en la salida de la pistola. Como consecuencia de la acumulación de partículas finas de material el flujo disminuye obligando al operario aumentar la presión del aire.

El aire que entra en la cama fluidificada va a tomar el camino de menor resistencia y al aumentar la presión puede causar la expulsión del material hacia arriba. La superficie de la cama fluidificada es inconsistente con burbujas

grandes de aire y puntos muertos del depósito. Esta condición causa que el material en polvo sea entregado a la pistola deficientemente, si esta condición no es tan severa el operador puede continuar con la aplicación pero la película alcanza otro espesor causando imperfecciones en la superficie. Y si la condición es severa la pistola expulsa una gran cantidad de polvo en la superficie dejando manchas.

Altas presiones pueden ser necesarias para mover el polvo compactado a través de las mangueras. Estas altas presiones causan excesivos puntos de fusión en los puntos de contacto con el sistema de entrega del polvo, particularmente en los dobleces de las mangueras.

Partículas finas tienen más superficie por unidad de peso que las partículas más grandes entonces estas tienden a recoger más humedad. Como consecuencia de la alta humedad el polvo circula con mayor dificultad. Esta es una propiedad física y química de los materiales en polvo que afectan la eficiencia de su transferencia. Si algún polvo parece tener un rendimiento menor que los demás estando en una misma línea transporte, se debe consultar con el proveedor para verificar si se puede alterar para aumentar su eficiencia.

El tamaño de la partícula y su concentración también puede afectar la eficiencia de transporte. Las partículas pequeñas tienen más carga por unidad de peso que se convierte en una limitante en películas finas. Cuando hay alta concentración de partículas pequeñas contribuye a las perturbaciones en la superficie en películas finas.

Como las partículas pequeñas tienen menos masa se ven influenciadas por flujos de aire externo y a líneas electrostáticas débiles. Las partículas

grandes tienen un movimiento lineal y solo es afectada por líneas electrostáticas fuertes o gravedad.

Es importante comprender la influencia del tamaño de las partículas de polvo en la aplicación del recubrimiento. El tamaño de las partículas del fabricante será alterado en el proceso de solicitud y estos cambios deben ser gestionados para ofrecer resultados coherentes. La comunicación eficaz de los datos del tamaño de las partículas puede ayudar a definir el mejor polvo y proporcionar información para el control del proceso.

Los metales en bruto tienen características de superficie que puede provocar una mala adherencia, defectos de superficie y prematura corrosión si se recubren sin la preparación de la pieza. Antes de la aplicación de un recubrimiento en polvo el metal debe ser limpiado y tratado para proporcionar buenas condiciones de adherencia, apariencia y resistencia a la corrosión.

El revestimiento en polvo de una pieza metálica proporciona una apariencia necesaria y calidad de rendimiento. El acabado final de la película actúa como una barrera física para la humedad, si el revestimiento está dañado y el metal desnudo está expuesto, la corrosión puede comenzar a actuar sobre la pieza. El tratamiento previo no sólo proporciona una mejor adhesión de la capa a la pieza, sino que también ayuda a prevenir la corrosión entre la capa y el metal, añadiendo valor al producto y ampliando su vida útil.

El término pretratamiento se refiere al tratamiento mecánico o químico de la superficie de un producto manufacturado. La parte superficial o sustrato debe ser limpio y preparado para la aplicación de un recubrimiento. El pretratamiento puede ser tan simple como un disolvente para limpiar o puede ser de varias etapas de aspersores que limpia la pieza y se aplica un

revestimiento de conversión para una buena adherencia y rendimiento de la pintura. El nivel de pretratamiento empleado está directamente relacionado con la apariencia y el requerimiento de rendimiento del producto.

El recubrimiento en polvo no oculta los defectos y el rendimiento de revestimiento está directamente relacionado con la condición del sustrato. La aplicación del revestimiento sobre un contaminante provocará incrustaciones entre el sustrato y el revestimiento. Partículas de suciedad no se disolverá o se ocultara por el revestimiento, para garantizar una buena apariencia y adherencia las piezas deben estar limpias.

Hay una serie de opciones para el tipo y alcance del proceso del pretratamiento utilizado. A la hora de determinar cual es el proceso es necesario para una situación particular, uno debe considerar los requerimientos de rendimiento de la pieza final, el recubrimiento que se aplica, el tipo de sustratos y los diferentes tipos de pretratamiento disponibles. El conocimiento de la superficie metálica y la condición de ésta superficie antes de revestimiento es fundamental.

El tamaño aproximado de las partículas en polvo se encuentra en un rango de 1,2 a 2 mils. (30 a 50 μm).

2.1.5 Sustratos

Cada clase de metal tiene su propia característica de superficie las cuales afectan el rendimiento del recubrimiento aplicado. Estas características incluyen no solo las propiedades del solido del material base sino también de

las propiedades químicas y los procesos que se utilizaron para la manufactura de la pieza.

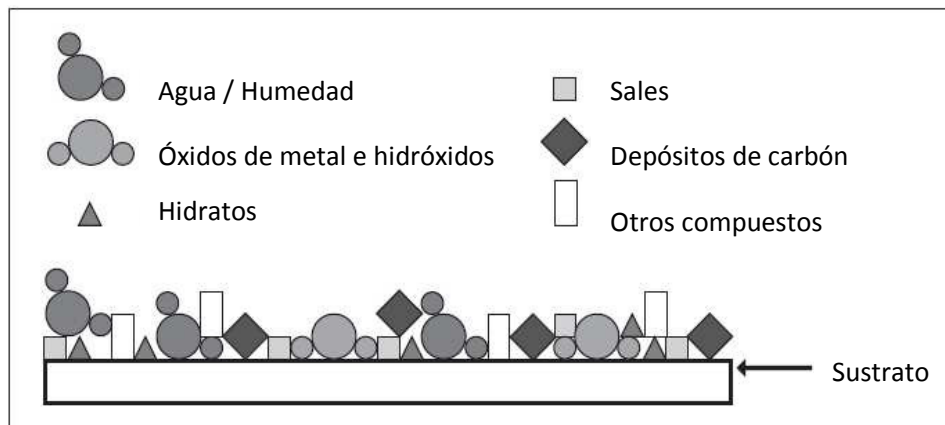


Gráfico 2 - Constituyentes típicos de la superficie del metal

Estos atributos de la superficie consisten principalmente en una mezcla de los óxidos, hidratos, sales y de los elementos metálicos que componen el metal. Además de estos constituyentes naturales, una serie de contaminantes están presentes.

Por ejemplo, en el acero se incluyen en la superficie carbones, aceites, lubricantes, inclusiones no metálicas, suciedad, corrosión de los productos, depósitos de hongos. Las superficies de cinc tienen aceites, lubricantes, corrosión, polvo y suciedad. El aluminio será similar al cinc, pero también con depósitos de óxido de aluminio, aunque el óxido de aluminio no es considerado como un contaminante del aluminio pero puede interferir en la remoción de otros contaminantes.

No hay una preparación universal para la pieza, debemos estudiar los casos separados en cuanto a materiales se trata y entender las diferencias de la superficie de los materiales para elegir la preparación adecuada.

2.1.5.1 Acero

El acero es una aleación de hierro y carbono con pequeñas cantidades de otros elementos. El proceso de fabricación de acero puede ser variado para producir aceros con diferentes propiedades y grosores. Aceros de gran espesor normalmente son laminados en caliente (HRS) lo cual es el primer paso para hacer las láminas lo que produce una superficie con grietas y deformidades. La aplicación de polvo en este tipo de superficie da como resultado la falta de adherencia para solucionar esto se requiere una aplicación de un ácido fuerte o una limpieza mecánica.

Las aéreas con soldadura en HRS pueden causar problemas de adhesión y aplicación del polvo. El proceso de soldadura deja la superficie rugosa, partes con escoria y aceites que pueden interferir en la adhesión y aplicación del polvo. Estas áreas deben ser limpiadas mecánicamente por cepillos de alambres o chorros de arena para lograr la eliminación de la contaminación que resista la limpieza química.

El acero laminados en frío (CRS) es una nueva reducción en el proceso que produce laminas de acero delgadas de 0,005 a 0,080 pulg. (0,0127 a 0,20 cm.) y tiene una micro estructura más fina que con el proceso de laminado en caliente. Tiene los mismos elementos básicos como el HRS, las láminas de CRS normalmente tienen petróleo en la superficie que actúa como un inhibidor de óxido, pero es relativamente limpia y libre de óxidos. La limpieza química

puede ser una manera muy satisfactoria para preparar CRS para el recubrimiento en polvo.

Muchos productos como los paneles de los automóviles y rines son manufacturados con aceros de bajo contenido de carbón (HSLA), normalmente responde bien a los mismos tratamientos utilizados a los de alto contenido de carbono. El chorro de arena es usado hasta que el metal quede blanco o cerca, a veces quedan sombras en el material producido por la naturaleza del óxido en la superficie pero no afecta la aplicación del recubrimiento en polvo, lo que si puede intervenir en la aplicación son siliconas presentes en la superficie.

2.1.5.2 Acero Inoxidable

El acero inoxidable (SS) está relativamente libre de hidratos de hierro que es un componente común en la superficie del acero al carbón. El SS debe ser limpiado para remover aceites y suciedad provenientes de la manufactura y manejo de las piezas, muchos productos de acero inoxidable no tienen un recubrimiento protector ya que este no es sensible a las condiciones ambientales.

La capa de óxido pasiva sobre el acero inoxidable es relativamente inerte a limpiadores alcalinos y otros productos químicos que se utilizan comúnmente en el acero al carbono. Los ácidos fuertes o procesos mecánicos de abrasión se utilizan a veces para quitar la capa de óxido y crear una superficie preliminar que tiene mejor adherencia para realizar el recubrimiento. Estos procesos ayudan a la adhesión pero no proporciona resistencia adicional a la penetración de humedad.

2.1.5.3 Acero Galvanizado

El recubrimiento de cinc al acero produce acero galvanizado, puede ser realizado por inmersión en caliente cuando el acero es introducido en un baño de cinc fundido o por aplicación electrolítica en una solución iónica de cinc. Los materiales galvanizados se utilizan para proporcionar una capa adicional de protección contra la corrosión. El rendimiento de las propiedades del producto fabricado por inmersión en caliente o por proceso electrolítico no son muy diferentes. Sin embargo, las propiedades químicas de la superficie tienen algunas diferencias significativas.

Los recubrimientos de cinc aplicados al acero electrolíticamente en una solución de iones de cinc proporciona la misma protección contra la corrosión que con los recubrimientos por inmersión en baño de cinc pero son muy diferentes en la composición y estructura. El electrogalvanizado del acero es relativamente libre de impurezas comparado con el baño de cinc. En el proceso de electrogalvanizado, no hay necesidad de aditivos que son elementos metálicos que se utiliza para controlar el comportamiento del baño de cinc. La deposición en el revestimiento se produce a partir de sulfato o cloruro de una solución salina por lo que es posible tener algunas pequeñas inclusiones de estas sales en la capa de la superficie, está bien enjuagar, pero un buen control del proceso de enjuague normalmente, elimina este problema.

2.1.5.4 Aluminio

El aluminio puro (99,5% Al) tiene baja densidad, alta ductilidad y baja resistencia mecánica. El aluminio se puede producir por aleaciones de metales con muchas de las características deseables del metal puro y añade propiedades

a la aleación para la tener una buena resistencia. El aluminio es comúnmente aleado con uno o más elementos tales como cobre, manganeso, magnesio, silicio, níquel, estaño, cinc como principales componentes y cromo, hierro, níquel, silicio, titanio como menor cantidad o son impurezas normales. Desde que algunas aleaciones pueden tener menos resistencia a la corrosión que el metal puro, que son a veces revestidos de aluminio puro o otro aleación con mejor resistencia a la corrosión. Las diversas aleaciones pueden responder diferente a la limpieza y al tratamiento.

Aleaciones de aluminio se clasifican en dos tipos generales: los que son endurecidos por deformación y los que son endurecidos por tratamiento térmico. Estos dos tipos son pre-determinado por su composición elemental y la forma en que estos compuestos reaccionan a tensión mecánica y temperatura. El trabajo en frío o el tratamiento térmico de las aleaciones de aluminio desarrollarán una textura más homogénea en la superficie y distribución de los diversos elementos metálicos que el aluminio forjado originalmente. El tratamiento térmico de aleaciones de aluminio puede afectar a la respuesta química de la superficie y la receptividad a la limpieza y tratamiento químico. Por ejemplo, una aleación de manganeso tienden a recoger los óxidos de manganeso en la superficie, además de los óxidos de aluminio normales.

Estas aleaciones de aluminio trabajadas en frío o por tratamiento térmico generalmente tienen mejor resistencia a la corrosión que el material original que es suave y heterogéneo. El lingote en bruto tiene más grandes y más segregadas las inclusiones mientras que en las aleaciones tratadas estas partículas intermetálicas serán más uniformes y menos propensos a desarrollar celdas de corrosión.

Manganeso, plomo, cinc y el titanio tienen menos efecto sobre la resistencia a la corrosión de las aleaciones de aluminio que el magnesio, hierro, silicio y cobre. Las diferentes características químicas de la superficie de la aleación, reacciona diferente a determinados tipos de exposición. Por ejemplo, el magnesio se retarda la corrosión si se exponen a la solución salina y se promueve la corrosión cuando se exponen a sustancias alcalinas.

Las aleaciones de aluminio son identificadas por una serie de números. Series diferentes de las aleaciones que reaccionan de manera diferente a los tratamientos químicos. Los productos de la serie 1000 tienen la menor cantidad de impurezas de aleación. Estos productos son fácilmente tratados por proceso químico y la excelente resistencia a la corrosión. La serie 2000 utiliza el cobre como el principal elemento de aleación la cual añade resistencia mecánica. Puede que no siempre respondan a algún tratamiento químico.

2.1.6 Limpieza De La Pieza

2.1.6.1 Limpieza Por Ácidos

La limpieza por ácidos se basa en el ataque de la superficie metálica por ácido sulfúrico, clorhídrico, nítrico, fosfórico, fluorhídrico, fluorbórico, o crómico y las diversas sales ácidas de estos. Por lo general, incluyen un paquete de tensioactivo, retenedores de iones del metal, solventes alcohólicos y un inhibidor para evitar el exceso de ataque del metal. Ellos pueden ser útiles para la eliminación de los óxidos livianos, residuos orgánicos, la persistencia de sales y otros los sucios que son fácilmente disueltos en ácido.

Debido al hecho de que los ácidos son corrosivos y por tanto, más difíciles de bombear y manejar, y que en algunos casos son limpiadores de inferior eficacia que los alcalinos sobre las suciedades orgánicas estos son utilizados con menos frecuencia. Para los metales que son propensos a la fragilización por hidrógeno tales como los aceros aleados y aceros de alto contenido de carbono la limpieza por ácido no es una opción. Los ácidos pueden también reaccionar con algunos metales para formar subproductos insolubles que interfieren con los procesos posteriores.

En un período de tres etapas de lavado, la primera etapa combina la limpieza y el fosfatado. Estas soluciones suelen estar formado por ácido fosfórico, un agente humectante, y un activador.

Estas soluciones son relativamente fuertes ácidos minerales como el ácido sulfúrico, clorhídrico, fosfórico y ácido nítrico. Este tipo de solución puede ser útil para la eliminación de una fuerte contaminación inorgánica. Un buen uso particular es la eliminación del óxido formado por el corte láser, El corte de acero por láser deja como resultado una capa de óxido que es resistente a la limpieza por medios alcalinos.

Las tasas de aumento de decapado aumentan con mayor concentración de ácido y mayor temperatura. El exceso de concentración debe evitarse debido a la corrosión natural de la solución y el riesgo de un ataque demasiado agresivo en el metal.

2.1.6.2 Fosfatado

Revestimiento de conversión, es la aplicación de un revestimiento de fosfato de hierro o de cinc al sustrato. El revestimiento de conversión puede ser una parte muy crítica del proceso de pretratamiento, que aumentará significativamente el rendimiento de los acabados del recubrimiento. Un recubrimiento de fosfato convierte el sustrato de metal a un modelo uniforme, superficie inerte y reduce al mínimo la propagación de la oxidación si el revestimiento está rayado también mejora la resistencia a la corrosión de la pieza final.

Un recubrimiento de conversión puede ser de hierro, cinc, policristalino, cromado, o una película de fosfato de manganeso. Estos se desarrollan en ambas superficies, ferrosas (basadas en hierro) y no ferrosas (cinc, aluminio, plomo- estaño y manganeso). Las piezas se someten a un baño de ácido y una conversión química que forma una película en la superficie, cambiando la naturaleza química y física de la superficie metálica.

2.1.6.2.1 Fosfato de hierro

El fosfato de hierro es el más delgado de las películas de fosfato. En el proceso de aplicación, una base de óxido de hierro se desarrolla, seguida de una cubierta lisa o amorfa de fosfato de metal. La superficie del metal tratado típicamente tiene un color gris azulado o azul dorado, dependiendo del peso del recubrimiento y del material base. Normalmente el fosfato hierro se compone de: base acida de fosfato, aceleradores / oxidantes y un paquete de surfactante (opcional).

En una solución de fosfato de hierro, la superficie del metal se graba, liberando hierro en el baño. Cuando los iones metálicos son cargados de la superficie de la pieza, la superficie se carga positivamente. Los iones metálicos en el baño se convierten en fosfato de hierro con carga negativa. Un aumento del pH se produce en la interfaz de la solución y la pieza causando el depósito de los iones de fosfato de hierro como un recubrimiento amorfo en la superficie del metal.

Los contenidos de sales de ácidos, el tipo y la cantidad de acelerador y el tipo y la cantidad de ácido varían de un compuesto a otro. Estas composiciones son todas moderadamente ácidas. A pesar de los activadores no son normalmente necesarias antes de la aplicación del revestimiento de fosfato de hierro, Las formulaciones comúnmente contienen oxidantes y / o aceleradores. Los oxidantes, como el nitrito o clorato actúan para iniciar ataques a las partes ferrosas, que provee el hierro para el recubrimiento de fosfato de hierro. Aceleradores, como molibdato o vanadato proporcionar sitios activos para la deposición del fosfato de hierro. La elección del oxidante o acelerador en un producto en particular puede afectar el rendimiento o la apariencia del revestimiento final.

En un proceso de tratamiento de tres etapas de fosfato de hierro, la limpieza y revestimiento se combinan mediante la incorporación de un paquete de detergente tensioactivo en la solución de fosfato de hierro. Una fuente de iones fluoruro pueden ser añadido si se está procesando el aluminio para aumentar el grabado sobre la superficie de óxido de aluminio.

Los recubrimientos de fosfato de hierro pueden ser aplicados a mano con trapos de limpieza, con spray a mano, por inmersión o por lavador de aspersión. El número y el tipo de las fases del proceso dependen directamente

de los requisitos de terminación de la pieza. Una combinación de limpiador y recubrimiento seguido de un enjuague es el proceso mínimo típico de limpieza química y fosfatado. La adición de las etapas en el proceso puede proporcionar un mayor rendimiento. La forma más eficaz y de uso común es un método multi-etapa de lavado por aspersion. Estos lavados por aspersion están contruidos por dos a ocho etapas normalmente.

Dos etapas: limpieza / recubrimiento, enjuague

Tres etapas: limpieza / recubrimiento, enjuague, enjuague / sellado

Cuatro etapas: limpieza / recubrimiento, enjuague, enjuague / sellado, enjuague con agua desionizada

Cinco etapas: Limpieza, enjuague, fosfatado, enjuague, enjuague/sellado

Seis etapas: Limpieza, enjuague, fosfatado, enjuague, enjuague/sellado, enjuague con agua desionizada

Siete etapas: Limpieza, limpieza, enjuague, fosfatado, enjuague, enjuague/sellado, enjuague con agua desionizada

Ocho etapas: limpieza, enjuague, limpieza, enjuague, fosfatado, enjuague, enjuague/sellado, enjuague con agua desionizada.

Peso del recubrimiento de fosfato

Fosfato de hierro se mide en miligramos por pie cuadrado (mg/ft^2) o gramos por metro cuadrado (g/m^2). El peso del revestimiento varía con los

diferentes niveles de pretratamiento. La calidad de adherencia de la pintura y la resistencia a la corrosión se verán afectados por el peso de recubrimiento de fosfato. La tabla anterior muestra los resultados típicos de pasos adicionales a tomar en el proceso.

Para determinar el peso de recubrimiento, deben realizarse pruebas a través de la lavadora con todas las variables del proceso bajo control. Después de una limpieza, el panel de prueba debe pasar por la lavadora y luego deberá ser retirado y probado con el procedimiento descrito a continuación. Algodón y guantes quirúrgicos deben ser usados para evitar la contaminación de la muestra con aceites de la piel.

Controles de fosfato de hierro

Además del número de fases del proceso, los factores que afectarán el peso de un recubrimiento de fosfato de hierro son el tiempo, temperatura, concentración, ácido consumido (pH), la condición del sustrato y la presión de aspersión.

Tiempo en el proceso: mientras más tiempo la química tiene que trabajar, más trabajo va a hacer. El proceso debe ser lo suficientemente largo como para permitir que los químicos formen un recubrimiento uniforme en la superficie.

Temperatura de la solución: las suciedades son más reactivas en una solución caliente y los productos químicos se convierten en más agresivos.

Concentración: una mayor concentración de los productos químicos proporcionará más ácido, más aceleradores puede proporcionar más peso del revestimiento.

Consumo de ácido: un pH superior dará menos ácido y menos revestimiento, mientras que un pH inferior dará una mejor limpieza y más ácido. Más ácido provee mayor decapado, proporcionando revestimientos más pesados. El exceso de ácido puede causar demasiado decapado y el exceso de ácido puede disolver el revestimiento de fosfato. El pH que mejor se adapte a fosfato de hierro se sitúa entre 3.5 y 6.0, con la mayoría funciona en torno a 5.0. Si el pH es demasiado alto (por encima de 6), las piezas no reciben suficiente peso de revestimiento peso y pueden oxidarse con rapidez. Si el pH es demasiado bajo (por debajo de 3,5), las piezas se limpian y se decapa, pero no tendrá ningún recubrimiento de fosfato.

El "azul" de la capa de fosfato está relacionado con el peso del revestimiento. Este azul indica un peso de recubrimiento de 30-35 mg /ft². Cuando el peso del revestimiento va disminuyendo el color cambiará de azul a azul-gris a dorado.

2.1.6.2.2 El Fosfato De Cinc

El fosfato de cinc es un recubrimiento no-metálico, cristalino que químicamente se adhiere al sustrato. Los recubrimientos de cinc son muy adherentes, que proporcionar un recubrimiento uniforme con mejores propiedades de adherencia de revestimiento, mejor recubrimiento en las zonas con esquinas y una mejor resistencia a la corrosión. Un típico fosfato de cinc se compone de: base de ácido fosfórico, aceleradores, sales de cinc.

El fosfato de cinc proviene de su propia solución, no proviene de la superficie metálica como un recubrimiento de fosfato de hierro. Los cristales comienzan a formarse en sitios anódicos de la pieza y paran cuando un cristal

choca con otro cristal. Para recubrimiento en polvo, es mejor mantenerlos densamente empacados. El polvo no permanece en la etapa fluida por mucho tiempo. Grandes cristales de fosfato no permiten que el material en polvo se moje en la superficie y forma una capa bajo el recubrimiento. La humedad puede penetrar en el revestimiento y causar corrosión y que se levante el revestimiento de la superficie.

A diferencia del fosfato de hierro, el fosfato de cinc no puede limpiar y recubrir simultáneamente en un proceso de tres etapas, y requiere una etapa por separado de limpieza.

Activar (Antes de fosfato de cinc)

Durante el fosfatado de cinc, la superficie metálica es activada por un aditivo en el baño limpiador o en un enjuague acondicionado antes de fosfatado. Los acondicionadores son suspensiones alcalinas de sales de titanio activas que se adhieren a la superficie del acero, cinc y aluminio, este crea una red para los depósitos de cinc lo cual aumentará el número de cristales de fosfato de cinc, reduce el tamaño de estos cristales y en general, mejorar la calidad de la capa de fosfato de cinc. Los cristales de poco tamaño son más uniformes y de menor peso ayudando a promover la adherencia, el control del costo del fosfatado y de menor generación de sedimentos.

Un adecuado rango de pH, temperatura y el tiempo del baño se muestran en la siguiente serie de gráficos.

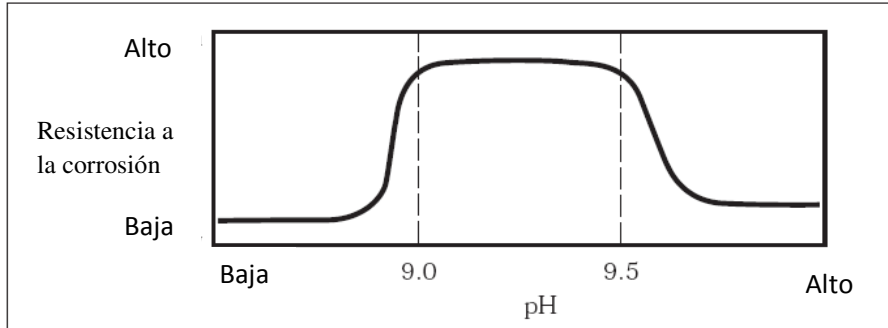


Gráfico 3 - PH vs. Resistencia a la corrosión

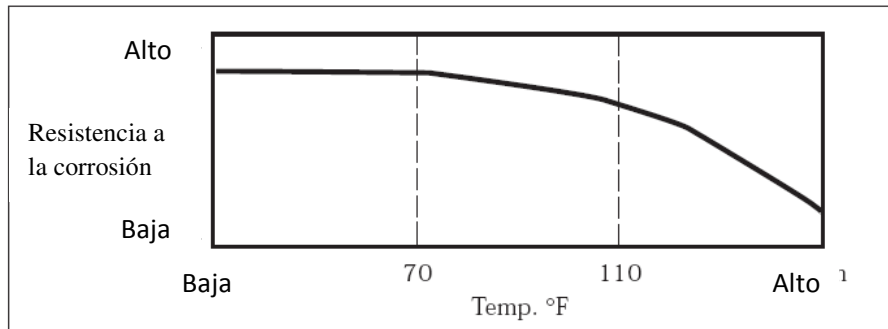


Gráfico 4 - Temperatura del fosfatado vs. Resistencia a la corrosión

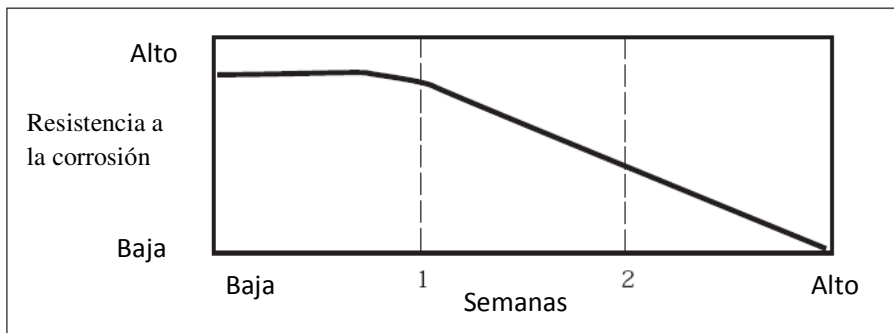


Gráfico 5 - Tiempo de baño vs. Resistencia a la corrosión

El tamaño del cristal del recubrimiento de fosfato tiene un impacto en la capacidad de unión química y resistencia a la corrosión de la pintura. Una estructura grande de cristal es mas porosa, tiene menos resistencia a la corrosión y requiere más pintura para lograr una película completa. Un grano fino y apretado proporciona mejor rendimiento y recubrimiento uniforme de la superficie. El acondicionador en el enjuague precede la etapa de fosfatado que puede ayudar al desarrollo de este grano fino en el recubrimiento de fosfato.

Añadir oxidantes tales como el nitrato, clorato o nitrito controla la tasa de formación del revestimiento. La proporción de estos distintos ingredientes puede controlar el peso y el tamaño del cristal de fosfato en el revestimiento. Fluoruros son añadido si el aluminio va a ser procesado.

Las reacciones en la superficie de la pieza durante fosfatado son los siguientes:

- Ataque sobre el decapado de metal y la oxidación del hidrógeno con el agua
- Aumento del pH en la interfase de la solución del metal y el fosfato
- El exceso de saturación de la película con sustancias que forman el recubrimiento
- Nucleación en el metal
- Crecimiento de la capa de fosfato
- Oxidación y la precipitación de hierro como sedimento.

La composición del baño, la temperatura, tiempo de exposición y la previa limpieza puede afectar a la composición del fosfato y la fase cristalina.

Las soluciones de cinc y el fosfato policristalino requieren más cuidado para producir una alta calidad de los resultados. Adiciones de fosfato de cinc y un acelerador de nitrito al baño para mantener buena concentración es realizada por bombas automáticas para garantizar buena calidad y mínimo consumo de productos químicos. La concentración impropia de estos materiales da como resultado recubrimientos que son suaves, demasiado pesados y forma sedimentos excesivamente. Si el material se deja pasar demasiado lento, el revestimiento será grueso e irregular, lo que resulta en poca adherencia y resistencia a la corrosión.

Al igual que otros procesos de pretratamiento, el tiempo la temperatura y la concentración (ácido total, ácido libre, acelerador y fluoruro) afectarán a los resultados. El fosfato de cinc es el revestimiento de conversión más utilizado por la industria del automóvil debido a la superior resistencia a la corrosión. El revestimiento está firmemente sujeto al metal por la unión iónica, la estructura cristalina porosa proporciona una amplia superficie para la unión química de la pintura, y si la superficie de la pintura es rayada, el revestimiento inorgánico protege contra corrosión.

Una solución de fosfato de cinc se produce continuamente sedimentos a través de la oxidación de hierro soluble a una etapa insoluble que se precipita. Un sistema de eliminación de sedimentos debe ser panificado para proporcionar constante eliminación de este sedimento.

La etapa de enjuague que sigue después del fosfato puede ser realizado con agua de grifo. Las sales de fosfato son más solubles en agua fría. El exceso de flujo debe ser suficiente para mantener el agua del enjuagado razonablemente fría. Comparación de fosfato de hierro y el fosfato de cinc desde un punto de vista del medio ambiente, el fosfato de hierro es preferido

porque no genera grandes cantidades de metales pesados que requieren un tratamiento de residuos. En algunos municipios, una solución de fosfato de hierro puede ser neutralizada y ser liberada al drenaje. Algunas empresas tienen tratamiento de residuos de fosfato de hierro. El cinc está en la lista de los Estados Unidos la Agencia de Protección Ambiental (USEPA) en la Recuperación de Recursos y Rehabilitación de Ley (RCRA), como una sustancia peligrosa que está sujeto a los reglamentos de residuos. Debe ser tratado con anterioridad a la aprobación de la gestión y los sedimentos deben ser recolectados y manejado con cuidado.

En términos de rendimiento, el fosfato de cinc con un sellador de cromo suelen ofrecer muy superior resistencia a la corrosión. Fosfato de hierro es satisfactorio para casi todas las aplicaciones en interiores donde la resistencia a la corrosión no es crítica. El cinc es necesario para el producto al aire libre con requisitos superiores de resistencia a la corrosión.

2.1.7 Aplicación Del Recubrimiento

2.1.7.1 Aplicación Por Cama Líquida (o fluidificada):

A comienzos de la historia de los recubrimientos en polvo, los materiales termoplásticos fueron aplicados por el proceso de inmersión en cama líquida. La cama líquida es un contenedor que retiene el polvo con una cámara de aire en el fondo, llamada plenum de entrada. El contenedor y el plenum están separados por una membrana que es suficientemente porosa para permitir el paso de aire pero no lo suficiente para que pase el material sólido (polvo). El aire comprimido es introducido al plenum y pasa a través de la membrana, como el aire comprimido pasa al contenedor, las partículas de polvo son

suspendidas en el aire, en este estado de suspensión, se llama cama líquida a la mezcla aire-polvo que se comporta como un líquido.

La Aplicación por cama líquida se realiza por el precalentamiento de una pieza metálica, la cual se sumerge en la suspensión de polvo. El material en polvo se fundirá al contacto con la pieza caliente, creando una gruesa película continua (10 - 20 mil. o 0,254 – 0,508 mm) en la superficie metálica. En el caso donde la pieza no tenga suficiente masa para completar la fusión del polvo, la misma deberá ser sometida a un corto ciclo de post curado, típicamente de 3 a 5 minutos a unos 200 a 260° C.

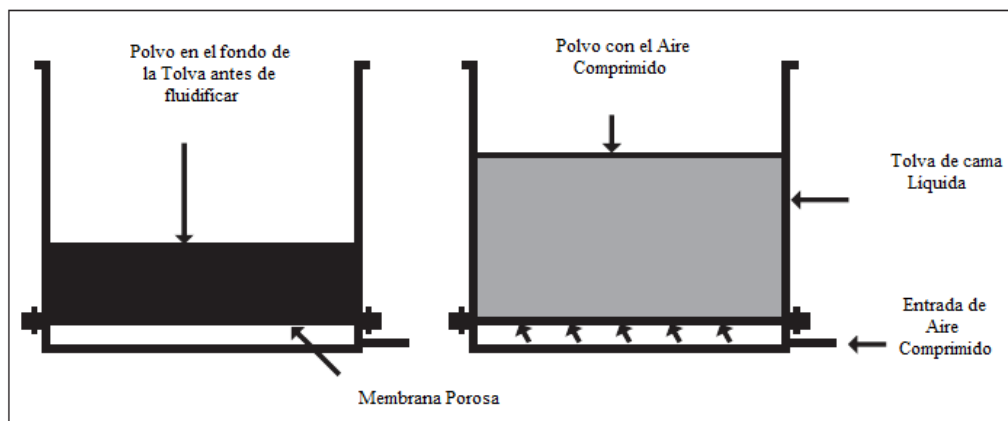


Gráfico 6 - Recubrimiento Electrostático por cama líquida.

La aplicación electrostática por cama líquida usa la misma técnica de fluidificación del polvo y el mismo proceso de inmersión que la cama líquida convencional pero con mucho menos polvo en el fondo de la cama. Una carga electrostática es colocada dentro de la cama así que el material en polvo se carga electrostáticamente cuando el aire comprimido lo eleva. Las partículas de

polvo cargadas se colocan en la superficie y forman una nube de partículas cargadas por encima de la cama. Cuando una pieza conectada a tierra pasa a través de la nube de polvo, las partículas serán atraídas a la superficie. En este proceso no es necesario el precalentamiento de la pieza metálica como en el método convencional.

2.1.7.2 Aplicación Electroestática Rociada (Spray).

La aplicación electrostática en espray usa una cama líquida como tolva de alimentación para contener el polvo y fluidificarlo, para así poder ser bombeado a los aspersores de la pistola usando aire comprimido para su transporte. La pistola es diseñada para dar una carga electrostática al material en polvo y es dirigido en dirección a la pieza metálica conectada a tierra. Este proceso hace posible aplicar una capa más fina de recubrimiento con una amplia variedad de características protectoras y decorativas. La carga electrostática puede ser impartida por tensión, llamada corona de carga, o por fricción con el contacto del interior de la pistola, llamado tribo de carga.

En el sistema de carga por corona, una fuente de voltaje genera una corriente a través de un cable de tensión que lleva la carga a los aspersores de la pistola, el polvo es bombeado a través de la pistola usando aire comprimido, como el polvo pasa a través del campo electrostático del aspersor de la pistola, este se carga y es atraído a la pieza conectada a tierra. La pieza metálica es luego transportada a un horno para el curado del polvo, en el horno de curado, el polvo se derrite y forma una dura película para completar el proceso.

La aplicación electrostática por spray de polvo es el método de aplicación más utilizado, para aplicar el recubrimiento a una pieza esta debe ser

limpiada, secada y enfriada antes de aplicar el recubrimiento en polvo y luego debe ser curado a la temperatura y tiempo requeridos y enfriado para poder sacar de la línea.

Un sistema de aplicación electrostática por spray incluye un sistema de transporte del polvo y un sistema de carga, las piezas básicas que componen un equipo de aplicación son:

- La Tolva de Alimentación.
- La Pistola de Polvo.
- La Fuente de Energía Electroestática.
- Los Controles.

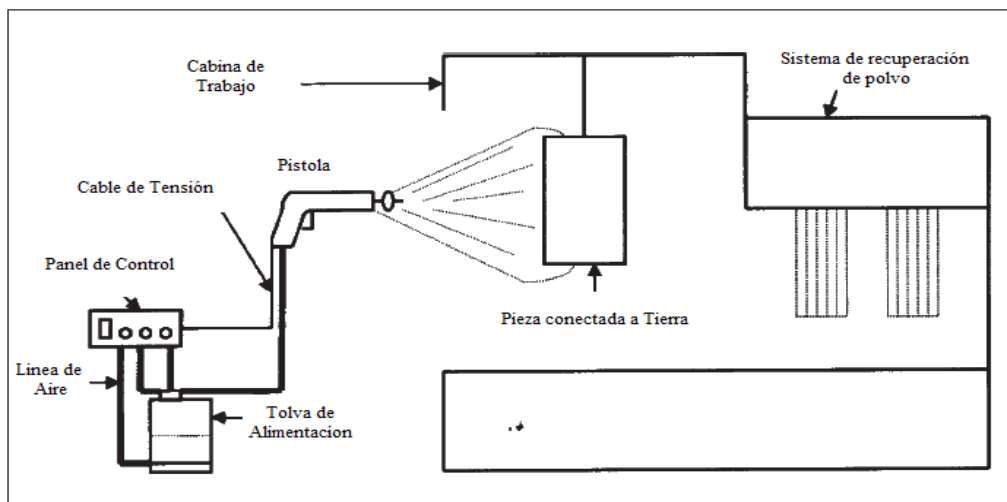


Gráfico 7 - Sistema típico de aplicación electrostática por spray, Tomado de *Powder Coater's Manual*, Cap. III pág. 5, 1998.

Estos componentes están conectados por cables y mangueras y todos los accesorios y reguladores necesarios para completar el paquete.

El camino del polvo a través del sistema producirá abrasión en las superficies y puede fundirse y causar restricción al paso del fluido, las piezas de desgaste en la bomba de venturi y el aspersor de la pistola deben ser frecuentemente chequeadas y remplazadas cuando la suma de desgaste cause problemas en el flujo, las mangueras deben ser tan cortas como sean posible para evitar que formen lazos que restringen el flujo y contribuyen al efecto de fusión.

2.1.8 El Sistema De Transporte Del Polvo.

El sistema de transporte del polvo usa aire comprimido para fluidificar el material en polvo, transportarlo al aspersor de la pistola y crear un adecuado patrón de rociado, los componentes del sistema de transporte de polvo incluyen el tubo de recolección, la bomba de venturi, la manguera de suministro de polvo y los controles neumáticos que son utilizados para ajustar la presión del aire comprimido.

La fluidificación es la mezcla del polvo con el aire comprimido en la tolva de alimentación, esto ayuda a romper las partículas de polvo, eliminar la humedad del polvo y proveer de una consistencia ligera que facilita el transporte del mismo. Cuando el polvo es fluidificado adecuadamente este aumenta en la tolva de alimentación y la superficie se mueve como si fuera agua hirviendo, si la presión del aire es muy alta, la nube de polvo dentro de la tolva crece y se hace difícil ver la superficie, si la presión es muy baja, pequeñas burbujas y geiser aparecen de forma irregular en la superficie del polvo, mientras el resto de la superficie luce calmado.

Si la presión de fluidificación es muy baja producirá un aumento en la tasa de flujo del polvo y se requerirá una mayor presión de bombeo para

transportar el polvo desde la tolva de alimentación, si la presión de fluidificación es muy alta, producirá un inconsistente patrón de rociado del polvo y presurización en la tolva de alimentación, el polvo se puede botar afuera de la tolva de alimentación y cubrir un área con un contaminante potencial, el polvo puede ser separado en diferentes tamaños de partículas y generar una inconsistencia en el acabado final.

La Tolva de alimentación tiene una tela porosa que separa el plenum al fondo del cuerpo principal del contenedor, el aire comprimido es introducido en este plenum y circula a través del polvo en el contenedor, suspendiendo las partículas de polvo en un estado que asemeja al líquido, la tolva de alimentación del polvo debe estar ventilada cuando el polvo fluidifica para reducir la presión en la tolva.

El dispositivo de bombeo, llamado un venturi, usa aire comprimido para elevar el polvo desde la tolva de alimentación y transportarlo a través de la manguera hasta la pistola, el aire comprimido pasa a través de la bomba venturi, creando un efecto sifón, el vacío resultante hala hacia arriba el polvo y lo introduce en la corriente de transporte.

Una segunda dosis de aire comprimido es agregado al flujo de transporte para atomizar más el polvo y proveer la velocidad de transporte necesaria para arrastrar el polvo a través de la manguera a la pistola, estos dos flujos de aire están balanceados para mantener un flujo consistente de polvo sin incremento o chispeante. Adicionalmente a la presión de fluidificación, el balance de flujo y controles de atomización, la bomba venturi juega un rol primordial entregando un flujo uniforme de polvo a la pistola.

Las bombas utilizadas para suplir polvo desde la tolva de alimentación a la pistola deben ser inspeccionadas y limpiadas regularmente, las piezas en el camino del polvo mostrarán un desgaste debido a la naturaleza abrasiva del polvo, las piezas desgastadas producirán un flujo pobre de polvo, un incremento el impacto de la fusión y los problemas de mantenimiento. Las piezas desgastadas deben ser reemplazadas para evitar estos inconvenientes.

El aire fluidificante rompe las partículas de polvo en la tolva de alimentación para facilitar el ascenso por la bomba de venturi, una apropiada fluidificación también afectará en el continuo y regular flujo de polvo a una o varias pistolas. El volumen de polvo en la tolva de alimentación también afecta en la consistencia del flujo, si la tolva tiene poco polvo la relación entre aire comprimido y polvo cambia y el flujo de polvo tendrá más velocidad y menos material.

Las Tolvas de alimentación de polvo están disponibles en gran variedad de tamaños y diseños, dependiendo de los requerimientos del sistema y la manufacturera, las pistolas manuales requieren pequeños volúmenes de polvo y pueden ser alimentadas por cualquier cosa, desde una tasa sifón hasta una tolva de alimentación de 250 lb, usualmente las pistolas manuales son alimentadas directamente de cajas o desde tolvas de alimentación de 50 lb.

Las cajas de alimentación usan la gravedad y la agitación mecánica para llenar el tubo de alimentación, las cajas de alimentación reducen el tiempo de cambio de color. Algunos polvos fluyen tan bien directamente de la caja como lo harían de una tolva de alimentación de cama líquida, particularmente material en polvo con bajo peso específico o material en polvo que ha sido almacenado en condiciones de humedad.

La mayor ventaja de estas unidades es el rápido cambio de color, no hay tolva de alimentación para limpieza, las cajas se cambian cuando se introduce un nuevo color, el tubo de recolección, el bloque de venturi, mangueras, el tapón del aire y los equipamientos son soplados con aire comprimido y el cambio de color está completado, esto puede durar de 5 a 15 minutos.

Las unidades de caja de alimentación pueden ser de gran valor para líneas que tienen cortos pero muchos periodos de trabajo y donde es frecuente el cambio de color, cuando se usan cajas de alimentación sigue siendo útil tener una tolva de alimentación que pueda ser usada para manejar el material en polvo que no se puede recoger de las cajas de alimentación. Los equipos automáticos de pistolas requieren grandes cantidades de polvo y grandes tolvas de alimentación, el tamaño regular para instalaciones automáticas es de 150 a 250 lbs., estas grandes tolvas de alimentación no están diseñadas para que haya cambio de color, éstas se dedican usualmente a un único color.

Algunos sistemas que usan equipos de aplicación automática no siempre quieren recuperar todos sus colores, hay situaciones donde cortos periodos de trabajo de varios colores no generan suficiente polvo para justificar el equipo o el trabajo necesario para recuperar el polvo reusable. Grandes tolvas de alimentación son muy difíciles de hacerles cambio de color y tolvas de alimentación exclusivas para cada color no siempre justifican los costos, en sistemas donde trabajan equipos automáticos y no sea necesaria la sobrecarga de polvo para la recuperación, se pueden usar dos tolvas de alimentación más pequeñas que ayudarían al cambio de color.

2.1.9 Tamiz Para el Polvo

Dispositivos de tamizado son usados frecuentemente en conjunto con las tolvas de alimentación para eliminar suciedad, terrones de polvo u otros contaminantes antes de pasar el polvo por la pistola, existen tamices rotativos y de vibración para este propósito.

Tamices rotativos están frecuentemente montados en la parte superior de las tolvas de alimentación y el polvo pasa a través de ellos desde el sistema de recuperación, el polvo es alimentado dentro del tamiz rotativo desde un acumulador, un motor alimenta el polvo dentro de un cilindro, corrientes de aire hacen que el polvo pase a través de una pantalla en el cilindro, materiales extraños pasan al final del cilindro y caen en un diminuto receptáculo.

El polvo de recuperación siempre debe ser tamizado para remover la suciedad del material, sistemas automáticos que trabajan sin tamiz recogen pelusa y otras suciedades que pueden impedir el flujo del polvo, causando defectos superficiales en el acabado y acumular la suciedad alrededor del electrodo, interfiriendo con la eficiencia de carga.

Desde que los sistemas manuales no usan tamiz para ayudar a romper el polvo y remover la suciedad, es una gran idea introducir el polvo a la tolva de alimentación a través de una pantalla, una malla de acero inoxidable de ferretería sirve para este objetivo, una pantalla montada en la parte superior de la tolva puede remover trozos de polvo que ocasionalmente vienen en las cajas y puede ayudar a romper terrones que pueden interferir con el flujo de polvo.

2.1.10 Suministro De Aire Comprimido

El aire usado para fluidificar la tolva de alimentación de polvo y proveer flujo para la pistola debe ser limpio y seco, aceite, humedad y oxido en el suministro de aire comprimido pueden contaminar el polvo y bloquear el flujo de aire a través de la membrana porosa y los reguladores.

Un compresor rotativo o reciprocante es suficiente para un sistema de recubrimiento en polvo, el compresor reciprocante es el más comúnmente usado pero el rotativo es menos costoso, más silencioso y más fácil de instalar, los separadores en los compresores rotativos atrapan el lubricante que es usado para sellar y refrigerar y deben ser limpiados regularmente para evitar que se introduzca en el sistema de aire.

Los recubrimientos en polvo requieren que el suministro de aire comprimido este a 38 °F por encima del punto de rocío o menor, con menos de 0,1 ppm de aceite y las partículas no deben ser mayores de 0,3 μm . Un sistema de suministro de aire comprimido para recubrimientos en polvo típico consta de:

- El Compresor
- Un enfriador
- Un separador
- Un recibidor
- Un pre-filtro eliminador de humedad
- Un secador de aire
- Un filtro final

Humedad o contaminación en el suministro de aire pueden generar defectos en el acabado, hacer más difícil el flujo de polvo, y dañar el equipo de espray.

2.1.11 Sistema De Carga

El polvo sin carga electrostática es simplemente polvo, que flotará y caerá sin un patrón definido, para aplicar el polvo sobre una superficie con un patrón uniforme, una carga debe ser conferida al material, las partículas de polvo son pasadas a través de un campo de electromagnético para adquirir una carga electrostática, el polvo cargado electrostáticamente es atraído al sustrato conectado a tierra.

La función de la pistola es dar forma y dirigir el flujo de polvo, ayuda a dar control a la forma y tamaño del patrón de rociado, hay gran variedad de pistolas disponibles, manuales y automáticas, con distintos métodos de suplir la carga, las dos formas más comunes son por corona de carga y por tribo de carga.

2.1.11.1 Coronas de carga

Los sistemas de corona de carga son los equipos de espray electrostáticos más usados, estos equipos usan una tensión eléctrica para suplir la carga a la partícula de polvo.

El polvo es bombeado desde la tolva de alimentación a través de una manguera hasta la pistola por el sistema de transporte, un electrodo de carga en la punta de la pistola es conectado a un generador de alto voltaje, el generador puede estar localizado dentro el panel de control y se conecta al electrodo por un cable de alto voltaje o puede estar localizado dentro de la pistola.

Multiplicadores de alto voltaje que están dentro de la pistola son conectados al panel por cable de bajo voltaje.

Cuando la pistola es disparada se creará un campo eléctrico agudo no uniforme entre la punta de la pistola y un objeto conectado a tierra cercano, las líneas del campo se desarrollaran entre la afilada punta de la pistola y la superficie de la pieza conectada a tierra.

Electrones libres o iones están siempre presente en el aire, sí estos iones libres pasan a través del campo eléctrico en la punta de la pistola, ellos comenzaran a moverse en las líneas de campo y se aceleraran por la fuerza del campo, como los electrones aceleran a lo largo de las líneas del campo magnético ellos chocaran con las moléculas de aire.

Cuando la combinación del voltaje aplicado y la geometría del electrodo crean un campo eléctrico en presencia de una corriente de aire, se genera una corona de descarga, el choque de iones libres con moléculas de aire será suficientemente fuerte para romperlos, formando dos iones negativos secundarios y uno positivo, el electrón secundario se acelerará en el campo eléctrico para repetir el proceso de rompimiento de moléculas de aire para formar más iones libres, el ion negativo resultante se acelerará a lo largo de las líneas del campo eléctrico hasta la pieza mientras que el ion positivo restante se dirigirá en sentido opuesto hacia la pistola. El espacio entre la pieza y la pistola se llenará de electrones libres e iones positivos.

La pieza conectada a tierra proveerá un cátodo para formar un campo electrostático entre ella y la pistola, como las partículas de polvo pasan a través de esta corona, ellas se cargaran, usualmente con iones negativos, y seguirán el campo eléctrico y la corriente de aire hasta la pieza conectada a tierra. Como la

corriente de aire lleva las partículas de polvo a unos pocos centímetros de la pieza, la atracción de Coulomb hala las partículas hacia la superficie de la pieza y produce la adherencia hasta que alguna otra fuerza interfiera o sea curada por introducción de calor o energía radiante.

La capacidad de adquirir una carga está principalmente afectada por la fuerza del campo, el tamaño y la forma de las partículas de polvo y el tiempo que la partícula pasa en el área de carga. La fuerza eléctrica empujará la partícula hacia la pieza, la resistencia del aire, la fuerza aerodinámica y la gravedad pueden sacar la partícula de la pieza, la corriente de aire transportará la partícula a la pieza pero si esta no está cargada o el campo no es suficientemente fuerte está se caerá de la pieza metálica. La polaridad del electrodo de carga puede ser tanto positiva como negativa, generalmente se prefiere una carga negativa.

Los factores que afectan la corona de carga son la distancia entre la pistola y el objetivo, la velocidad del polvo, la configuración del electrodo y la boquilla y una buena conexión a tierra de la pieza para que actúe como cátodo.

Las líneas del campo electrostático se desarrollan entre la pistola y la pieza y conectan a la pieza en ángulos rectos, estas líneas tienen mayor concentración en los puntos agudos de la pieza, produciendo una mayor deposición de polvo en los bordes de la superficie. Un gran número de iones libres están presente en el espacio entre la pistola y la pieza metálica, las partículas de polvo salen de la pistola y capturan algún ion en el área y se cargan, muchos de los iones permanecen libres, el polvo cargado y los iones libres viajan a lo largo de las líneas del campo hacia la pieza, esta combinación de partículas de polvo cargadas e iones libres tienen un potencial acumulativo que es a menudo llamado “Espacio de Carga”. En un sistema de corona de

carga, el campo eléctrico cercano a la pieza está compuesto por los campos creados por el electrodo de descarga de la pistola el espacio de carga, estos campos se combinan para proveer una deposición eficiente de polvo a la pieza.

Efecto de jaula de Faraday.

Superficies largas y planas proveen un excelente objetivo para el fuerte campo creado por el sistema de corona de carga, las mismas fuerzas que generan una excelente deposición en piezas largas y planas pueden causar un problema en piezas con una geometría más compleja, este fenómeno generado se conoce como efecto jaula de Faraday, llamado así por el científico Michael Faraday quien realizó gran cantidad de experimentos de electricidad estática. Las áreas de Faraday son esquinas internas y huecos que son resistentes a la deposición del polvo.

Las líneas electrostáticas de fuerza tienden a concentrarse en los bordes de los huecos, porque hay menos resistencia a las fuerzas eléctricas que las que hay dentro de los huecos, el polvo se adherirá rápidamente en los bordes, siguiendo las líneas del campo, y mucho menos polvo caerá en los huecos.

Como el polvo prefiere adherirse a los bordes agudos y los puntos donde se destaca la tierra eléctrica, se creará una imagen del campo en la superficie de la pieza y comienza a volverse limitante, adicionalmente, la superficie conductora de la pieza protege las esquinas internas del campo electrostático producido por la pistola, también, el aire cargo de polvo tiende a formar remolinos dentro del área de la jaula de Faraday, removiendo el polvo. Esta combinación de fuerzas hacen el recubrimiento de huecos uno de los retos más difícil de afrontar en el proceso de recubrimiento en polvo, la única fuerza que contribuye a la deposición dentro de los huecos es el campo creado por el

espacio de carga de las partículas de polvo transportadas por la corriente de aire dentro de los huecos.

Desde que las líneas de campo del electrodo de descarga sigan el camino de menor resistencia a los bordes del hueco, habrá un rápido desarrollo de la fuerza del campo en esa área, esto generará algunos iones positivos, que reducirán la fuerza de la carga de las partículas que pasen por el borde para entrar al agujero, cuando esto pasa el espacio de carga acumulado de partículas que pasan por el borde del área de Faraday no será suficiente para ser atraído por la pieza metálica, este problema está directamente relacionado con la formación de iones en la superficie de la pieza.

El problema con la penetración de esquinas internas es mucho más difícil cuando las piezas tienen una pobre conexión a tierra, muchas veces no se chequea la conexión a tierra regularmente, el chequeo de la conexión a tierra de ser rutina en las operaciones diarias de un sistema de recubrimiento electrostático.

La mayoría de las pistolas de corona proveen una carga negativa, las partículas de polvo entran a la pistola en condición neutral y los iones libres presentes en el campo de la corona entregan electrones adicionales a las partículas de polvo, siguiendo la naturaleza de la materia, las partículas son atraídas a tierra para descargar los electrones y recuperar su estado neutral, esta es la razón por la cual se produce la adherencia del polvo a la pieza de trabajo.

Las fases en la secuencia de carga de una pistola de corona de carga negativa son:

- El alto voltaje es suministrado al electrodo en la punta de la pistola.
- La tensión concentrada crea un campo eléctrico.

- El campo eléctrico produce la ionización del aire.
- El aire ionizado genera una corona.
- La corona emite electrones.
- Los electrones son recogidos en las moléculas de oxígeno para formar el ion negativo.
- Estos iones se desplazan por las líneas del campo generado por el voltaje de descarga.
- Las partículas de polvo distorsionan el campo alrededor de ellas.
- Las líneas del campo distorsionadas dirigen los iones a las partículas de polvo.
- Como los iones colisionan con las partículas de polvo los electrones son transferidos, proveyendo una carga negativa a las partículas.

El éxito del proceso depende de muchas variables, la carga está principalmente afectada por la fuerza del campo, el tamaño y la forma de la partícula, y el tiempo que la partícula pasa en el área de carga. Una partícula de polvo tiene muy poca masa, algunas de ellas no se cargan y son influenciadas por el flujo de aire y otras fuerzas, pero muchas de las partículas se cargarán y buscaran tierra. Para una transferencia eficiente, es esencial que el objetivo este lo mejor conectado a tierra que sea posible en el área de descarga.

La mayoría del material en polvo son fuertes dieléctricos, una vez cargados no perderán la carga rápidamente. Como las partículas de polvo alcanzan una superficie conectada a tierra, ellas inducen una carga de igual valor y polaridad opuesta en el interior del metal, los electrones dentro del metal desalojaran el área, dejando una carga positiva que atrae las cargas negativas de las partículas de polvo, esta carga en el metal es comúnmente llamada “Carga Espejo”. Las cargas opuestas se atraen entre si y mantiene las

partículas de polvo adheridas a la superficie metálica, ellas también generan otro campo eléctrico entre ellas, una partícula de polvo grande con una mayor carga contribuye a una campo eléctrico más fuerte entre el mismo y la superficie de la pieza.

Las partículas de polvo grandes generan usualmente una mayor carga que las partícula más pequeñas, como ellas se adhieren a la superficie del metal pueden crear una resistencia a la deposición de partículas más pequeñas con carga más débil. Esto es uno de los factores que contribuyen a “La Piel de Naranja”, la fina textura lucirá como una gruesa película de polvo después del curado. Esto será particularmente aparente sí el polvo no permanece en el ciclo de flujo lo suficiente para ayudar a nivelar la película.

Ionización Contraria

A medida que el polvo es aplicado a la superficie del metal, la fuerza del campo eléctrico dentro del material se incrementa, como el número de partículas cargadas se incrementa en la superficie, la carga negativa en la película de polvo y la carga positiva “Carga Espejo” dentro del material se incrementan, provocando un incremento de la fuerza del campo eléctrico en la capa del recubrimiento en polvo. Como la aplicación del polvo no se detiene, la fuerza del campo eléctrico puede llegar al punto donde el polvo atrapado entre las partículas de polvo comience a ionizarse. Esto puede causar un efecto similar al campo de la corona en la punta de la pistola, los electrones desviados comienzan a acelerarse en el campo eléctrico y a romper moléculas de aire, generando un gran número de electrones negativos e iones positivos. Los electrones negativos tenderán a ser atraídos por la tierra, mientras que los iones positivos trataran de abrirse camino por la película de polvo, hacia el electrodo negativo en la punta de la pistola.

La intensidad del campo eléctrico en la superficie de la pieza crea pequeñas chispas que aparecerán de repente en la capa de polvo, este fenómeno es comúnmente llamado “Ionización Contraria”. Esta fuerza repulsiva forma micro cráteres en la superficie de polvo, comúnmente llamados “Estrellas”. También, como los iones positivos viajan a lo largo de las líneas de fuerza hacia el electrodo de la pistola, colisionan con las partículas de polvo cargadas negativamente, neutralizándolas, contribuyendo a las características limitantes de la aplicación electrostática y reduciendo la transferencia eficiente.

A medida que el polvo continúa depositándose en la superficie, la fuerza del campo eléctrico dentro de la capa de recubrimiento en polvo eventualmente se volverá suficientemente fuerte como para ionizar el aire atrapado entre las partículas de polvo. Cuando el aire comienza a ionizarse creará la misma atmósfera que la corona de descarga de la punta de la pistola, acelerando electrones desviados en el campo eléctrico, rompiendo moléculas de aire, y creando iones positivos y negativos adicionales, porque los polos opuestos se atraen, los iones negativos se desplazarán rápidamente a la relativa carga positiva de la superficie de la pieza y el ion positivo comenzará a salir de la capa de polvo hacia el electrodo negativo de la pistola. Este intenso flujo de iones dentro de la capa de polvo producirá serpentinillas en el recubrimiento fresco. Estas serpentinillas son como pequeños rayos disparados a través del recubrimiento, estas serpentinillas sacan iones positivos de las capas de polvo, causando interrupciones en la superficie y neutralizando negativamente las partículas cargadas, esta intensa interrupción en la superficie de recubrimiento es llamada “Ionización Contraria”.

La fuerza asociada con la ionización contraria puede reducir la eficiencia de la transferencia drásticamente, contribuyendo a la piel de naranja, y creando “estrellas”, pequeños cráteres en la superficie del recubrimiento.

Un gran número de iones libres están presentes en el aire entre la pistola y la pieza, antes que el polvo empiece a ser esparcirse en la superficie hay una baja resistencia a la conductividad eléctrica y el camino a tierra no presenta obstrucciones, a medida que el polvo comienza a adherirse y aislar la superficie se creará una resistencia a tierra, los electrones libres viajarán a lo largo de las líneas del campo y a medida que ellos lleguen a la superficie contribuirán a la rápida ionización contraria con aplicación en las áreas de jaulas de faraday.

Envoltura Electroestática

A medida que el polvo llega a la pieza a través de las líneas del campo, una porción del material será atraído a la parte posterior de la pieza por la fuerza que es comúnmente llamada como envoltura electrostática.

La envoltura en una situación particular dependerá de la eficiencia de carga y de las características del flujo de aire tanto de la cabina como del equipo de transporte. El flujo de aire de la cabina no debe ser tan fuerte que interfiera con la deposición electrostática y las pistolas de aire no deben tener suficiente velocidad para soplar el polvo más allá de la pieza.

Voltaje

El alto voltaje puede ser suministrado por una fuente externa a través de un cable de alto voltaje o incrementarse dentro de la pistola por un multiplicador.

Pistola de Carga Externa

Con una pistola de carga externa, una carga electrostática de 30 - 100 kV es generada por pila localizada en el panel de control y transportado por un cable de alta tensión al electrodo de la punta de la pistola, la carga electrostática en el electrodo es usualmente negativa y puede ser regulada por la fuente de energía electrostática.

El nivel de carga electrostática utilizada depende de la forma de la pieza y del polvo a esparcir, generalmente, las superficies que no tienen demasiadas áreas de Faraday (huecos y esquinas internas) deberían ser recubiertas con el máximo voltaje y el mínimo flujo de aire posible. Las áreas de Faraday usualmente se recubren más exitosamente con bajo voltaje, un voltaje más bajo reduce la tendencia de repulsión de las partículas de polvo en las esquinas internas.

Todos los polvos no tiene el mismo comportamiento cuando son expuestos a cargas electrostática, por ejemplo, un típico poliéster o un híbrido poliéster/epóxico se cargará mejor que un epóxico, por lo tanto, puede ser necesario reducir el voltaje o la rata de flujo de aire para controlar la formación de la película o reducir la ionización contraria con algunos polvos. El tamaño de la partícula y la distribución del rango de partículas también afectarán el grosor de la película de polvo.

La posición de la pistola, el tiempo de aspersión de polvo, el nivel de carga electrostática y la velocidad y el volumen del polvo pueden controlar el grosor de la película.

Fuente de Energía Integrada.

Con este tipo de pistola el voltaje es generado dentro de la misma, un bajo voltaje es suministrado a la pistola desde un generador de Corriente Directa en el panel de control a través de un cable de bajo voltaje a un oscilador, la señal del oscilador es incrementada por un transformador de alto voltaje a aproximadamente 10 kV. Esta señal es aumentada a un rango de 80 a 100 kV por un multiplicador de cascada en el interior de la pistola, un resistor de bloqueo en la pistola evita descargas de la energía almacenada en una sola sobrecarga para proveer una segura operación y evitar defectos en la superficie.

Electrodo Contador

Una pistola de corona genera líneas de fuerza que se extienden desde el electrodo de carga a la pieza, las líneas de fuerza influenciaron el camino del polvo y la deposición resultante, las líneas de fuerza tienden a conectar a la pieza en puntos que son más fácil para el voltaje, en piezas con geometría irregular, las líneas de fuerza se concentraran en las superficies más prominentes y evitaran pequeños huecos y esquinas internas, el efecto jaula de faraday.

Las pistolas de corona pueden ser ajustadas para vencer las áreas de jaulas de faraday pero ese no es el problema más frecuente que presentan los equipos de recubrimiento en polvo.

Una opción en tecnología de aplicación electrostática que ayuda a reducir el impacto de las áreas de faraday es un electrodo contador, este tipo de pistola tienen un electrodo ionizador y un electrodo contador, la mayoría de los iones producidos por el electrodo ionizador son arrastrados al electrodo contador, direccionando las líneas de fuerza fuera de la pieza, sin concentración

de líneas de fuerza conectadas a la pieza, la habilidad para penetrar dentro de esquinas internas mejora.

El electrodo contador puede producir una película consistente y una buena penetración sin exceso de espesor en formas complejas. El voltaje para estas pistolas es colocado en 35 a 40 kV y la corriente usada es 80 μ A. Las tasas de flujo son generalmente bajas para asegurar una buena carga, dado la relativa corta exposición al campo de la corona, como resultado, la pistola con electrodo contador está hecha para aplicación de bajo volumen donde hay una necesidad de penetrar un área de Faraday mientras se controla el grosor de la película. Grandes áreas de superficie requerirán más pistolas de electrodo contador que las de carga con corona estándar diseñadas para mayor descarga.

Es esencial que el electrodo de carga se mantenga limpio en todas las pistolas para asegurar que el campo este efectivamente cargando el polvo, en las pistolas de electrodo contador es importante mantener ambos electrodos limpios.

2.1.11.2 Tribo de Carga

Otro equipo que puede ayudar a lidiar con el efecto de jaula de faraday es la pistola de de carga por tribo. En una pistola de carga por tribo, las partículas de polvo son cargadas por contacto (fricción) con el material dentro del cuerpo de la pistola, el polvo y el aire mezclados entran a la pistola y pasan a través de una sección tubular que está hecha de un material que es conocido por ser un buen receptor de electrones, como el teflón, a medida que las partículas de polvo colisionan con las paredes del tubo, ellas recogen una carga positiva al ceder electrones al tubo, provocando que el tubo se cargue

negativamente, la carga negativa luego es pasada de la pistola a tierra a través de un cable.

El material en polvo debe ser un buen donador de electrones, como son el nilón o el epóxico. No todos los materiales en polvo pueden utilizados efectivamente en una pistola de carga por tribo, además de la química del material, pistolas de tribo son más sensibles al tamaño de las partículas que las pistolas de corona, generalmente, partículas más grandes son más efectivas en una pistola de tribo. Los suplidores de material en polvo pueden trabajar con el aplicador para asegurar que el material sea adecuado para la aplicación por tribo.

Un sistema de tribo puede asistir en la penetración de áreas de faraday porque la carga positiva es generada por fricción y no tiene las líneas de campo que están presente en la corona de carga, sin descarga de alto voltaje, como el usado con la corona de carga, no hay generación de iones libres en la superficie que interfieran en la deposición del recubrimiento en polvo.

Como el tribo no genera una alta ionización en la superficie de la pieza es muy útil para operaciones de recubrimiento en blanco, la carga por corona en operaciones usando una correa para transportar laminas de acero en blanco generaran un gran campo eléctrico ionizado en la correa y producirá distorsión del proceso por la ionización contraria.

Otra ventaja del uso de pistola de tribo es la habilidad de volver a recubrir piezas sin ionización contraria, como la superficie no recibe un gran número de iones libres, no es tan difícil que se adhiera una segunda capa de recubrimiento, de nuevo, como no hay ionización contraria, el recubrimiento puede cubrir sin la interferencia de fuerzas de un sistema de carga.

El método de carga por tribo puede ayudar a conseguir una cobertura uniforme y una película lisa sobre una superficie con ángulos, en aplicaciones donde se requiere una penetración muy profunda, la pistola de tribo puede proveer una buena cobertura sin formación excesiva de película en los filos exteriores.

Un factor limitante es el material en polvo, los materiales deben ser compatibles con la carga por fricción, algunos materiales pueden que no funcionen en una pistola de carga por tribo, un alto contenido de impurezas en el polvo pueden causar problemas en la aplicación, el punto de rocío del aire comprimido suministrado debe ser reducido alrededor de 200 °F.

2.2 Reseña Sobre Pastillas De Freno

Las pastillas de freno son una parte importante del sistema de frenos para todos los tipos de vehículos que están equipados con frenos de disco. Las pastillas de freno tienen como base una placa de metal y pegado a esta, un material de fricción con el cual se tiene el contacto con el disco de freno.

La pastilla de freno convierte la energía cinética que lleva el automóvil en energía térmica debido a la fricción. El caliper o mordazas contienen dos pastillas las cuales están dispuestas con el material de fricción en contacto con el disco de freno por ambas caras de éste. Cuando los frenos son aplicados, el caliper acciona las dos pastillas de freno ejerciendo presión sobre los discos y así reduciendo la velocidad de giro del disco y por ende la velocidad de automóvil, cuando la pastilla se calienta por el contacto con el disco, ésta comienza a desprender pequeñas cantidades de material de fricción al disco y al ambiente es por esto que se prohíbe que estas pastillas estén fabricadas con amianto dadas sus propiedades cancerígenas.

En la actualidad la mayoría de los fabricantes de fricción emplea en mayor o menor medida la base que a continuación se ofrece con los siguientes porcentajes: 27% Cargas minerales, 10% Fibras, 20% Ligantes orgánicos, 15% Metales, 20% Lubricantes, 8% Abrasivos.

2.2.1 Las fibras

Las fibras son los elementos encargados de aglutinar y ligar el resto de los elementos. Es decir, las fibras son el “armazón” de las pastillas de freno, a través de sus múltiples ramificaciones van uniendo el resto de los elementos. Existen dos tipos principales de fibras las sintéticas y las minerales. Las más usuales en el campo de la fricción son: fibras de vidrio, fibras de aramida y la lana de roca.

2.2.2 Las cargas minerales

Las cargas minerales son las encargadas de dar consistencia mecánica al conjunto, es decir, le aportan resistencia a la abrasión y resistencia a cortadura. Están encargadas también, de aportar resistencia a las altas temperaturas. Las más usuales son: barita, magnesita, talco, mica, carbonato y feldespato.

2.2.3 Componentes metálicos

Se añaden en forma de polvo o viruta para conseguir homogeneizar el coeficiente de fricción así como la transferencia de calor de la pastilla al caliper. Los más usuales son, latón, cobre, bronce entre otros. No obstante una gran parte de los componentes metálicos usados en los materiales de fricción, tienen efectos nocivos sobre la salud por lo que se recomienda seguir estrictamente la legislación referente a los productos que contengan tales metales pesados.

2.2.4 Los lubricantes o modificadores de coeficiente

Son los encargados de hacer variar el coeficiente de fricción normalmente a la baja, dependiendo del rango de temperatura de funcionamiento. Son empleados en forma de polvo suelen ser grafitos, coque, sulfuros y antracitas.

2.2.5 Los materiales orgánicos

Son los encargados de aglomerar el resto de los materiales. Cuando alcanzan una determinada temperatura fluyen y ligan el resto de componentes, hasta que se polimerizan. Las más importantes son las resinas fenólicas termoendurecibles, aunque también son empleados diferentes tipos de cauchos, ceras y aceites.

2.2.6 Los abrasivos

Cumplen principalmente la misión de incrementar el coeficiente de fricción y también renuevan y limpian la superficie del disco permitiendo la formación de la capa intermedia o también conocida como tercera capa.

La fabricación de material de fricción es un proceso bastante estandarizado. Las variables del proceso son las que cada fabricante define en función del tipo de materiales que emplea, es decir, de la composición que defina. A grandes rasgos los pasos fundamentales que se deben de seguir a la hora de fabricar son:

2.2.7 Procesos para la fabricación de la pastilla

El proceso de mezclado

Es uno de los principales pasos dentro del proceso de fabricación, ya que su misión es la de mezclar todos los componentes de forma homogénea. Para conseguir una buena homogeneización de la mezcla, el mezclador está provisto de un eje central que hace girar los componentes en forma de ochos y en otro eje dos cuchillas batidoras que son las que van homogeneizando la mezcla. En este proceso, uno de los factores críticos es el tiempo que los diferentes materiales pasen en el mezclador, ya que este periodo debe estar definido dependiendo del tipo de fibras que se vayan a mezclar.

Cada fibra tiene un tiempo de apertura, es decir, un periodo en el cual su longitud es la mayor posible, a partir de ahí lo que sucede es que las fibras se van acortando con lo cual no realizaran la función anteriormente descrita.

Prensado en caliente

La misión del prensado en caliente es la de aglutinar los diferentes componentes. Por una parte, con la presión que se realiza se consiguen una reducción del volumen, pero a su vez con la temperatura lo que se hace es fundir las resinas para que estas fluyan por todo el material ligando los diferentes elementos. Este proceso lleva asociado unos ciclos de prensado, es decir, que la prensa actuará sobre las pastillas durante un determinado tiempo, para a continuación permitir la salida de los gases. En esta etapa es en la que los soportes son pegados al material de fricción. Esto se produce por dos motivos principales, uno de ellos es que el soporte lleva impregnado una resina que consigue la adhesión del material y por otro lado, existen unos huecos pasantes en los soportes cuya función es la de alojar el material de fricción que fluye

para conseguir una completa fijación del material de fricción al soporte. El tiempo típico de prensado varía de diez a doce minutos según la fórmula empleada para permitir el curado en prensa de las resinas.

Curado

El proceso de curado se realiza en hornos, su misión principal es la completa polimerización de las resinas, para conseguir una perfecta compactación del material además de ir perdiendo el contenido todavía existente de volátiles. Este proceso también es función del tiempo y de la temperatura que se va alcanzando en las diferentes etapas. Esto significa que las pastillas van sufriendo un ciclo de diferentes temperaturas, en las cuales van pasando durante un periodo determinado.

Escorchado

En esta última fase, el material de fricción se sube a temperaturas de 500°C o superiores bajo la acción de una placa caliente o bajo el efecto de una llama. En este último proceso se elimina una gran parte de materiales orgánicos aún existentes, el polímero (resina) se grafitiza y la pastilla de freno adquiere sus características definitivas.

Este es un proceso caro y delicado por lo que muy pocos fabricantes lo incorporan a sus procesos de fabricación.

Operaciones de mecanizado

En esta etapa las pastillas sufren diferente proceso de mecanización para adaptarlas a las características dimensionales requeridas por cada aplicación. Es decir, por un lado se rectifican para conseguir el espesor de material de fricción

necesario. Otro de los procesos que pueden sufrir es la realización de catas o ranuras, al igual que los chaflanes.

Recubrimiento

En esta etapa la pastilla se recubre de pintura para darle un acabado final, no solo estético sino también para darle una capa protectora contra el oxido.

Puesta de accesorios

Durante esta etapa se le añaden a las pastillas todos los elementos complementarios tales como los muelles, resortes y avisadores.

Marcado y estuchado

Las pastillas están finalizadas solo queda marcarlas y estucharlas para poderlas servir a los diferentes clientes.

2.2.8 Componentes generales de las pastillas de freno

Underlayer (subcapa): El underlayer es una capa de material cuya función es la de fijar el material de fricción en el soporte además de reducir la temperatura que llega al caliper. Esta capa de material tiene su propia formulación, ya que no tiene los requerimientos que del material de fricción se esperan sino que sus funciones son las de unir la capa de material de fricción al soporte además de variar la conductividad térmica del material de fricción para que el calor no pase a través de ella y no se caliente el líquido de frenos en el caso de materiales de fricción con una alta conductividad térmica.

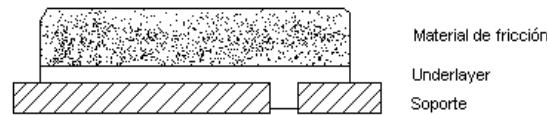


Gráfico 8 – Corte de pastilla

En definitiva, es un elemento añadido que puede implicar riesgos adicionales por lo que si puede ser evitado en el proceso, es conveniente evitar el tener que usar este elemento.

El soporte: El soporte es el elemento metálico cuya función es la de mantener el material de fricción en el porta pastillas de las pinzas. La característica principal es que debe de ser lo más plano posible para evitar que durante en proceso de prensado en caliente y posterior curado de las pastillas surjan fisuras entre el soporte y el material de fricción. Los soportes se fabrican por estampación a partir de un una chapa de hierro del espesor requerido.

Dependiendo de la complejidad del soporte se fabrican en varios pasos, aunque es uno de los procesos más automatizados de la fabricación de las pastillas. Los soportes son pintados con un barniz de alta resistencia para prevenir la corrosión con el paso del tiempo. La impregnación del soporte metálico con una resina de gran adherencia es una fase crítica del proceso de fabricación, ya que se debe de garantizar una correcta adherencia del material de fricción al soporte.

Anti-ruídos: Las láminas anti-ruido son accesorios cuya función principal es la de absorber las vibraciones que se producen en el contacto entre la pastilla y el disco, evitando la aparición de ruido. Existen diferentes materiales, como son láminas de fibra de vidrio y láminas metálicas, cada

aplicación lleva definida un tipo de lámina diferente dependiendo del tipo de vehículo en el cual va montada la pastilla. La forma de fijarlas al soporte suele variar dependiendo del tipo de material de la lámina anti-ruido. Existen láminas que van pegadas por medio de una resina fenólica las cuales tienen que ser comprimidas contra el soporte sometido el conjunto a una temperatura de unos 150°C. Otras láminas van remachadas a los agujeros del soporte. Existe otra posibilidad de que la lámina vaya fijada al soporte por medio de patillas y embutida en dos agujeros del soporte, para impedir su movimiento. Dichas láminas permiten aumentar la compresibilidad de la pastilla de freno en frío con el consiguiente efecto positivo sobre los chirridos sin aumentar sensiblemente la compresibilidad de la pastilla de freno en caliente que pudiera dar lugar a carreras del pedal excesivas.

2.3 Sistema de Transporte

2.3.1 Correas de transporte de malla metálica

Las correas de malla metálica pueden ser transportadas tanto por sistemas de ruedas dentadas como por sistemas de poleas.

Configuración de transporte por ruedas dentadas

Los sistemas de transporte por ruedas dentadas proveen un desplazamiento positivo de la correa que previene deslizamientos entre la correa y la rueda lo cual produce una menor pérdida de potencia, los dientes de la rueda también ayudan a mantener la correa alineada. Comparado con el sistema de transporte por poleas, el sistema de ruedas dentadas tiende a ser de menor costo y más fácil mantenimiento.

Los sistemas de transporte por ruedas dentadas usan una disposición muy simple donde la correa se envuelve alrededor de la rueda dentada con un ángulo medido desde el centro comprendido entre 135° a los 180° , La cantidad de correa envuelta afectará la vida de las ruedas dentadas. Con una mayor cantidad de correa envuelta, mayor será el número de dientes que engranaran la correa y se distribuirá la tensión entre ellos, sin embargo, si la correa es envuelta alrededor de la rueda más de 150° ésta se puede atascar, por lo tanto será necesario el uso de otra rueda para liberar la correa, de cualquier modo, incluso con rueda para soltar la correa, no se debe incrementar la envoltura de ésta más allá de 180° .

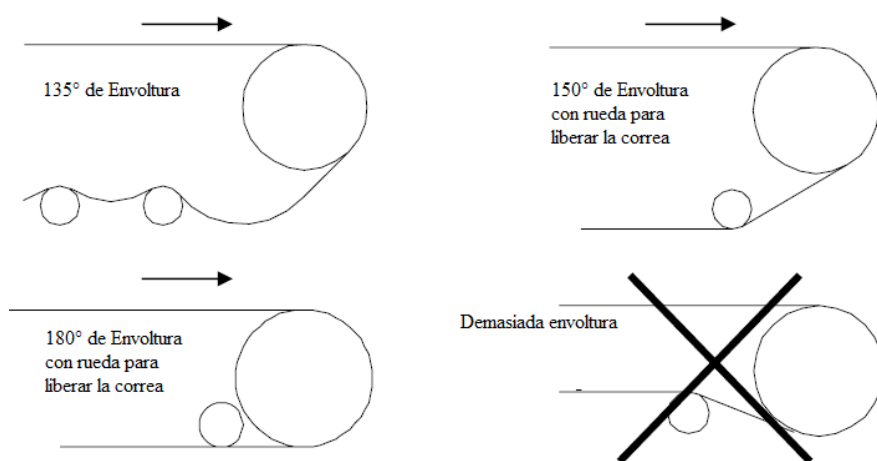


Gráfico 9 – Rango de envoltura

2.3.1.1 Transporte por poleas:

El sistema de transporte por polea provee un desplazamiento por fricción que eventualmente distribuye la tensión a lo ancho de toda la correa y la correa no está sujeta a una vara de desgaste como en el sistema de transporte

por rueda dentada. Los sistemas de polea pueden generalmente manejar mayores cargas que los de ruedas dentadas, sin embargo, los sistemas de polea pueden tener problemas con la alineación de la correa, por tanto, la alineación precisa la correa es aun más importante en sistemas por fricción que en sistemas por ruedas dentadas.

Como la potencia es transferida por fricción, es importante maximizar el contacto entre la polea y la correa, existen tres formas de hacerlo. La primera, usando una polea tan grande como sea posible. La segunda, proveyendo tanta envoltura de la correa sobre la polea como sea posible, y finalmente, incrementando el coeficiente de fricción entre la polea y la correa revistiendo la polea. También es necesario usar siempre poleas planas.

2.3.1.2 Dispositivos de Tensión del Sistema de transporte:

Para obtener la mayor vida posible de la correa de transporte, la tensión en el sistema debe ser mínima, cuando el sistema no está funcionando, la correa no debe estar bajo tensión, y cuando el sistema está en movimiento, la tensión en la correa debe ser solo la suficiente para mover la correa a carga completa. Con el tiempo, esta tensión estirará la correa. Los cambios de temperatura también provocaran que la correa se estire y contraiga. Un dispositivo de tensión debe estar diseñado para manejar las fluctuaciones en la longitud de la correa. A continuación de presentan unas posibles alternativas para el montaje del sistema:

Ajuste paralelo: cuando se diseña un sistema de montaje, se debe estar seguro que ambos lados del transportador estén ajustados regularmente y permanezcan

paralelos. Un montaje que no permanezca paralelo producirá un pobre arrastre de la correa y reducirá significativamente la vida de la misma.

Tensor Catenario: para sistemas de transporte cortos y sin muchas fluctuaciones en la longitud de la correa, este es el más sencillo y el más efectivo en cuanto a costo sistema de montaje. El excedente de correa simplemente se deja caer después de la rueda de potencia y a lo largo de todo el retorno del sistema de transporte.



Gráfico 10 – Tensor catenario

Tensor de ajuste manual: para sistemas de transporte más largos, o aquellos en que la temperatura puede causar en la correa expansiones y contracciones, un tensor de ajuste manual es el menos costoso y el más ampliamente usado. Desafortunadamente, es también el menos efectivo. La localización del eje de retorno o la polea es ajustada hacia adelante o hacia atrás para alargar o acortar la correa. Los problemas ocurren cuando el eje de retorno no es ajustado regularmente y deja de estar paralelo al eje de potencia produciendo problemas de arrastre, o si el eje de retorno es movido muy lejos, poniendo la correa bajo tensión.



Gráfico 11 – Tensor de ajuste manual

Contrapesos: estos sistemas usan la gravedad para automáticamente ajustar la longitud de la correa dependiendo de las condiciones. Un contrapeso se puede agarrar tanto del eje de retorno, de la polea de retorno o de un rodillo secundario. Cuando diseñamos un sistema de contrapeso, la fricción debe ser mínima y el contrapeso debe moverse a ambos lados del montaje regularmente. Debe tenerse cuidado para asegurarse que el montaje no tense la correa, si hay espacio disponible este es el montaje más recomendado.

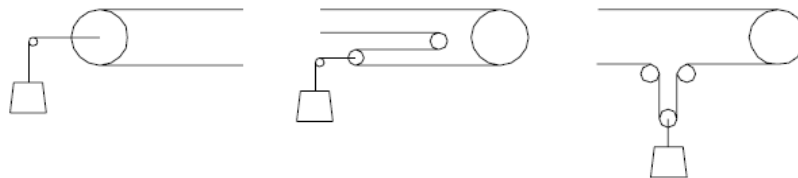


Gráfico 12 – Tensor por contrapeso

Tensor mecánico: un cilindro actuado neumática o hidráulicamente también puede ser usado para proveer un sistema de tensión automático. El diseño para este tipo podría ser similar a los sistemas de contrapeso, reemplazando la gravedad con la fuerza mecánica de un cilindro. Los beneficios de un sistema mecánico son que es más fácil de ajustar que el sistema de contrapeso y no requiere espacio vertical. Debe tenerse cuidado para asegurar que la correa no se tense.

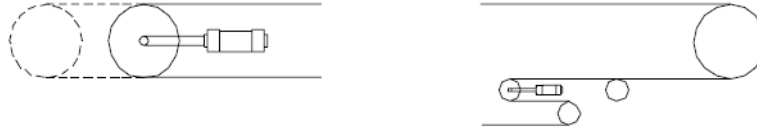


Gráfico 13 – Tensor Mecánico

2.3.1.3 Soportes de banda o correa metálica:

La vida de la correa puede ser significativamente afectada por el soporte debajo de ésta, en general, mientras más soporte se le brinde a la correa y menos fricción entre soporte y correa, mayor será la duración de la correa. Los soportes deben ser diseñados para aguantar la correa y el producto a ser transportado. Si los soportes son usados intermitentemente, como soportes de rodillos, ellos deben estar espaciados para minimizar la cantidad de combadura.

Cualquier sistema debe soportar completamente la correa de lado a lado, y debe estar nivelado. Los soportes pueden ser pulidos o lubricados con otro material para reducir la fricción. UHMW polietileno es un material efectivo para reducir la fricción entre la correa y el soporte, aunque no puede ser usado cuando la temperatura esta sobre los 180°F.

Todos los soportes deben ser lisos y sin ninguna esquina filosa para prevenir inconvenientes con la correa. Los soportes cerrados deben proveer un espacio entre el límite de la correa y el borde del mismo para prevenir arrastre, se recomienda aproximadamente de ½” a 2” (12,7 mm a 50,8 mm) de

separación entre el borde y la correa, dependiendo de la longitud y el ancho de la correa.

En aplicaciones donde se presentan altas velocidades o grandes cargas, el desgaste entre la correa y la superficie del soporte puede ser un problema. Para reducir este desgaste, la superficie final del soporte debe ser suave y si es posible lubricada. Si el desgaste es una preocupación, se debe tener especial cuidado de usar materiales distintos, los materiales idénticos pueden tener un mayor coeficiente de fricción que dos materiales diferentes.

Soportes de rodillos:

Los soportes de rodillo, cuando están apropiadamente espaciados, son los más efectivos. Los soportes de rodillos minimizan la cantidad de fricción entre la correa y los rodillos, produciendo menos tensión. Los soportes con rodamientos de bola producirán menos fricción que los cojinetes deslizantes. Los rodillos deben ser refrentados y no de corona. Los rodillos en el área de carga deben ser ajustables verticalmente para permitir la nivelación de la correa. En el área de retorno, los rodillos cercanos al final de la correa deben ser ajustables horizontalmente. Todos los rodillos deben estar nivelados, paralelos unos a otros y perpendiculares al sentido de transporte.

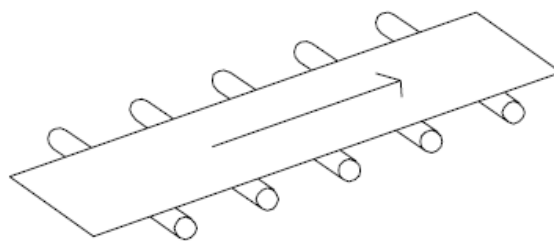


Gráfico 14 – Soporte por rodillos. Tomado de *Flat wire conveyor belt*, Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 6

Espaciado entre rodillos: en el área de carga, los rodillos deben estar espaciados lo suficientemente cercanos para soportar la correa y las piezas a transportar con poca o sin combadura de la correa.

El espaciado en el área de retorno no es crítica, pero se recomienda que los rodillos no tengan una separación mayor de 3 a 4 pies (0,91 m a 1,22 m).

Soporte de Espiga:

Un diseño de espiga es la segunda mejor opción para soporte de correa después de los rodillos. La espiga soportará regularmente la correa a lo largo de todo el ancho de la misma mientras que permite el paso de aire o líquido a través del soporte. El soporte de espiga debe estar espaciado entre 6" y 15" (152,4 mm y 381,0 mm), dependiendo de la carga. Generalmente, vigas de cara de 2" (50,8 mm) funcionan bien, sin embargo otros materiales pueden ser necesarios para aplicaciones específicas. En general, se selecciona el material que menor coeficiente de fricción presenta.

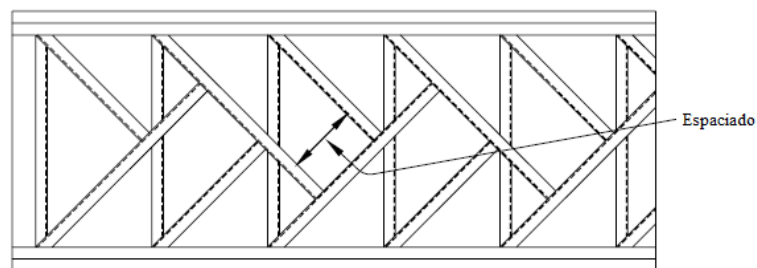


Gráfico 15 – Soporte de espiga. Tomado de *Flat wire conveyor belt*, Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 7

Soporte Longitudinal:

Los soportes longitudinales proveen una solución económica a los soportes de correa transportadora, y permiten el paso de aire y líquido a través del soporte. La principal desventaja para soporte longitudinal con respecto a soporte de espiga es la tendencia a producir surcos en la correa, porque la correa es soportada intermitentemente a lo ancho de la correa, el desgaste será mayor en aquellos puntos donde hay contacto entre la correa y el soporte. Para reducir este efecto, los soportes deben estar escalonados. Los soportes deben estar paralelos a la dirección de transporte de la correa y espaciados entre 6” y 15” (152,4 mm y 381,0 mm). Es importante asegurar que los soportes estén apropiadamente alineados para prevenir que la correa se corra de un lado al otro.

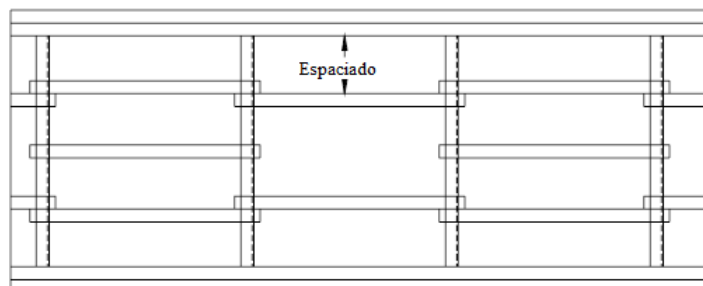


Gráfico 16 – Soporte longitudinal. Tomado de *Flat wire conveyor belt*, Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 6

Soporte Sólido:

Si el flujo libre de aire o líquido a través del soporte no es importante, un soporte sólido es el método más económico, sin embargo, debido a la fricción entre la correa y el soporte, este método producirá la mayor tensión en la correa y reducirá la vida de la misma.



Gráfico 17 – Soporte solido. Tomado de *Flat wire conveyor belt*, Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 6

2.3.1.4 Alineación y arrastre de la banda transportadora:

La mayoría de los problemas de los sistemas de transporte por correa están relacionados con la alineación, es extremadamente importante tener una alineación apropiada en el sistema de transporte. Una alineación inapropiada producirá un desgaste excesivo y daños en los bordes de la correa. Sistemas desalineados pueden también producir un desgaste prematuro en las ruedas dentadas y daños a las piezas a transportar.

Si una buena alineación no está completa antes de iniciar el uso del sistema de transporte, el ajuste longitudinal puede estar permanentemente distorsionado produciendo un arrastre lateral de la correa. Un manejo inapropiado de la correa antes y durante la instalación puede producir daños a la correa así como problemas con la alineación de la misma. Una apropiada alineación del sistema de transporte, junto con inspecciones periódicas alargará la vida de la correa.

Una regla es que la correa siempre se moverá hacia el lado del transportador que tenga el primer contacto.

Si la correa está soportada sobre rodillos y uno de ellos está inclinado, la correa se moverá hacia el lado que esté inclinado.

Si el armazón del sistema de transporte no está nivelado, la correa se moverá hacia el lado más alto.

Si hay una acumulación de material entre la correa y un lado del soporte, la correa se desviará hacia ese lado.

Una segunda regla es que la correa se moverá en dirección perpendicular al rodillo que pase. Se recomienda que la relación entre el largo y el ancho de la correa no sea menor de 5:1 para evitar problemas de desviación.

Alineación del Sistema:

Alinear el eje motriz y el eje de retorno para que estén nivelados, perpendiculares a la dirección de desplazamiento de la correa, y paralelos entre ellos. Verificar el paralelismo de los ejes comparando la distancia entre los centros de los ejes en una línea recta y entre las diagonales. La línea recta de la izquierda debe ser igual a la línea recta de la derecha, así como la distancia diagonal de izquierda a derecha y de derecha a izquierda.

Después de esto los ejes habrán sido alineados, estos deben ser fijados y mantenidos en el lugar.

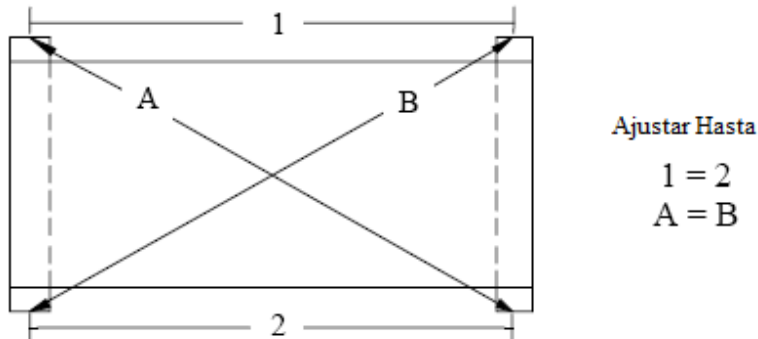


Gráfico 18 – Alineación de rodillos. Tomado de *Flat wire conveyor belt*, Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 7

Después ajustar el soporte o los rodillos para que estén nivelados y paralelos a los ejes. Esto debe hacerse tanto en el lado de carga como en el lado de retorno. Los rodillos deben estar nivelados a $\pm 1/32''$ (0,80 mm), todos los rodillos deben estar facetados.

Inspeccionar que los rodillos no tengan restos de material, desgaste excesivo, y pérdida de rodadura. Todos los rodillos deben girar libremente y no deben estar flexionados o inclinados.

Cualquier superficie sobre la cual se transportará la correa se debe verificar que no presente formas filosas u obstrucciones. Cualquier filo debe ser pulido, estas superficies también deben estar niveladas y deben ser paralelas unas a otras y a la dirección de transporte de la correa.

Manejo de la correa:

La mejor manera para manejar una correa es usando varios rodillos ajustables en el área de retorno justo antes del eje de retorno. Estos rodillos pueden estar inclinados hacia delante o hacia atrás, con respecto a la horizontal. La correa se maneja para desplazarse perpendicular a los rodillos.

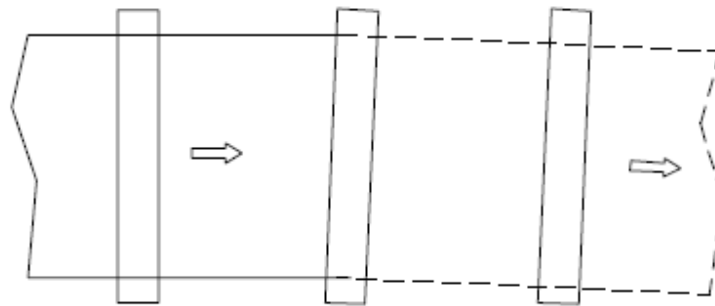


Gráfico 19 – Desalineación de correa. Tomado de *Flat wire conveyor belt*, Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 6

Nunca se debe usar el eje motriz o el de retorno para manejar la correa, esto puede producir un estiramiento de un lado de la correa que generará permanentes problemas de agarre.

Ejes motriz y de retorno:

El eje motriz debe tener el diámetro suficiente y estar soportado por rodamientos para prevenir la combadura del mismo. Si el eje se comba las ruedas dentadas del centro puede que no engranen la correa produciendo un desgaste prematuro de los dientes en las ruedas laterales y estiramiento de los bordes de la correa.

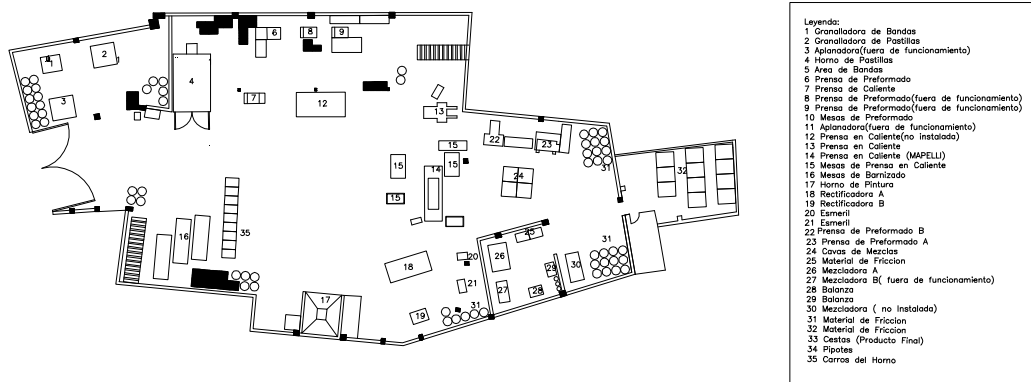
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En este capítulo se explica la metodología utilizada para el diseño y selección de materiales para llegar a la solución más adecuada al problema planteado y a su vez satisfacer los requerimientos del cliente.

3.1 Estudio previo para el diseño del Equipo de pintado de pastillas de Freno

- La Empresa Driff, C.A., fabricante nacional de pastillas de frenos, requiere un equipo para el pintado de pastillas que sea lo menos contaminante posible, cumpliendo con los requisitos de calidad del mercado, aumentando el número de piezas por hora debido a la creciente demanda nacional e internacional.
- La empresa ya cuenta con un equipo destinado para el pintado, el cual no cumple con los requisitos, el área destinada para la implantación del nuevo equipo es la misma donde se encuentra el equipo actual, como resultado de un estudio de planta (galpón B) realizado por los Ing. Marcos Ramirez e Ing. Cinthia Maldonado, dicha área es de un aproximado de 30 m² (No 17) Gráfico 20.



Medidas en mm	Autores	Título	Empresa
Gráfico 20	Br.Romano Valletta	Galpón B (plano planta ubicación de maquina)	Driff C.A
Escala 1:200	Br.Lorenzo Rodriguez	Universidad Central de Venezuela	05/05/2009

3.2 Consideraciones para el diseño del equipo

- A. Tiempo estimado del proceso: este parámetro abarca el tiempo necesario para realizar todos los procesos en la fase de pintado; desde la limpieza de la pieza después de la última etapa de mecanizado hasta el curado de la pintura y nos da el número de piezas de producción diaria.
- B. Costo de inversión: es uno de los parámetros fundamentales que busca reducir los costos. por lo tanto se tomará en cuenta toda la inversión necesaria para la puesta en marcha de cada una de las propuestas (nueva infraestructura, compra de equipos, actualización de equipos existentes, etc.)
- C. Costo de operación: este parámetro es fundamental en la búsqueda del retorno del capital invertido. por lo tanto se tomará en cuenta todos los gastos involucrados en la operación del proceso (materia prima, personal calificado, demanda de energía, etc.)
- D. Higiene ocupacional: este parámetro se refiere al cumplimiento de todas las normas de seguridad e higiene industrial. como por ejemplo: agentes contaminantes, cantidad de partículas en suspensión, etc.
- E. Mantenimiento de la maquina: para el buen rendimiento de una maquina es necesario su mantenimiento periódico. el objetivo principal de este parámetro es medir el nivel de comodidad y rapidez del operario a la hora de efectuarlo.
- F. Acabado de la pieza: este parámetro es el de mayor importancia, ya que el objetivo del proceso es mejorar la calidad del acabado de la pieza dándole valor agregado a la misma tomando en cuenta los requerimientos del cliente.

3.3 Matriz Morfológica

Propuestas a considerar en el diseño:

- I. No realizar el proceso de pintado, la pieza mostraría un acabado en bruto, tal cual sale del último proceso de mecanizado, mostrando una reducción de costos al mínimo, pero muestra una pobre protección superficial.
- II. Realizar un proceso manual de pintado, con pintura líquida a base de solventes aplicada por medio de un sistema de pintura compuesto por un compresor de aire y una pistola estándar de pintura líquida la cual es rociada directamente a la pieza.
- III. Realizar un proceso automatizado de pintado por recubrimiento en polvo epóxico aplicado electrostáticamente por medio una maquina especializada la cual rocía directamente sobre la pieza utilizando para esto unos aspersores que polarizan el polvo provocando así su adherencia a la pieza. Todo el sistema de pintura consta de 5 etapas; lavado, fosfatizado, secado, aplicación del polvo y curado.

Ponderación de los parámetros:

- A. Tiempo Estimado del Proceso: (20%)
- B. Costo de Inversión: (15 %)
- C. Costo de Operación: (15%)
- D. Higiene Ocupacional: (10%)
- E. Mantenimiento De La Maquina: (10%)
- F. Acabado De La Pieza: (30%)

Matriz Morfológica- Estudio:

Tabla 1 – Matriz morfológica equipo de pintado

PROPUESTA	PONDERACION DE LOS PARAMETROS						TOTAL
	20%	15%	15%	10%	10%	30%	100%
	A	B	C	D	E	F	
I	5	5	5	5	5	1	3,8
II	2	3	2	2	4	3	2,65
III	5	2	4	4	3	5	4,1

Escala de medición	
5	Ideal
4	Muy factible
3	Factible
2	Poco Factible
1	No Factible

Propuesta III:

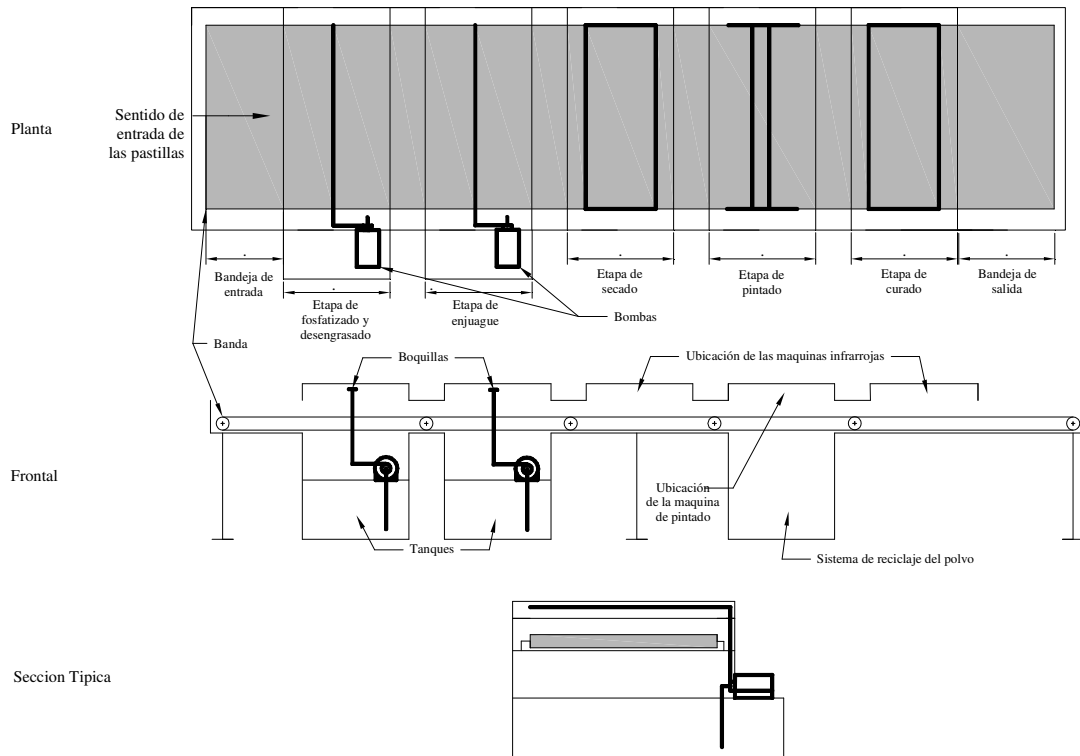


Gráfico 21 – Propuesta para el diseño equipo de pintado

Especificación de la estructura de sistema de pintado

Este sistema consta de 5 etapas las cuales se va a detallar a continuación, cada etapa cumple con una función en específico, también se va a detallar la estructura de soporte, la carcasa, el sistema de transporte, las líneas de entrada y salida de fluido y las tomas de energía, a continuación se explica el diseño y selección de los equipos necesarios para su correcto funcionamiento.

3.4 Primera Etapa: fosfatizado y desengrasado

3.4.1 Estudio previo para el diseño de la Etapa de fosfatizado y desengrasado

El fosfatizado tiene como objetivo el dejar la pieza con la textura superficial necesaria para lograr la adherencia requerida por la pintura. En este caso se crean cristales de menor tamaño que los poros del metal lo que provoca una mejor adherencia de la pintura sobre la pieza, mientras que el desengrase se realiza para eliminar los múltiples contaminantes adquiridos en el proceso de manufactura de la pieza, tales como grasa, polvos, aceites, etc. Estos contaminantes deben ser eliminados forzosamente para alcanzar un acabado de apariencia excelente y durabilidad prolongada.

3.4.2 Consideraciones para el diseño de la etapa de fosfatizado y desengrase

- El proceso elimina a partir de productos químicos dichos contaminantes evitando que la grasa impida la adhesión a la pieza y para que los polvos

no hagan grumos indeseables en la pieza terminada. Esta etapa se realiza a una temperatura de 50 a 70°C (323 a 343 K) aproximadamente, mientras se tenga una temperatura mayor de aplicación el químico actuara de mejor manera.

- La aplicación del fosfatante y el desengrasante es a través de un sistema de boquillas de aspersion que requieren altas presiones, por lo que se debe de disponer de un sistema de bombeo adecuado.
- La película de fosfato debe tener un peso aproximado por unidad de área entre 0,16 a 0,97 g/m², en este caso se utiliza fosfato de hierro de estructura amorfa, el costo en Dólares Estadounidenses tiene un aproximado de \$4 a \$8 por galón.

Por medio de estos valores podremos realizar un cálculo de la cantidad fosfato por unidad de área que necesitaremos agregar a la mezcla, lo recomendado es una densidad de película de 35 a 40 mg/pie² o 0,37 a 0,42 g/m².

- Con respecto a la acidez del fosfato, se recomienda que la solución tenga un PH entre 3,5 y 6, recomendablemente un PH de 5. Esto se debe a que si es mayor que 6 no se genera la película de fosfato y puede producir oxido instantáneamente en el sustrato, y al ser menor a 3,5, la pieza se limpiara pero tampoco se genera la película de fosfato.
- El tiempo de proceso debe de ser lo suficientemente largo para permitir que el químico forme una película uniforme de fosfato sobre la superficie, mientras más tiempo se realice el proceso mejor va a ser la aplicación esto depende de la velocidad de la banda de transporte.

3.4.3 Diseño de la etapa de fosfatizado y desengrasado

El Fosfatizado de 3 etapas son los más utilizados para aplicaciones en el que la pieza no tiene suciedades solidas adheridas, como en nuestro caso la pieza proviene de una granalladora y luego entra en nuestro proceso de pintura se asegura que la pieza no contiene partes solidas, al observarse la pieza se encuentran restos de lubricantes y polvo que tiene que ser removidos en el proceso de desengrasado y luego el fosfatizado prepara la pieza para pintarlas. Este proceso de 3 etapas costa de una etapa de desengrasado, luego una etapa de fosfatizado y finaliza con el enjuagado.

La etapa de desengrasado y fosfatizado se combinan en una sola etapa mezclando los componentes activos en una sola aplicación, para el desengrasado se utiliza un desengrasante de baja espuma y para el fosfatizado un fosfato de hierro, mezclados en un tanque los cuales se disuelven el agua y se bombean por tuberías hasta llegar a las boquillas de aspersión llegando el liquido a las piezas, por otro lado se realiza un enjuagado con agua que se realiza por separado en otra etapa con los mismos componentes que se detallan a continuación.

Selección de boquillas

Por medio de catálogos obtenidos por distribuidores exclusivos en Venezuela se realiza la selección de las boquillas marca BEX Spray Nozzles Catalogo No. 54, se puede utilizar otra marca de boquillas con las mismas especificaciones, en esta etapa se realizara el cálculo para la marca BEX.

Se procede a estudiar el espacio disponible en la carcasa de la maquina con lo cual contamos con 800 x 1000 x 500 mm (31,5 x 40 x 20 pulg.) de altura. En este espacio se tiene que colocar la tubería y los aspersores.

Por geometría se establece el ángulo de aspersión y cantidad de boquillas necesarias para cubrir el área de lavado.

En la siguiente tabla se establece las relaciones entre la distancia y la cobertura.

Tabla 2 – Relación cobertura, ángulo, distancia. Tomado de *Catálogo 54 Bex*® Nozzles

Angulo de Rociado	Proporción W/D	Cobertura teórica (W) a varias distancias (D) de la boquilla									
		Distancia (D)									
		2	3	4	6	8	12	16	24	34	48
5°	0,087	0,2	0,3	0,3	0,5	0,7	1,0	1,4	2,1	3,0	4,2
10°	0,175	0,3	0,5	0,7	1,0	1,4	2,1	2,8	4,2	5,9	8,4
15°	0,263	0,5	0,8	1,1	1,6	2,1	3,2	4,2	6,3	9,0	12,6
20°	0,353	0,7	1,1	1,4	2,1	2,8	4,2	5,6	8,5	12,0	16,9
25°	0,443	0,9	1,3	1,8	2,7	3,5	5,3	7,1	10,6	15,1	21,3
30°	0,536	1,1	1,6	2,1	3,2	4,3	6,4	8,6	12,9	18,2	25,7
35°	0,631	1,3	1,9	2,5	3,8	5,0	7,6	10,1	15,1	21,4	30,3
40°	0,728	1,5	2,2	2,9	4,4	5,8	8,7	11,6	17,5	24,7	34,9
50°	0,933	1,9	2,8	3,7	5,6	7,5	11,2	14,9	22,4	31,7	45
60°	1,15	2,3	3,5	4,6	6,9	9,2	13,9	18,5	27,7	39,3	55
65°	1,27	2,5	3,8	5,1	7,6	10,2	15,3	20,4	30,6	43	61
70°	1,40	2,8	4,2	5,6	8,4	11,2	16,8	22,4	33,6	48	67
75°	1,53	3,1	4,6	6,1	9,2	12,3	18,4	24,6	34,8	52	74
80°	1,68	3,4	5,0	6,7	10,1	13,4	20,1	26,9	40	57	81
85°	1,83	3,7	5,5	7,3	11,0	14,7	22,0	29,3	44	62	88
90°	2,00	4,0	6,0	8,0	12,0	16,0	24,0	32,0	48	68	96
95°	2,18	4,4	6,5	8,7	13,1	17,5	26,2	34,9	52	74	105
100°	2,38	4,8	7,2	9,5	14,3	19,1	28,6	38,1	57	81	114
110°	2,86	5,7	8,6	11,4	17,1	22,9	34,3	46	69	97	137
120°	3,46	6,9	10,4	13,9	20,8	27,7	42	55	83	118	166
130°	4,29	8,6	12,9	17,2	25,7	34,3	51	69	103	146	206
140°	5,49	11,0	16,5	22,0	33,0	44	66	88	132	187	264
150°	7,46	14,9	22,4	29,9	45	60	90	119	179	254	358

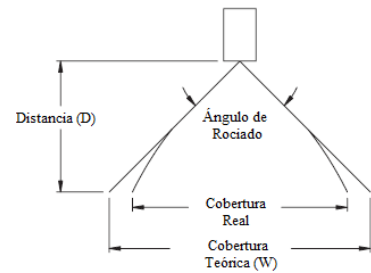


Gráfico 22 – Relación cobertura, ángulo, distancia. Tomado de *Catálogo 54 Bex*® Nozzles

Se requiere una completa cobertura en la aspersión sin importar que haya solape, se quiere cubrir una zona de 800mm (31,5 pulg.) con la cantidad

de 2 boquillas, entonces se entra en la tabla con una altura (D) de 400mm (16 pulg.) y como mínimo de cobertura 400mm (16 pulg.) y se obtiene un ángulo de aspersión de entre 55 a 60 grados colocando 2 boquillas, seleccionando así el de 60 grados para que exista un solape y se asegure la cobertura de toda la zona.

Se tiene 2 de tipo de aspersión, cónica y plana. Se selecciono de tipo cónica ya que la aspersión se realiza verticalmente hacia abajo y se obtiene mejor rendimiento. Las planas están recomendadas para aspersión vertical lateral.

GS SERIES

Cuerpo conformado por 2 piezas

DIMENSIONES (pulg.)

Diam.	A	B
1/4GS	5/8 HEX	1 1/16
1/2GS	1 1/16 HEX	1 9/16
3/4GS	1 3/8 HEX	1 11/16
1GS	1 HEX	2
1/4FGS	5/8 HEX	1 1/32
1/2FGS	1 1/16 HEX	1 21/32
3/4FGS	1 3/8 HEX	1 17/16
1FGS	1 HEX	2 1/32

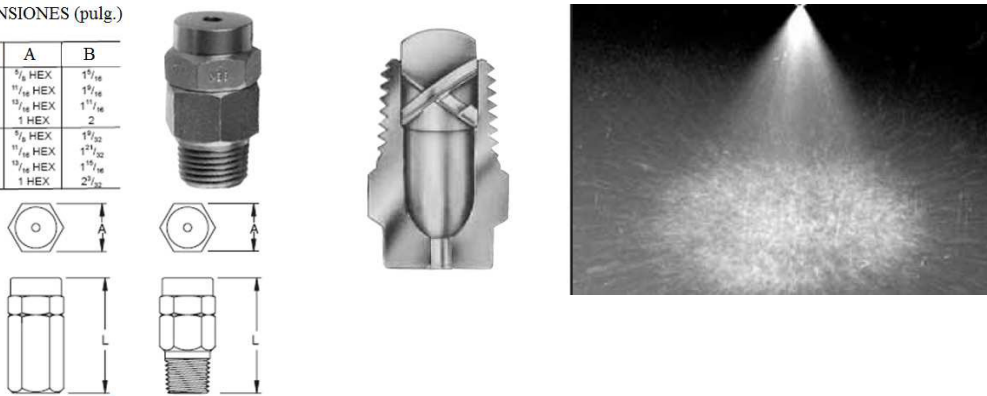


Gráfico 23 – Relación cobertura, ángulo, distancia. Tomado de *Catálogo 54 Bex* ® Nozzles

En el catalogo se localiza la serie GS que cumple con los requerimientos, esta boquilla consta de 2 piezas una macho-hembra y otra macho, la macho-hembra se conecta directamente al tubo de 1 pulg (25,4 mm). con una medida en la rosca de 1/2 pulg.(12,7 mm) y luego se coloca el macho que contiene el aspersor para su fácil remoción al momento de cambiarlos o realizarle una limpieza.

Por medio de la siguiente tabla se selecciona específicamente el modelo.

Tabla 3 – Boquillas tipo GS. Tomado de *Catálogo 54 Bex* ® Nozzles.

GS 2 piezas		DIAM. TUB. NPT	MAXIMUM FREE PASSAGE (Inches)	CAPACIDAD (GPM) A VARIAS PRESIONES (psi)												Angulo de Rociado		
Hembra	Macho			3 psi	5 psi	7 psi	10 psi	15 psi	20 psi	30 psi	40 psi	60 psi	80 psi	100 psi	150 psi	7 psi	20 psi	80 psi
1/8FGS1	1/8GS1	1/8	0.033	--	--	--	--	0.12	0.14	0.17	0.20	0.24	0.28	0.32	0.39	--	55°	52°
1/8FGS1.5	1/8GS1.5	1/8	0.046	--	--	--	0.15	0.18	0.21	0.26	0.30	0.37	0.42	0.47	0.58	--	65°	57°
1/8FGS2	1/8GS2	1/8	0.051	--	--	0.17	0.20	0.24	0.28	0.35	0.40	0.49	0.57	0.63	0.77	54°	59°	60°
1/8FGS3	1/8GS3	1/8	0.051	--	0.21	0.25	0.30	0.37	0.42	0.52	0.60	0.73	0.85	0.95	1.16	50°	53°	60°
1/8FGS3.5	1/8GS3.5	1/8	0.051	0.19	0.25	0.29	0.35	0.43	0.49	0.61	0.70	0.86	0.99	1.11	1.36	48°	58°	61°
1/8FGS5	1/8GS5	1/8	0.064	0.27	0.35	0.42	0.50	0.61	0.71	0.87	1.00	1.22	1.41	1.58	1.94	60°	75°	70°
1/8FGS6	1/8GS6	1/8	0.064	0.33	0.42	0.50	0.60	0.73	0.85	1.04	1.20	1.47	1.70	1.90	2.3	67°	72°	70°
1/4FGS5	1/4GS5	1/4	0.081	0.27	0.35	0.42	0.50	0.61	0.71	0.87	1.00	1.22	1.41	1.58	1.94	58°	68°	62°
1/4FGS6.5	1/4GS6.5	1/4	0.091	0.36	0.46	0.54	0.65	0.80	0.92	1.13	1.30	1.59	1.84	2.1	2.5	48°	56°	50°
1/4FGS7.5	1/4GS7.5	1/4	0.091	0.41	0.53	0.63	0.75	0.92	1.06	1.30	1.50	1.84	2.1	2.4	2.9	55°	65°	48°
1/4FGS8.5	1/4GS8.5	1/4	0.091	0.47	0.60	0.71	0.85	1.04	1.20	1.47	1.70	2.1	2.4	2.7	3.3	58°	65°	63°
1/4FGS10	1/4GS10	1/4	0.091	0.55	0.71	0.84	1.00	1.22	1.41	1.73	2.0	2.4	2.8	3.2	3.9	60°	65°	62°
1/4FGS14	1/4GS14	1/4	0.091	0.77	0.99	1.17	1.40	1.71	1.98	2.4	2.8	3.4	4.0	4.4	5.4	78°	85°	75°
3/8FGS9.5	3/8GS9.5	3/8	0.102	0.52	0.67	0.79	0.95	1.16	1.34	1.65	1.90	2.3	2.7	3.0	3.7	58°	68°	62°
3/8FGS10	3/8GS10	3/8	0.102	0.55	0.71	0.84	1.00	1.22	1.41	1.73	2.0	2.4	2.8	3.2	3.9	55°	65°	50°
3/8FGS15	3/8GS15	3/8	0.102	0.82	1.06	1.25	1.50	1.84	2.1	2.6	3.0	3.7	4.2	4.7	5.8	63°	65°	60°
3/8FGS18	3/8GS18	3/8	0.102	0.99	1.27	1.51	1.80	2.2	2.5	3.1	3.6	4.4	5.1	5.7	7.0	85°	88°	76°
3/8FGS20	3/8GS20	3/8	0.102	1.10	1.41	1.67	2.0	2.4	2.8	3.5	4.0	4.9	5.7	6.3	7.7	76°	82°	75°
3/8FGS22	3/8GS22	3/8	0.114	1.20	1.56	1.84	2.2	2.7	3.1	3.8	4.4	5.4	6.2	7.0	8.5	76°	78°	76°
1/2FGS16	1/2GS16	1/2	0.144	0.88	1.13	1.34	1.60	1.96	2.3	2.8	3.2	3.9	4.5	5.1	6.2	55°	60°	55°
1/2FGS25	1/2GS25	1/2	0.144	1.37	1.77	2.1	2.5	3.1	3.5	4.3	5.0	6.1	7.1	7.9	9.7	68°	73°	65°
1/2FGS32	1/2GS32	1/2	0.144	1.75	2.3	2.7	3.2	3.9	4.5	5.5	6.4	7.8	9.1	10.1	12.4	80°	90°	75°
1/2FGS40	1/2GS40	1/2	0.162	2.2	2.8	3.3	4.0	4.9	5.7	6.9	8.0	9.8	11.3	12.6	15.5	86°	90°	81°
		3/4	0.162	1.64	2.1	2.5	3.0	3.7	4.2	5.2	6.0	7.3	8.5	9.5	11.6	50°	52°	49°
		3/4	0.195	2.7	3.5	4.2	5.0	6.1	7.1	8.7	10.0	12.2	14.1	15.8	19.4	65°	70°	65°
		3/4	0.195	4.5	5.9	6.9	8.3	10.2	11.7	14.4	16.6	20	23	26	32	93°	97°	86°
		1	0.219	4.5	5.9	6.9	8.3	10.2	11.7	14.4	16.6	20	23	26	32	71°	78°	75°
		1	0.219	5.8	7.5	8.9	10.6	13.0	15.0	18.4	21	26	30	34	41	86°	89°	80°
		1	0.219	6.6	8.5	10.0	12.0	14.7	17.0	21	24	29	34	38	46	80°	94°	85°
		1	0.219	7.8	10.0	11.9	14.2	17.4	20	25	28	35	40	45	55	88°	92°	83°

Todas las referencias de GPM se toman como U. S GPM

En la tabla anterior entramos con 1/2 pulg (12,7 mm). de rosca y un ángulo de aspersión de 60 grados. Obteniendo así la boquilla modelo 1/2FGS16 para la pieza macho-hembra y 1/2GS16 para la macho, esta tabla nos da como dato el gasto de líquido en GPM a diferentes presiones, para estos procesos de lavado químico se recomiendan presiones de 20 a 30 psi (138 a 207 KPa). Se procede entonces a buscar en la tabla el gasto por boquilla el cual es de unos 2,8 GPM (10,6 L/min) por 2 boquillas da un total de 5,6 GPM (21 L/min) lo cual aproximamos a 6 GPM (22,7 L/min).

Válvulas

Se selecciona una válvula tipo check que tiene como objetivo dejar pasa el fluido en un solo sentido para no perder la ceba de la bomba. Se debe tomar

en cuenta que debe ser de diámetro de 1 pulg. (25,4 mm) para ajustarse al diámetro de la tubería.

Bombas

Por requerimientos de la aspersión se necesita un aproximado de 20 a 30 psi (138 a 207 KPa), suponemos entonces una presión de 30 psi (21,5 m H₂O suponiendo como fluido agua a 60°C) y un caudal aproximado de unos 6 GPM (3,78x10⁻⁴ m³/s), se procede a calcular las pérdidas en la tubería para la correcta selección de la bomba.

Perdidas de altura en la tubería:

Utilizando la formula de **Darcy- Weisbach:**

$$h_l = f \frac{l V^2}{D 2}$$

Donde: h_l = Altura Manometrica, en m H₂O

f = Factor de fricción, adimensional

l = Longitud de seccion de tuberia, en m

D = Diametro de la tuberia, en m

V = Velocidad promedio del fluido, en m/s

Factor de fricción

Primero se verifica si el flujo es laminar o turbulento por medio del cálculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Donde: ρ = Densidad del fluido, en Kg/m³

V = Velocidad del fluido, en m/s

D = Diametro de la tuberia, en m

μ = Viscosidad del fluido, en N · s/m²

Suponemos el fluido a bombear como agua a 60°C entonces tenemos:

$$V = \frac{q}{A} = \frac{3,7854 \cdot 10^{-4}}{5,5754 \cdot 10^{-4}} = 0,67 \text{ m/s}$$

$q = \text{Caudal, en } m^3/s$

$A = \text{Area de seccion transversal, en } m^2$

$$Re = \frac{983,2 \cdot 0,6779 \cdot 0,0245}{0,469 \cdot 10^{-3}} = 34817,75$$

El flujo es turbulento así que para calcular el valor del factor de fricción se localiza por medio del diagrama de **Moody** para el cual necesitamos también buscar el valor de la rugosidad relativa e/D . Anexo 1

$e = 0,15$ ya que la tubería es de hierro galvanizado

$$\frac{e}{D} = \frac{0,15}{0,0245 \cdot 10^{-3}} = 6,12 \cdot 10^{-3}$$

Luego en el diagrama de **Moody**. Anexo 2.

$$f = 0,036$$

Diámetro nominal de la tubería. (ver Anexo 3) = 1,049 pulg. (0,026 m)

$$h_l = f \frac{l V^2}{D 2} = 0,036 \cdot \frac{1,2}{0,0266} \cdot \frac{0,6779^2}{2} = 0,40 \text{ m } H_2O$$

Perdidas menores:

Cuando en las tuberías existen codos, válvulas, etc., usualmente es necesario tener en cuenta las pérdidas de altura a través de estos accesorios, además de las pérdidas causadas por la fricción en las tuberías. Casi siempre se hace esto utilizando resultados experimentales. Esta información está dada en la forma:

$$h_l = K \frac{V^2}{2g} = \frac{(K_1 + K_2)V^2}{2g}$$

$K_1 =$ Factor por codos (ver Anexo 4)

$K_2 =$ Factor por valvula check (ver Anexo 5)

$$h_l = \frac{(0,96 + 2) 0,6779^2}{2 \cdot 9,8022} = 6,93 \cdot 10^{-2} \text{ m } H_2O$$

$$h_{l \text{ total}} = h_{l \text{ tuberia}} + h_{l \text{ accesorios}} = 0,4051 + 6,9385 \cdot 10^{-2} = 0,47 \text{ m } H_2O$$

Perdidas en la aspiración de la bomba

Perdidas de altura en la tubería:

$$h_l = f \frac{l V^2}{D 2} = 0,036 \cdot \frac{0,4}{0,0245} \cdot \frac{0,6779^2}{2} = 0,13 \text{ m } H_2O$$

Perdidas menores:

$$h_l = K \frac{V^2}{2 g} = \frac{(K_1 + K_2)V^2}{2 g}$$

$K_1 =$ Factor por codos

$K_2 =$ Factor por la proyeccion de la tuberia dentro del tanque

$$h_l = \frac{(0,96 + 0,78)0,6779^2}{2 \cdot 9,8022} = 4,07 \cdot 10^{-2} \text{ m } H_2O$$

$$h_{l \text{ total}} = h_{l \text{ tuberia}} + h_{l \text{ accesorios}} = 0,1350 + 4,0787 \cdot 10^{-2} = 0,17 \text{ m } H_2O$$

Se puede notar que las pérdidas son despreciables comparados con la presión necesaria para la aspersión, que esta aproximada a 25 m de H₂O. Se procede entonces a la selección por medio del grafico de las curvas de funcionamiento de las bombas que ofrece el fabricante, específicamente el catalogo del fabricante Pedrollo® de bombas PQ electrobombas con rodete periférico las cuales son las recomendadas para este tipo de trabajo. Se puede utilizar otra marca de bombas con especificaciones parecidas que se muestran en los siguientes cálculos.

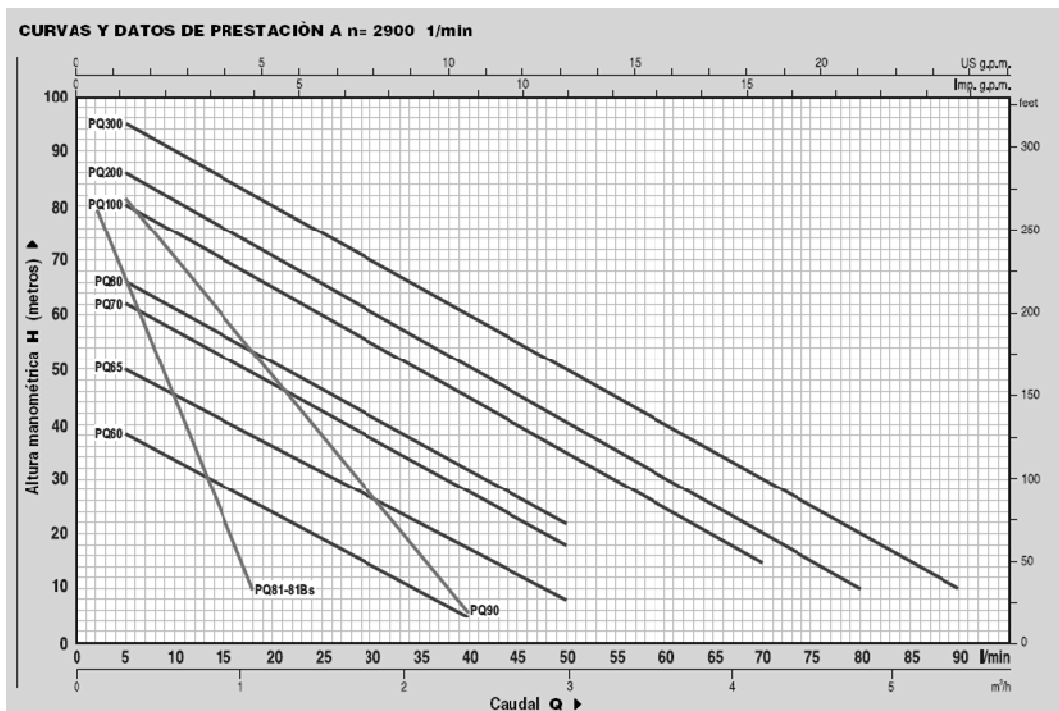


Gráfico 24 – Curva de funcionamiento de bombas PQ. Tomado de *Catálogo PQ Electrobombas de rodete periférico (aconsejadas para usos industriales)*, Pedrollo®.

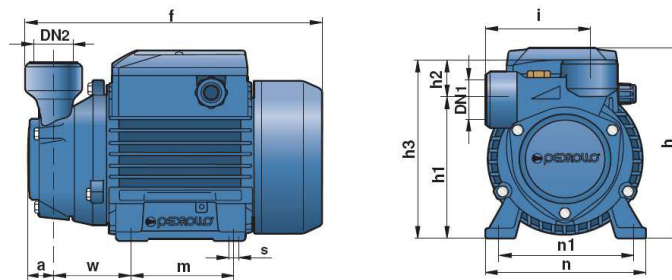
Entramos al grafico con el caudal de 6 GPM (22,7 L/min) y la altura total de 25 m de H₂O (245 KPa) y la selección se basa en 2 modelos la PQ60 y

la PQ65 por razones de seguridad se selecciona la PQ65 ya que se puede obtener mayor presión al mismo caudal la presión aproximada es de unos 42 psi (290 KPa) con un caudal de 6 GPM (22,7 L/min), retornamos entonces al catalogo del fabricante de las boquillas para verificar su comportamiento con estas características, y se obtiene que el gasto entre las 2 boquillas es de unos 6,4 GPM (24,2 L/min) y un ángulo de aspersion de 58 grados, lo cual cumple con nuestro requisitos de aspersion.

Un informe detallado de la bomba se muestra en el catalogo y aquí se muestra una descripción general:

Tabla 4 y Gráfico 25 – Características generales de bomba PQ65 . Tomado de *Catalogo PQ Electrobombas de rodete periférico (aconsejadas para usos industriales)*, Pedrollo®.

TIPO		POTENCIA		BOCAS		DIMENSIONES (mm)														PESO (Kg)	
Monofásica	Trifásica	KW	HP	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	i	m	n	n1	w	s	1~	3~		
PQm65	PQ65	0,5	0,7	1"	1"	22	234	152	113	30	143	78	38	120	100	57	7	7,1	6,3		



Tanque

Se utiliza un sistema de calentamiento de tipo resistencia eléctrica para lograr una temperatura de 60°C, esta resistencia eléctrica esta auto regulada por

medio de un termostato incluido, el cual solo tendrá un sistema de encendido-apagado.

El tanque tiene una capacidad de almacén de 455 L (120 gal.), cuenta con un orificio de llenado rectangular de 100x100 mm (4x4 pulg.) y un orificio de vaciado con su respectiva válvula de tipo globo. Se recomienda utilizar un medidor de nivel para la supervisión y adición de fluido.

En este tanque se almacena los químicos fosfatantes y desengrasador que actuara sobre la pieza diluidos en agua común.

Químicos

Para el fosfatizado se utilizara fosfato amorfo para piezas de hierro y acero tipo Profos 186 suministrado por la empresa Proquimia, s.a, (se puede utilizar productos de otras marcas con las mismas características) que aplicado en las condiciones adecuadas ofrece revestimientos densos y uniformes de fosfatos de hierro, con un peso de capa de 0,4 a 0,7 g/m², y viene en unidades de 70 kg.

Como agente desengrasante se le agrega a la mezcla un aditivo desengrasante de baja espuma para este tipo de baños de tipo Adex 222 suministrados por la misma empresa y viene en unidades de 25 kg.

Condiciones de trabajo:

Concentración inicial: 30 g/l. Corresponde a 10 puntos. Cada 3 g/l de PROFOS 186, dan un punto de acidez total. Inicialmente se adicionan de 5 a 10 g/l de ADEX .

Acidez total (puntuación): El baño se mantiene entre 10 y 20 puntos.

Acidez consumida o libre: Entre 0,2 y 1,2.

pH: De 3,5 a 5,5.

Temperatura: De 40 a 60 °C. (313 a 333 K)

Tiempo de inmersión: De 3 a 5 min.

Producto ácido. Evitar el contacto con piel y ojos.

Mantenimiento del baño:

Mediante técnica de valoración se determina la puntuación del baño y se restablecen las condiciones iniciales añadiendo 3 g/l de PROFOS 186 por cada punto de menos. Se añade también de 50 a 100 g. de ADEX 5 por cada Kg. de PROFOS 186 añadido.

Una vez añadido el producto se determina la acidez libre o consumida que debe estar en los márgenes mencionados. En caso de haber exceso de acidez consumida, puede corregirse adicionando 2 g/l PROFOS 186 (o bien 0,28 g/l de PROCOR 55) por cada 0,1 puntos que se quiera disminuir. Si por el contrario hay exceso de acidez libre, se adiciona sosa cáustica previamente diluida hasta corrección.

Valoración del baño:

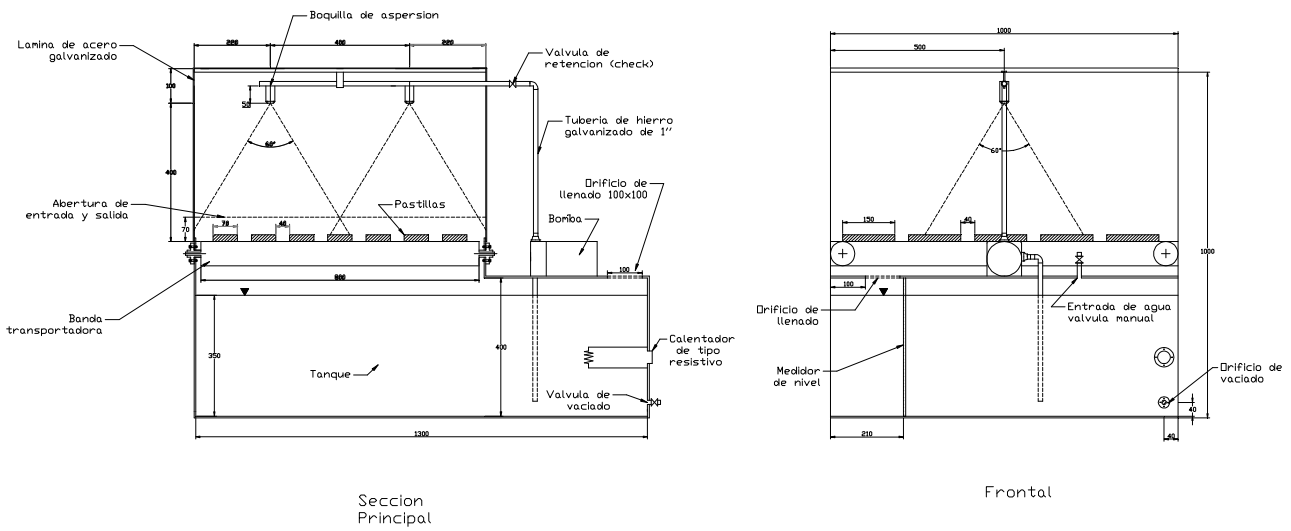
Puntuación (Acidez total): Tomar una muestra de 10 cm³ del baño y pasarla a un vaso de valoraciones. Añadir 10 cm³ de agua destilada y 4-5 gotas de fenolftaleína como indicador.

Valorar con hidróxido sódico 0,1N hasta coloración rosada permanente de la solución. Los cm^3 de hidróxido sódico 0,1N consumidos, indican la puntuación del baño.

Acidez consumida o libre: Tomar una muestra de 10 cm^3 del baño y pasarla a un vaso de valoraciones. Añadir 10 cm^3 de agua destilada y 4-5 gotas de verde de bromocresol.

Si la solución toma color amarillo, indicará la presencia de acidez libre y debe valorarse con hidróxido sódico 0,1N hasta viraje a color verde-azulado. Los cm^3 consumidos de hidróxido sódico 0,1N indican la acidez libre del baño.

Si la solución toma color azul, indicará la presencia de acidez consumida y debe valorarse con ácido sulfúrico 0,1N hasta viraje a color amarillo. Los cm^3 consumidos de ácido sulfúrico 0,1N indican la acidez consumida.



Medidas en mm	Autores	Título	Empresa
Gráfico 26	Br.Romano Valletta	Etapa de Fosfatizado y desengrasado	Driff C.A
Escala 1:10	Br.Lorenzo Rodriguez	Universidad Central de Venezuela	05/05/2009

3.5 Segunda Etapa: enjuagado

3.5.1 Estudio previo para el diseño de la Etapa de enjuagado

Un adecuado proceso de enjuagado realizado entre las etapas es esencial para un buen pre-tratamiento de la pieza, un enjuagado ineficiente puede dejar residuos en la superficie de la pieza las cuales interfieren en el proceso de pintado, si el enjuagado es inadecuado se pueden quedar adheridas sales en la superficie que interfieren en la unión de la pintura a la superficie y la resistencia a la corrosión.

3.5.2 Consideraciones para el diseño de la etapa de enjuagado

- El proceso elimina los residuos del fosfatado y desengrasado a partir de agua proyectada a presión sobre la pieza teniendo en cuenta que la presión no debe ser elevada para no remover toda la capa de fosfato. Se remueve sales de fosfato que no reaccionaron y el desengrasante. Se utiliza para esto agua a temperatura ambiente lo cual también ayuda a finalizar las reacciones que ocurren en el proceso anterior y se prepara la pieza para el secado.
- La aplicación del agua es a través de un sistema de boquillas de aspersión que requieren altas presiones, por lo que se debe de disponer de un sistema de bombeo adecuado.
- Se requiere un tanque para el reciclaje del agua, esta se debe reciclar por medio de recirculación del agua usada. Se tiene que supervisar el tanque para verificar la turbidez del agua para hacer el cambio oportuno,

3.5.3 Diseño de la etapa de enjuagado

Los componentes esenciales en esta etapa son iguales a los requeridos a la etapa de fosfatizado y desengrasado los únicos cambios es en el fluido de trabajo y el calentador del tanque el cual no es necesario para el proceso ya que se trabaja con agua común a temperatura ambiente.

Selección de boquillas

Boquilla modelo 1/2FGS16 para la pieza macho-hembra y 1/2GS16 para la macho,

Válvulas

Se selecciona una válvula tipo check que tiene como objetivo dejar pasar el fluido en un solo sentido para no perder la ceba de la bomba. Se debe tomar en cuenta que debe ser de diámetro de 1 pulg. (25,4 mm) para ajustarse al diámetro de la tubería.

Bombas

Perdida por fricción en la tubería:

$$h_l = f \frac{l V^2}{D} = 0,036 \cdot \frac{1,2}{0,0245} \cdot \frac{0,6779^2}{2} = 0,40 \text{ m } H_2O$$

Perdidas menores:

$$h_l = \frac{(0,96 + 2) 0,6779^2}{2 \cdot 9,8022} = 6,93 \cdot 10^{-2} \text{ m } H_2O$$

$$h_{l \text{ total}} = h_{l \text{ tubería}} + h_{l \text{ accesorios}} = 0,4051 + 6,9385 \cdot 10^{-2} = 0,47 \text{ m } H_2O$$

Perdidas en la aspiración de la bomba

Perdidas de altura en la tubería:

$$h_l = f \frac{l V^2}{D 2} = 0,036 \cdot \frac{0,4}{0,0245} \cdot \frac{0,6779^2}{2} = 0,13 \text{ m } H_2O$$

Perdidas menores:

$$h_l = \frac{(0,96 + 0,78)0,6779^2}{2 \cdot 9,8022} = 4,07 \cdot 10^{-2} \text{ m } H_2O$$

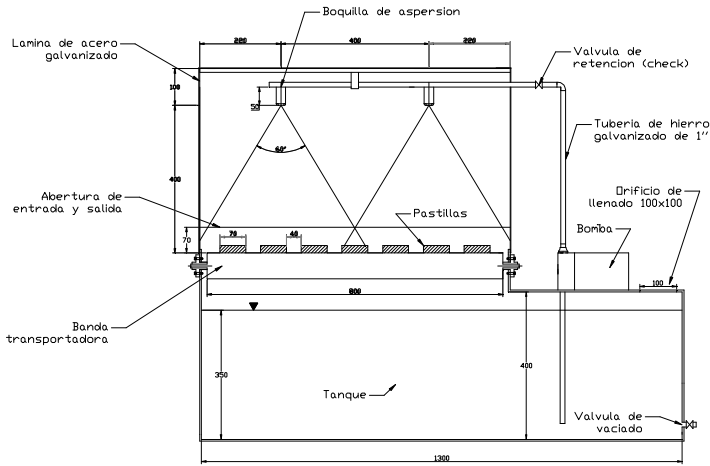
$$h_{l \text{ total}} = h_{l \text{ tubería}} + h_{l \text{ accesorios}} = 0,1350 + 4,0787 \cdot 10^{-2} = 0,17 \text{ m } H_2O$$

Se puede apreciar que las pérdidas son despreciables comparados con la presión necesaria para la aspersion, que esta aproximada a 25 m de H₂O (245 KPa).

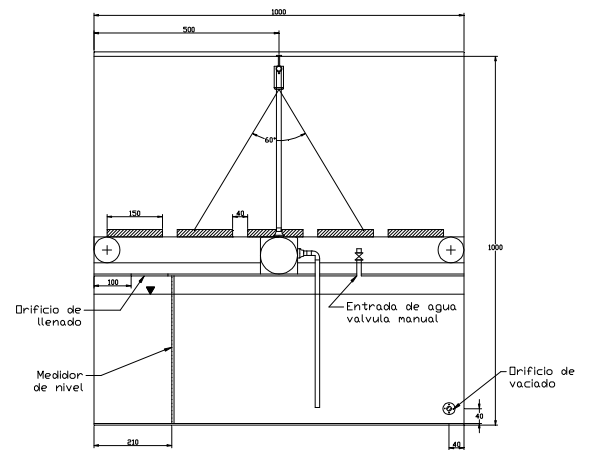
Se selecciona la PQ65 de marca Pedrollo®

Tanque

El tanque tiene una capacidad de almacén de 455 L (120 gal.), cuenta con un orificio de llenado rectangular de 100x100 mm (4 pulg.) y un orificio de vaciado con su respectiva válvula de tipo globo. Se recomienda utilizar un medidor de nivel para la supervisión y adición de fluido.



Seccion Principal



Frontal

Medidas en mm Gráfico	Autores	Título	Empresa
27	Br.Romano Valletta	Etapas de Enjuagado	Driff C.A
Escala 1:10	Br.Lorenzo Rodriguez	Universidad Central de Venezuela	05/05/2009

3.6 Tercera Etapa y Quinta Etapa: Secado y Curado

3.6.1 Estudio previo para el diseño de la Etapa de Secado y Curado

La pastilla de freno requiere una etapa de secado para eliminar la humedad remanente de la etapa de enjuagado y a la vez precalentar la pieza para mejorar la adherencia en la etapa siguiente (Etapa de pintado), la temperatura requerida debe ser mayor a los 100°C (373 K). Luego de la etapa de pintado se requiere curar la pieza para lograr la adherencia permanente del polvo, dicha permanencia se logra al fundir el polvo a una temperatura mayor de 150°C (423 K) , debido a las características similares de estas dos etapas se realizará un estudio en conjunto, para obtener el mejor diseño que satisfaga ambas necesidades.

Las pastillas de freno requieren ser pintadas en diferentes colores según las exigencias del mercado, el recubrimiento en polvo varía su composición al variar el color y por tanto la temperatura de fusión también varía en la mayoría de los casos, lo cual hace necesario un equipo que permita modificar la temperatura según los requerimientos del polvo a utilizar.

3.6.2 Consideraciones para el diseño de la etapa de secado y curado

- A. Tiempo estimado del proceso: este parámetro abarca el tiempo necesario para realizar procesos en la fase de secado y en la fase de curado, este parámetro nos da la velocidad de transporte de las pastillas, y por lo tanto el número máximo de piezas de producción diaria.

- B. Espacio Requerido: este parámetro nos relaciona el espacio mínimo necesario para el montaje del equipo y el espacio disponible en planta. El espacio disponible en planta es bastante reducido, y tan solo se cuenta con un área aproximada de 30 m².
- C. Consumo energético estimado: dicho parámetro nos muestra el gasto energético necesario para realizar dichas etapas.
- D. Costos de inversión: es uno de los parámetros fundamentales que busca reducir los costos. por lo tanto se tomará en cuenta toda la inversión necesaria para la puesta en marcha de cada una de las propuestas (nueva infraestructura, compra de equipos, actualización de equipos existentes, etc.)

3.6.3 Matriz Morfológica

Propuestas a considerar en el diseño:

- I. Realizar el montaje de dos hornos convectivos, utilizando quemadores de gas como medio generador del calor, se colocará un horno para cada etapa señalada, cada horno contará con una serie de quemadores de gas y ventiladores que generen las corrientes convectivas para que se realice de manera eficiente la transferencia de calor,
- II. Realizar el montaje de dos hornos radioactivos-convectivos, utilizando resistencias eléctricas como medios de emisión de calor, se colocará un horno para la etapa de secado y otro en la etapa de curado.
- III. Realizar el montaje de dos hornos radioactivos-convectivos, utilizando lámparas infrarrojas como medio emisor de calor, se colocara un horno en la etapa de secado y un horno en la etapa de curado.

Ponderación de los parámetros:

- A. Tiempo Estimado del Proceso: (30%)
- B. Espacio Requerido: (30 %)
- C. Consumo Energético: (15%)
- D. Costo de Inversión: (25%)

Matriz Morfológica- Estudio:

Tabla 5 – Matriz Morfológica del diseño del horno

PROPUESTA	PONDERACION DE LOS PARAMETROS				TOTAL
	30%	30%	15%	25%	
	A	B	C	D	
I	2	3	4	4	3,1
II	4	5	2	3	3,75
III	5	5	2	2	3,8

Escala de medición	
5	Ideal
4	Muy factible
3	Factible
2	Poco Factible
1	No Factible

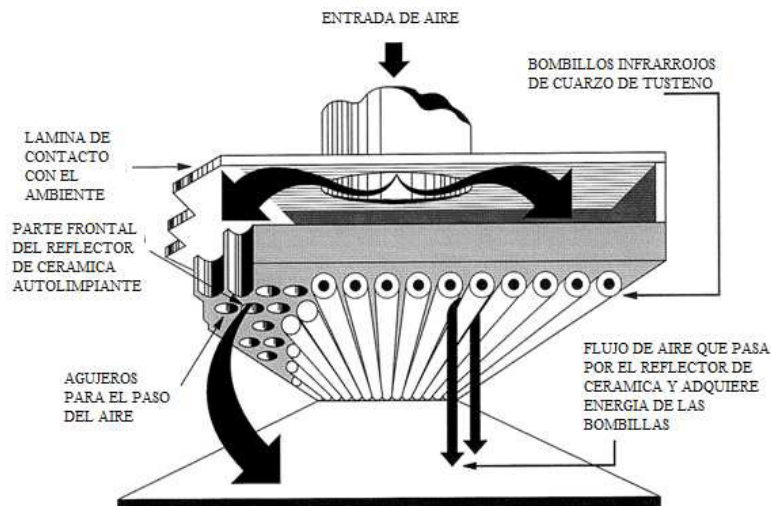
Propuesta III:

Gráfico 28 – Propuesta diseño de paneles. Tomado de *Catalogo 4765 IR panels* Reseach Inc.

3.6.4 Diseño de la etapa de secado y curado

Cada etapa constará de paneles de lámparas tungsteno, que generaran la radiación infrarroja necesaria para realizar el secado y el curado de la pieza, antes y después del proceso de pintado. También contarán con sopladores que moverán un flujo convectivo de aire que mejorará la trasferencia de calor a la pieza y la eficiencia del equipo.

Las pastillas de freno fabricadas por la empresa se presentan en gran variedad de tamaño y colores, debido a esta característica se requiere un sistema de control en los equipos de curado y secado que nos permita modificar la temperatura de trabajo, ya que al variar el color de la pintura varia la composición de la misma y por tanto el punto de fusión.

Para este estilo de calentamiento no se requerirá material aislante para las paredes ya que el calentamiento se realizara por medio de una radiación y un flujo convectivo, lo que si será necesario es un sistema de extracción de aire a alta temperatura por lo cual se dispone de una campana de extracción conectada a un ducto con un extractor, este extractor debe de tener la capacidad extracción con el mismo flujo de entrada del soplador del panel. El soplador del panel tiene doble funcionalidad, una es refrigerar el panel de lámparas y la otra transferir la energía a las piezas por el aire caliente.

Selección del panel

A través de catálogos obtenidos por fabricantes internacionales se realiza la selección del panel de bombillas infrarrojos marca Research Inc, Modelo 4765-38-30. (Se puede utilizar lámparas de otras marcas pero con las mismas características para lograr el calentamiento deseado)

Características y beneficios:

- Operación continua: el diseño y construcción de los calentadores, combinado con los enfriadores de aire forzado, permiten a paneles IR resistir una exposición continua a altas temperaturas.
- Respuesta rápida: los calentadores de Paneles IR usan lámparas tubulares de cuarzo, modelo "T3", de halógeno como emisores de energía radiante. Estas lámparas se calientan y enfrían instantáneamente a los cambios de potencia. Las lámparas alcanzan el 90% de la temperatura de operación a los tres segundos de encendido. La energía radiante de disipa hasta un 10% a los cinco segundos de apagar el equipo.

- Diseño modular: los paneles IR son de diseño modular para permitir instalar múltiples unidades unas al lado de las otras para crear un área mayor de continuo calentamiento.
- Salida de energía controlable: la energía infrarroja emitida desde los paneles IR pueden ser ajustada para cumplir con los requerimientos de muchas aplicaciones.
- Calentadores Auto-limpiantes: los reflectores de cerámica usados en los paneles IR son auto-limpiantes, esta característica proporciona alta eficiencia y baja costo de mantenimiento.

Descripción del Panel IR, modelo 4765:

El panel IR modelo 4765 es de diseño modular y combina tanto radiación como convección, como modo de transferencia de calor, el calentador usa flujo de aire forzado para transformar el desperdicio de calor en energía utilizable y permite operar eficientemente a altos niveles de potencia. Adicionalmente, esta unidad incluye los siguientes componentes principales:

- El modulo del calentador: el calentador modelo 4765 usa lámparas de halógeno, tubos de cuarzo tubular, modelo “T3” como fuente de energía radiante. Reflectores de cerámica están colocados detrás de los emisores y re-emiten la energía radiante hacia el objetivo, este panel está disponible en diferentes tamaño.
- Reflectores de borde: este modelo incorpora un reflector de borde para restringir la energía radiante a un área rectangular.
- Sistema de sopladores de aire forzado: este modelo está diseñado con un sistema de soplador de aire forzado que proporciona tanto un sistema de refrigeración para las lámparas infrarrojas como transferencia de calor

por convección a las piezas a calentar. El flujo requerido es de 23,5 m³/min.

- Protección contra el sobrecalentamiento: un interruptor de flujo de aire está incorporado en el panel, el cual corta el suministro eléctrico al calentador si se detecta una caída en el flujo de aire de los sopladores.

Información Técnica:

Temperatura del producto: la temperatura máxima de la pieza a calentar depende del voltaje aplicado a las lámparas, la capacidad de la pieza de absorber energía radiante, y la pérdida de calor. Para la mayoría de los procesos de calentamiento continuo, la temperatura máxima de la pieza no excede los 400 °C (673 K).

Tamaño del producto: la pieza de hasta 965 x 1676 mm (38 x 66 pulg.) pueden ser calentadas con una sola unidad, es posible montar varias unidades una al lado de la otra para calentar áreas más grandes.

Densidad de flujo de calor: En lámparas de 965 mm (38 pulg.) y operando a voltaje nominal, este modelo es capaz de irradiar 119 kW/m².

Modulo del calentador: La característica de absorción/emisión de la superficie del reflector de cerámica en el modulo del calentador mantiene una alta temperatura en la superficie que vaporiza constantemente contaminantes orgánicos, el material del reflector también sirve para re-emitir ondas de mediana longitud (3 a 4 μm) de energía infrarroja. Esto puede ser favorable en muchos procesos dependiendo de la absorptividad del material.

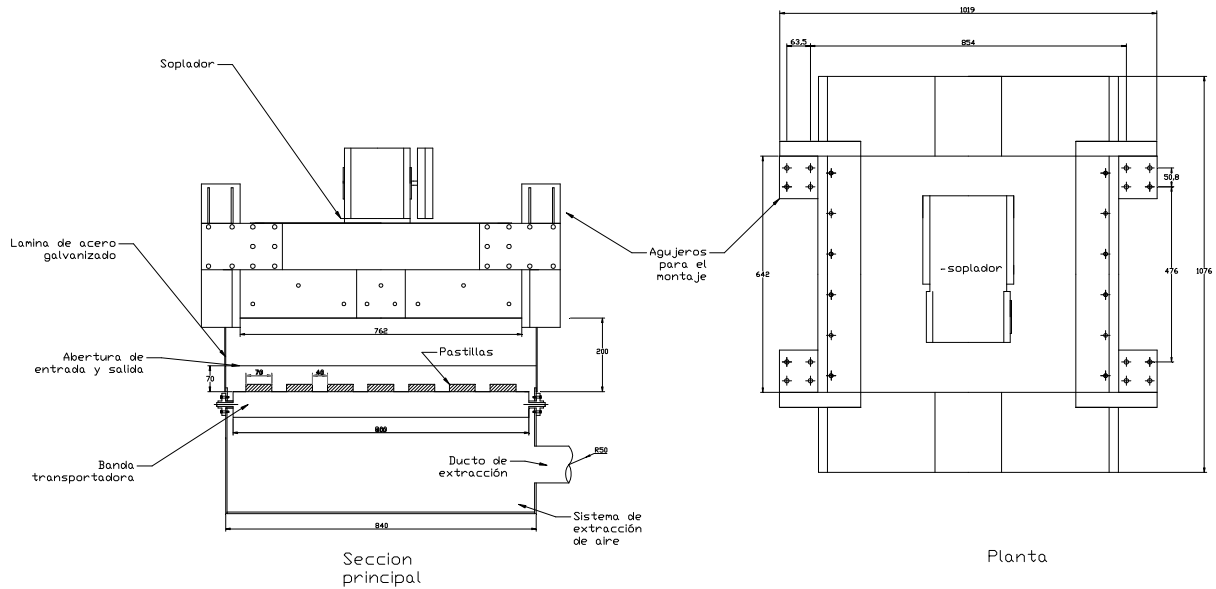
Sistema de sopladores de aire forzado: el modelo 4765 está diseñado con un soplador de aire montado externamente, que suministra aire de enfriamiento a las lámparas infrarrojas. Este aire de enfriamiento pasa directamente a través de los agujeros en el reflector de cerámica a lo largo de cada lámpara. Inicialmente, este aire enfría el reflector y las lámparas absorbiendo el calor. Una vez caliente, este aire se vuelve convectivo, lo que mejora la tasa de transferencia de calor y la eficiencia de todo el sistema.

Montaje del modelo 4765: la base de cada pata ajustable del modelo 4765 tiene cuatro agujeros de 11mm (0,43 pulg.) de diámetro para el montaje. El calentador debe ser montado proveyendo acceso a la cubierta superior para simplificar las conexiones de cables a las lámparas y el reemplazo de piezas.

Lámparas: los calentadores modelo 4765 usan lámparas de halógeno, de alta intensidad, onda corta, tubo de cuarzo, estilo “T3”. El emisor de tungsteno en estas lámparas tiene una temperatura de operación de aproximadamente 2200°C (3203 K) con longitudes de onda máximo de 1,15 μm en el espectro electromagnético. El número de lámparas depende del tamaño del módulo. Las lámparas se compran por separado para el modelo 4765.

Tabla 7 – Resumen características del panel IR. Tomado de *Catalogo 4765 IR panels* Reseach Inc.

Producto	Calentador Infrarrojo Piropanel
Numero de Modelo	4765-38-30
Numero de Lámparas	30
Longitud de las Lámparas	965 mm
Modelo de las Lámparas	3800T3/VB/CL
Voltaje de las Lámparas	480v - 570 v
Potencia de las Lámparas	3800 w
Flujo de aire requerido	23,5 m³/min



Medidas en mm	Autores	Título	Empresa
Gráfico 29	Br.Romano Valletta	Etapa secado, Etapa curado	Driff C.A
Escala 1:10	Br.Lorenzo Rodriguez	Universidad Central de Venezuela	05/05/2009

3.7 Cuarta Etapa: Pintado

3.7.1 Estudio previo para el diseño de la etapa de pintado

Esta etapa automatiza el sistema de pintado, ya que se realiza por medio de la aspersión continua de polvo cargado electrostáticamente por medio de una pistola tipo tribo-eléctrica. El sistema consta de cuatro elementos esenciales que son: el almacén del polvo (Hopper), la bomba que impulsa el polvo, el sistema de control y la pistola automática. Se tiene que disponer de fuente de aire comprimido que provee al sistema de control.

3.7.2 Consideraciones para el diseño de la etapa de pintado

- El sistema de control está incluido en la maquina, este distribuye el aire hacia la bomba de polvo, la pistola y para el almacén para fluidificar el polvo. También es capaz de medir la carga producida en la pistola por medio de un cable que tiene la doble función de proveer un aterraje de la pistola.
- La pistola es de tipo tribo-eléctrica la cual carga el polvo electrostáticamente por medio de la fricción que ocurre dentro del cuerpo de la pistola entre el polvo y la superficie de teflón o nylon. No se puede utilizar la pistola de tipo Corona debido a que la pieza tiene poco aterramiento al estar colocada sobre el material de fricción en la banda, la razón principal por la que utilizamos la pistola tribo es que se puede utilizar para materiales no metálicos asegurando así la cobertura de la pieza.
- Esta máquina necesita una entrada de aire comprimido con un mínimo de 60 psi (414 KPa) y máximo de 100 psi (690 KPa), debe estar filtrada

ya que es utilizado para el sistema de control que distribuye el aire a la pistola, el almacén del polvo y a la bomba.

- En el depósito se almacena una cantidad determinada de polvo el cual es fluidificado dentro del mismo con aire comprimido, esta acción ayuda al bombeo, elimina grumos y le hace perder humedad lo que es importante para la carga dentro de la pistola. En la parte superior del depósito se localiza la bomba que funciona con aire distribuido por el controlador, la cual tiene como función el bombeo del polvo hacia la pistola.
- La velocidad de la banda es aproximadamente de 1 m/min lo que asegura el recubrimiento de toda la superficie, esta banda es metálica y contiene poros cuadrados de 1 pulg. (25,4 mm) lo que permite la recuperación del polvo.
- Se realiza la recuperación del polvo por medio de un ciclón, este recuperara el 80% del polvo no utilizado para recubrir la pieza, lo que se traduce en bajos costos de producción.
- Diagrama de funcionamiento:

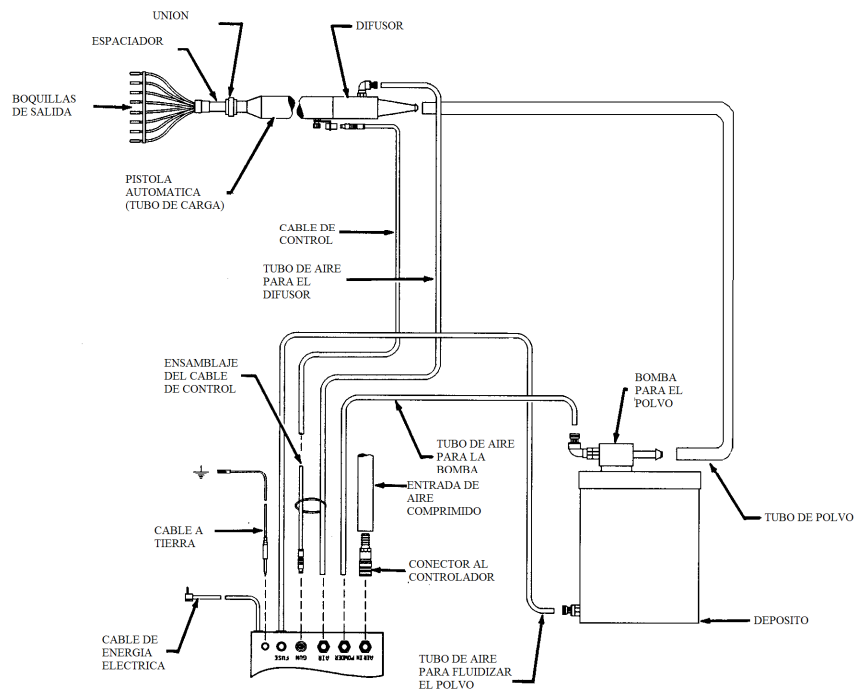


Gráfico 30 – Diagrama sistema tribo

3.7.3 Diseño de la etapa de pintado

Se realizara la selección de la maquinaria a utilizar, apoyados en los catálogos de los fabricantes, se tiene que tomar en cuenta que cada fabricante provee de todos los componentes necesarios para el correcto funcionamiento, estos componentes son: pistolas, boquillas, mangueras, tuberías, sistemas de controles, depósitos y bombas. El proveedor de este sistema es la corporación Nordson con distribuidores oficiales en Venezuela.

Pistola

Se utilizara una pistola tipo Tribo, esta es proporcionada por la corporación Nordson (Se puede utilizar pistolas y sistemas de pintado de otras

marcas con características similares pero en este caso se hizo el estudio con esta marca), se seleccionó la tipo Tribomatic® II Purgeable Automatic Powder Spray Gun Parte No. 1014255A02 ya que esta es la última generación de pistolas automáticas tipo tribo la cual tiene la cualidad que se puede purgar con para hacerle limpieza interna y así cambiar de color inmediatamente. Por medio de este método de purga se puede mantener la pistola después de cada uso para impedir la acumulación de polvo en la pistola y posibles atascamientos. Otra característica que la hace elegible es que es automática, lo que quiere decir que se puede fijar sobre una barra rígida que puede estar estática o con movimientos en un sentido, sin la necesidad de un operador esparciendo el polvo sobre la pieza.

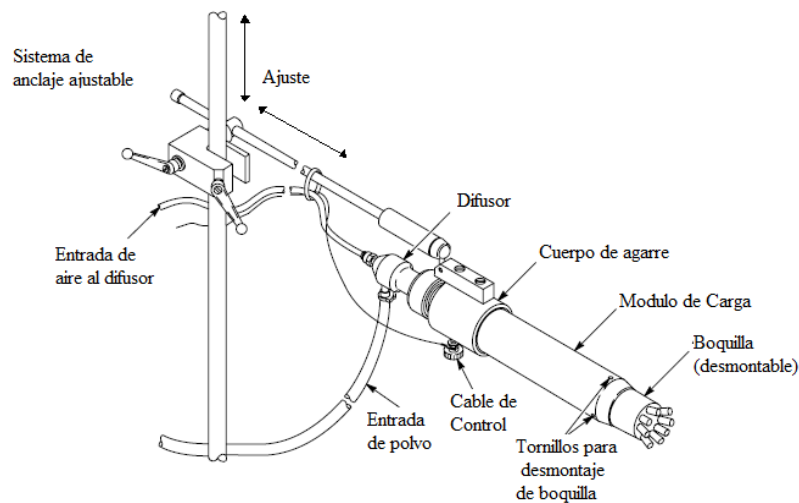


Gráfico 31 – Diagrama de pistola y soporte

Boquillas

Para este sistema automatizado se necesita cubrir toda la superficie de la banda lo que asegura el recubrimiento de todas las piezas, se utilizara un sistema de sujeción de la pistola de tipo estático esto quiere decir que no se

realizara movimiento de la pistola durante la aspersión, se busca entonces una boquilla que permita cubrir toda la zona y con esta selección sabremos la cantidad de pistolas necesarias para cubrir toda la zona, el ancho de la banda es de unos 800 mm (31,5 pulg.).

Se recurre al catalogo de boquillas y se analiza el cuadro con distintos tipos de boquillas, se selecciona la boquilla de aplicación de 16 tubos Cross a 45° de 260 mm (10,2 pulg.) de ancho, Parte No.630360 manual Tribomatic ® II Extended Automatic Powder Spray Gun, el cual describe a continuación.

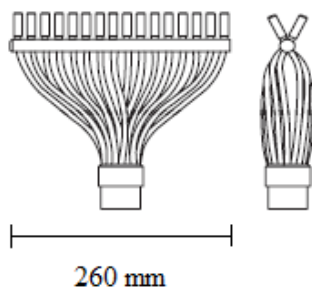


Gráfico 32 – Boquilla tipo tribo. Tomado del manual *Tribomatic ® II Extended Automatic Powder Spray Gun*, Nordson.

La utilización de 3 boquillas de 260 mm (12,3 pulg.) requiere 3 pistolas automáticas las cuales estarán dispuestas una al lado de la otra, formando una línea por todo el ancho de la banda, dejando 5 mm (0,2 pulg.) de distancia entre cada boquilla. Cada pistola tiene un sistema de control y una bomba de polvo, solo se necesita un depósito para almacenar el polvo y cada bomba se conecta por separado con su tubo de aspiración.

La distancia entre boquilla y pieza se puede variar por el tipo de anclaje de las pistolas, lo recomendado por los fabricantes es una distancia entre 8 pulg. (203,2mm) y 12 pulg. (304,8mm).

Deposito

El depósito no es solo un almacén del polvo, este se encarga también de mantener el polvo fluidificado y distribuir el polvo hacia las bombas que sean necesarias. Se utilizara la versión de 60 L (16 gal.) seleccionada del Manual 37-3 Tribomatic ® Hoppers.

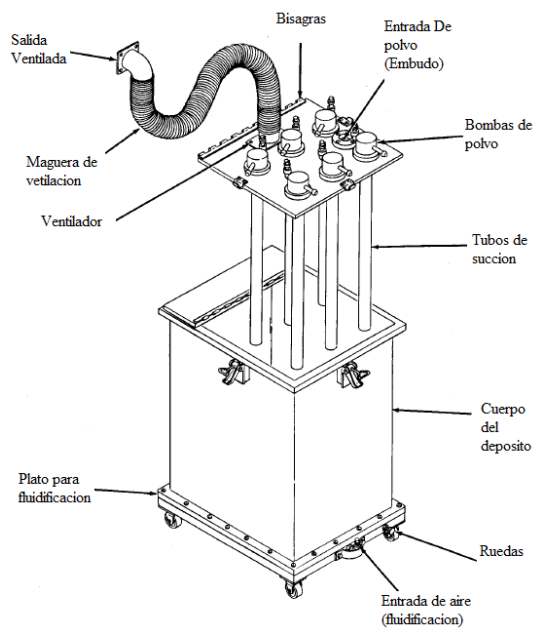


Gráfico 33 – Diagrama deposito. Tomado del *Manual 37-3 Tribomatic ® Hoppers*. Nordson.

Sistema de control

La selección del sistema de control se realiza dependiendo de la pistola y deposito a utilizar, como utilizamos fluidificación del polvo por aire y no por vibración el depósito necesita dos entradas de aire, una para fluidificar y otro para la bomba además la pistola necesita una entrada de aire para el difusor. Lo que indica que el sistema de control necesita tres salidas de aire para el sistema

de pintado y seleccionamos el sistema de control Tribomatic ® II Three-Gauge Control Unit, el cual proporciona tres vías de aire para cubrir las necesidades, también cuenta con medidores de presión y nivel de carga del polvo.

Se recomienda ajustar el flujo del difusor de la pistola a 2,5 bar (36 psi) y el flujo hacia la bomba 1,8 bar (26 psi).

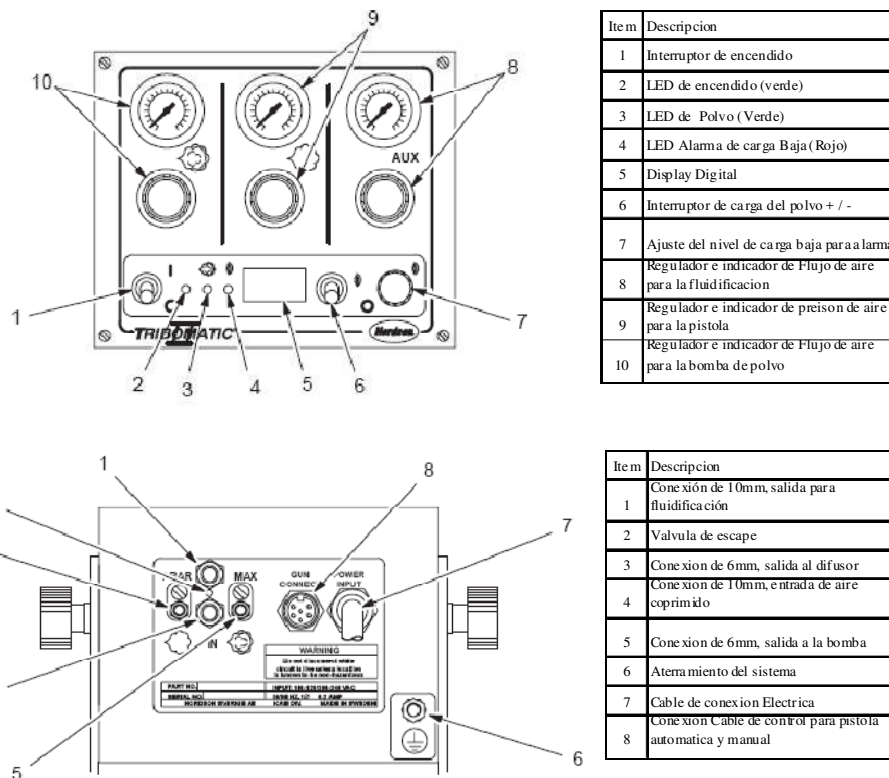


Gráfico 34 – Diagrama sistema de control, vista frontal y trasera. Tomado del *Manual Tribomatic ® II Three-Gauge Control Unit*. Nordson.

Bomba

Se utilizara una bomba tipo Tribomatic II ® Pump, con su respectivo adaptador para pistolas automáticas. Estas estarán fijadas en la parte superior del depósito cada una con su tubo de aspiración y sistema de anclaje.

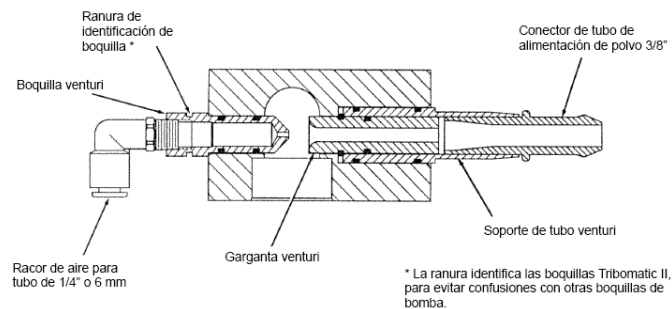


Gráfico 35 – Bomba tipo tribomatic II. Tomado del *Manual Tribomatic ® II Three-Gauge Control Unit*. Nordson.

Suministro de aire comprimido

Un detalle de estas máquinas es la entrada de aire comprimido el cual no debe de exceder de 100 psi (690 KPa) y no menor de 60 psi (414 KPa) y debe estar seco, se recomienda la colocación de filtros de aire para partículas de submicras y filtre vapor de agua y aceite.

Sistema de recolección y reciclaje de polvo

Estudio previo del sistema de recolección y reciclaje de polvo:

Para lograr una máxima eficiencia en el sistema de pintado, es necesario recoger la mayor cantidad de polvo que no se adhiere a las pastillas de freno. Este polvo que se recoge puede ser utilizado nuevamente por lo que se reciclará en una tolva para su posterior uso.

Consideraciones para el diseño:

Se requiere mantener una presión negativa en la cámara de pintado para que el recubrimiento en polvo no se salga de dicha cámara y contamine toda el área de trabajo, la velocidad a la entrada y a la salida de la cámara de pintado debe estar entre 0,5 m/s y 0,6 m/s. El tamaño de las partículas de polvo a ser recogidas ronda entre 30 μm y 50 μm .

Diseño del sistema de recolección y reciclaje de polvo:

El equipo de recolección de polvo que se selecciona es el ciclón, ya que es el equipo más económico y que cumple con los requisitos previos antes estudiados. Los márgenes de la eficiencia de remoción para los ciclones, están con frecuencia basados en las tres familias de ciclones, es decir, convencional, alta eficiencia y alta capacidad.

Los ciclones son un dispositivo de control de material en partículas bastante estudiado, el diseño de un ciclón se basa normalmente en familias de ciclones que tienen proporciones definidas.

Tabla 8. Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones. Tomado de *Diseño optimo de ciclones* por Carlos Alberto Echeverri Londoño, Medellín 2006.

Familia de Ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	Mayoría de Partículas de 30 μm	Mayoría de Partículas de 10 μm	Mayoría de Partículas de 2,5 μm
Convencionales	70 – 90	30 – 90	0 – 40
Alta Eficiencia	80 – 99	60 – 95	20 – 70
Alta Capacidad	80 – 90	10 – 40	0 – 10

Selección del tipo de ciclón.

Como el tamaño de las partículas de polvo se encuentra en los 30 μm y 50 μm y no existen requerimientos especiales, se puede utilizar un ciclón convencional. Por lo tanto seleccionamos un ciclón convencional del tipo Lapple.

Tabla 9. Características de los ciclones convencionales. Tomado de *Diseño optimo de ciclones* por Carlos Alberto Echeverri Londoño, Medellín 2006.

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de Ciclón.			
		Lapple	Swift	Peterson-Whitby	Zenz
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.5	0.583	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.25	0.25	0.208	0.25
Altura de salida	S/Dc	0.625	0.6	0.583	0.75
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.5	0.5	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	2.0	1.75	1.333	2.0
Altura parte cónica	z/Dc	2.0	2.0	1.837	2.0
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.75	3.17	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.25	0.4	0.5	0.25
Factor de configuración	G	402.88	381.79	342.29	425.41
Número cabezas de velocidad	NH	8.0	8.0	7.76	8.0
Número de vórtices	N	6.0	5.5	3.9	6.0

Cálculo del diámetro del ciclón:

Para calcular el diámetro del ciclón se selecciona una velocidad de entrada que esté en el intervalo de 15,2 a 27,4 m/s. para el diseño de este ciclón seleccionamos una velocidad de entrada de 16 m/s. con este valor se puede

determinar el diámetro del ciclón y las otras dimensiones con base en las relaciones establecidas para las familias de ciclones.

Se debe seleccionar un velocidad de entrada a la cámara de pintado que esté entre de 0,5 y 0,6 m/s, para garantizar que el polvo no salga de la cámara. Se selecciona una velocidad de entrada a la cámara de 0,55 m/s.

Cálculo del área del ducto de entrada:

$$A_d = \frac{Q_D}{V_i} = \frac{0,0588}{16} = 0,0115 \text{ m}^2$$

Donde:

A_d = Área del ducto de entrada, en m^2

V_i = Velocidad de entrada al ducto, en m/s

Q_S = Caudal de Salida de la cámara, en m^3/s

$$Q_S = V_E \cdot A_c = 0,55 \cdot 0,3360 = 0,1848 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

V_E = Velocidad a la entrada de la cámara de pintado, en m/s .

A_c = Área de total de los orificios de la cámara de pintado, en m^2

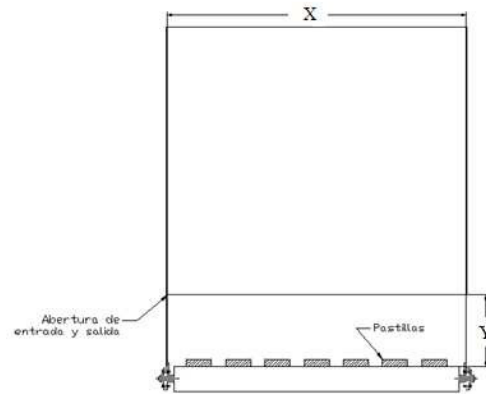


Gráfico 36 – Diagrama de compuerta de entrada y salida, medidas en mm.

$$A_c = 2 \cdot X \cdot Y = 2 \cdot 0,84 \cdot 0,2 = 0,3360 \text{ m}^2$$

Para un ciclón Lapple:

Altura de entrada del ciclón:

$$a = 0,5 \cdot D_c$$

Donde:

$D_c =$ Diámetro del ciclón, en m.

Ancho de la entrada del ciclón:

$$b = 0,25 \cdot D_c$$

Área del ducto de entrada: $A_d = a \cdot b = 0,125 \cdot D_c = 0,0115 \text{ m}^2$

Entonces:

$$D_C = \sqrt[2]{\frac{A_d}{0,5 \cdot 0,25}} = \sqrt[2]{\frac{0,0115}{0,125}} = 0,3040 \text{ m}$$

Las otras dimensiones se hallan con base en el diámetro del ciclón:

Altura de entrada del ciclón:

$$a = 0,5 \cdot D_C = 0,5 \cdot 0,3040 = 0,1520 \text{ m}$$

Ancho de entrada del ciclón:

$$b = 0,25 \cdot D_C = 0,25 \cdot 0,3040 = 0,0760 \text{ m}$$

Altura de salida del ciclón:

$$S = 0,625 \cdot D_C = 0,625 \cdot 0,3040 = 0,1900 \text{ m}$$

Diámetro de salida del ciclón:

$$D_S = 0,5 \cdot D_C = 0,5 \cdot 0,3040 = 0,1520 \text{ m}$$

Altura de la parte cilíndrica del ciclón:

$$h = 2,0 \cdot D_C = 2,0 \cdot 0,3040 = 0,6079 \text{ m}$$

Altura de la parte cónica del ciclón:

$$z = 2,0 \cdot D_C = 2,0 \cdot 0,3040 = 0,6079 \text{ m}$$

Altura total del ciclón:

$$H = 4,0 \cdot D_C = 4,0 \cdot 0,3040 = 1,2158 \text{ m}$$

Diámetro de salida de partículas:

$$B = 0,25 \cdot D_C = 0,25 \cdot 0,3040 = 0,0760 \text{ m}$$

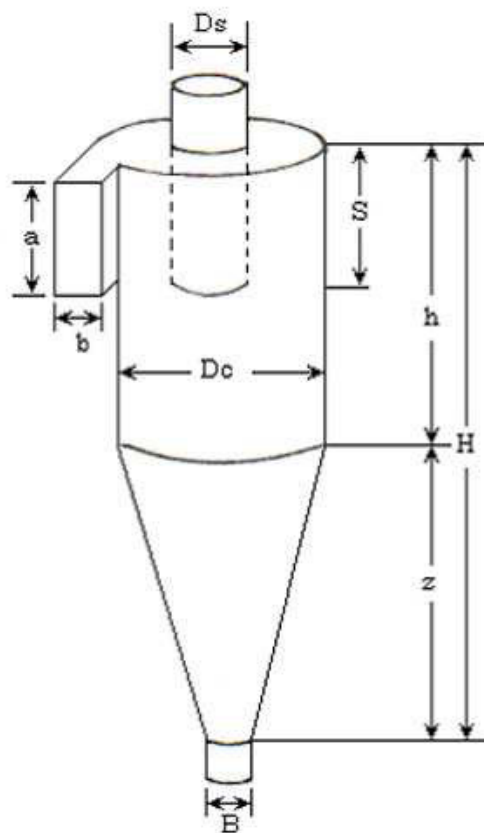


Gráfico 37 – Diagrama del ciclón. Tomado de *Diseño óptimo de ciclones* por Carlos Alberto Echeverri Londoño, Medellín 2006.

Cálculo de la eficiencia del ciclón:

Para calcular la eficiencia del ciclón se requiere calcular primero si hay o no resuspensión del polvo, ya que de presentarse resuspensión en el ciclón, la ecuación de Leith y Licht estaría sobrestimando la eficiencia del ciclón.

Para que no se presente resuspensión del material particulado, la relación de velocidades debe ser menor a 1,35.

$$\frac{V_i}{V_s} < 1,35$$

Donde, $V_s = \text{Velocidad de saltación, en } m/s$

Para hallar la relación de velocidades se requiere primero estimar la velocidad equivalente y luego la velocidad de saltación.

Velocidad equivalente:

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot g \cdot \mu \cdot (\rho_p - \rho)}{3 \cdot \rho^2}}$$

Donde:

$W = \text{Velocidad equivalente, en } m/s$

$g = \text{Aceleración de gravedad, en } m/s^2$

$\mu = \text{Viscosidad del gas portador, en } kg/m \cdot s$

$\rho_p = \text{Densidad de la partícula, en } Kg/m^3$

$\rho =$ Densidad del gas portador, en kg/m^3

Suponiendo que la corriente gaseosa es aire, las propiedades del aire a 25°C y 101,325 kPa:

$$\rho = 1,00 \text{ kg}/m^3$$

$$\mu = 1,80 \cdot 10^{-5} \text{ kg}/m \cdot s$$

Suponiendo la aceleración de gravedad igual:

$$g = 9,80 \text{ m}/s^2$$

Por datos obtenidos de catálogos de fabricantes de recubrimiento en polvo, sabemos que la densidad de partícula del mismo es igual:

$$\rho_P = 1500,00 \text{ kg}/m^3$$

Entonces,

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 9,80 \cdot 1,80 \cdot 10^{-5} \cdot (1600 - 1)}{3 \cdot 1^2}} = 0,7064 \text{ m}/s$$

Velocidad de Saltación:

$$V_S = \frac{4,913 \cdot W \cdot K_B^{0,4} \cdot D_C^{0,067} \cdot \sqrt[3]{V_i^2}}{\sqrt[3]{1 - K_B}}$$

Donde:

$K_B =$ Relación entre la base de entrada y el diámetro del ciclón,
adimensional.

$$K_B = \frac{b}{D_C} = 0,25$$

Entonces,

$$V_S = \frac{4,913 \cdot 0,7064 \cdot 0,25^{0,4} \cdot 0,3040^{0,067} \cdot \sqrt[3]{16^2}}{\sqrt[3]{1 - 0,25}} = 12,8631 \text{ m/s}$$

$$\frac{V_i}{V_S} = \frac{16}{12,8631} = 1,2439.$$

Como $\frac{V_i}{V_S} < 1,35$, no hay resuspensión del material particulado y procedemos a calcular la eficiencia del ciclón. Para ello se necesita determinar el factor de configuración, el tiempo de relajación y el exponente de vórtice.

Volumen del ciclón evaluado sobre la salida:

$$V_{SC} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(S - \frac{a}{2}\right) \cdot (D_C^2 - D_S^2) = \frac{\pi}{4} \cdot \left(0,1900 - \frac{0,1520}{2}\right) \cdot (0,3040^2 - 0,1520^2) = 0,0062 \text{ m}^3$$

Longitud natural del ciclón:

$$L = 2,3 \cdot D_S \cdot \sqrt[3]{\frac{D_C^2}{a \cdot b}} = 2,3 \cdot 0,1520 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,3040^2}{0,1520 \cdot 0,0760}} = 0,6991 \text{ m}$$

Condición: $L < H - S$

$$0,6991 \text{ m} < 1,2159 \text{ m} - 0,1900 \text{ m}$$

$$0,6991 \text{ m} < 1,0259 \text{ m}$$

Ya que se cumple la condición, calculamos el volumen evaluado sobre la longitud natural del ciclón.

Factor de dimensiones lineales:

$$K_L = D_C - (D_C - B) \cdot \left[\frac{S + L + h}{z} \right] = 0,3040 - (0,3040 - 0,0760) \cdot \left[\frac{0,1900 + 0,6991 + 0,6079}{0,6079} \right] = 0,1985 \text{ m}$$

Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural:

$$V_R = \frac{\pi}{4} \cdot D_C^2 \cdot (h - S) + \frac{\pi}{12} \cdot D_C^2 \cdot (L + S - h) \cdot \left[1 + \frac{K_L}{D_C} + \left(\frac{K_L}{D_C} \right)^2 \right] - \frac{\pi}{4} \cdot D_S^2 \cdot L =$$

$$\frac{\pi}{4} \cdot 0,3040^2 \cdot (0,6079 - 0,1900) + \frac{\pi}{12} \cdot 0,3040^2 \cdot (0,6991 + 0,1900 - 0,6079) \cdot \left[1 + \frac{0,1985}{0,3040} + \left(\frac{0,1985}{0,3040} \right)^2 \right] - \frac{\pi}{4} \cdot 0,1520^2 \cdot 0,6991$$

$$V_R = 0,0318 \text{ m}^3$$

Factor dimensional de las proporciones volumétricas del ciclón:

$$K_C = \frac{\left(V_{SC} + \frac{V_R}{2}\right)}{D_C^3}$$

$$K_C = \frac{\left(0,0062 + \frac{0,0318}{2}\right)}{0,3040^3} = 0,7869 \text{ m}^3$$

Relación entre la altura de entrada y el diámetro del ciclón:

$$K_a = \frac{a}{D_C} = 0,5$$

Factor de configuración:

$$G = \frac{8 \cdot K_C}{(K_a \cdot K_b)^2}$$

$$G = \frac{8 \cdot 0,7869}{(0,5 \cdot 0,25)^2} = 402,8758$$

Exponente de vórtice:

$$n = 1 - (1 - 0,67 \cdot D_C^{0,14}) \cdot \left[\frac{T}{283}\right]^{0,3}$$

Donde, $T = \text{Temperatura del gas, en K}$

$$n = 1 - (1 - 0,67 \cdot 0,3040^{0,14}) \cdot \left[\frac{298,5}{283}\right]^{0,3} = 0,6534$$

Tiempo de relajación:

$$t = \frac{\rho_P \cdot D_P^2}{18 \cdot \mu}$$

Donde, $D_P =$ Diámetro promedio de la partícula de polvo, en m

Asumiendo que el tamaño de las partículas de polvo se encuentra entre los 30 μm y 50 μm , el diámetro promedio será:

$$D_P = 40 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Entonces,

$$t = \frac{1500 \cdot (40 \cdot 10^{-7})^2}{18 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5}} = 7,4074 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

Eficiencia del ciclón:

$$\eta = 1 - e^{\left[-2 \cdot \left(\frac{G \cdot t \cdot Q_S \cdot (n+1)}{D_C^3} \right)^{\frac{0,5}{n+1}} \right]}$$

$$\eta = 1 - e^{\left[-2 \cdot \left(\frac{402,8758 \cdot 7,4074 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1848 \cdot (0,6534+1)}{0,3040^3} \right)^{\frac{0,5}{0,6534+1}} \right]} = 0,7591 = 75,91\%$$

Como la concentración de partículas es mayor a 2,0 g/m^3 , la ecuación debe corregirse con la siguiente relación:

$$\frac{100 - \eta_1}{100 - \eta_2} = \left[\frac{C_2}{C_1} \right]^{0,182}$$

En este caso η_1 será la eficiencia hallada en la ecuación anterior y C_1 toma el valor de $2,0 \text{ g/m}^3$ y η_2 será la nueva eficiencia para una concentración de partículas C_2 a condiciones de referencia mayor de $2,0 \text{ g/m}^3$.

Haciendo un análisis de conservación de masa tenemos que:

$$\dot{m}_i - N_p \cdot V \cdot A_p \cdot P \cdot \rho_p = \dot{m}_s$$

Donde:

$\dot{m}_i =$ Flujo másico de polvo que entra a la cámara, en g/s

$N_p =$ Número de pastillas por metro de malla de transporte, en m^{-1}

$V =$ Velocidad de transporte de la malla, en m/s

$A_p =$ Área total de la pieza a pintar, en

$P =$ Grosor de la película de recubrimiento, en

$\dot{m}_s =$ Flujo másico de polvo que sale de la cámara, en g/s

Asumiendo que,

$$N_p = 35 \text{ Pastillas/m}$$

$$V = 0,01667 \text{ m/s}$$

$$A_p = 0,0085 \text{ m}^2$$

$$P = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$\dot{m}_i = 3 \cdot Q_i \cdot C_i$$

Donde:

$Q_p =$ Caudal de salida de la pistola, en m^3/s

$C_i =$ Concentración de polvo de salida de la pistola, en g/m^3

Los fabricantes de pistolas recomiendan un caudal de salida de 238 gal/min ($0,01501m^3/s$) para cada pistola, a una concentración de $400 g/m^3$.

$$m_i = 3 \cdot 0,01501 \cdot 400 = 18,0166 g/s$$

$$\dot{m}_s = Q_s \cdot C_2$$

Donde:

$C_2 =$ Concentración de polvo de salida de la cámara, g/s

$$C_2 = \frac{\dot{m}_i - N_p \cdot V \cdot A_p \cdot P \cdot \rho_p}{Q_s} = \frac{18,0166 - 35 \cdot 0,01667 \cdot 0,0085 \cdot 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 1500}{0,1848}$$

$$C_2 = 97,4920 g/s$$

Por lo tanto la eficiencia corregida es:

$$\eta_2 = 100 - \frac{100 - \eta_1}{\left[\frac{C_2}{C_1}\right]^{0,182}} = 100 - \frac{100 - 75,91}{\left[\frac{97,4920}{2,0}\right]^{0,182}} = 88,1250 \%$$

Cálculo de la caída de presión:

Número de cabezas de velocidad:

$$N_H = K \cdot \frac{a \cdot b}{D_S^2}$$

Donde, $K = \text{Constante}$, toma el valor de 16 para entrada tangencial

$$N_H = 16 \cdot \frac{0,1520 \cdot 0,0760}{0,1520^2} = 8$$

Caída de presión:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_i^2 \cdot N_H = \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 16^2 \cdot 8 = 1024 \text{ Pa}$$

Selección del Polvo

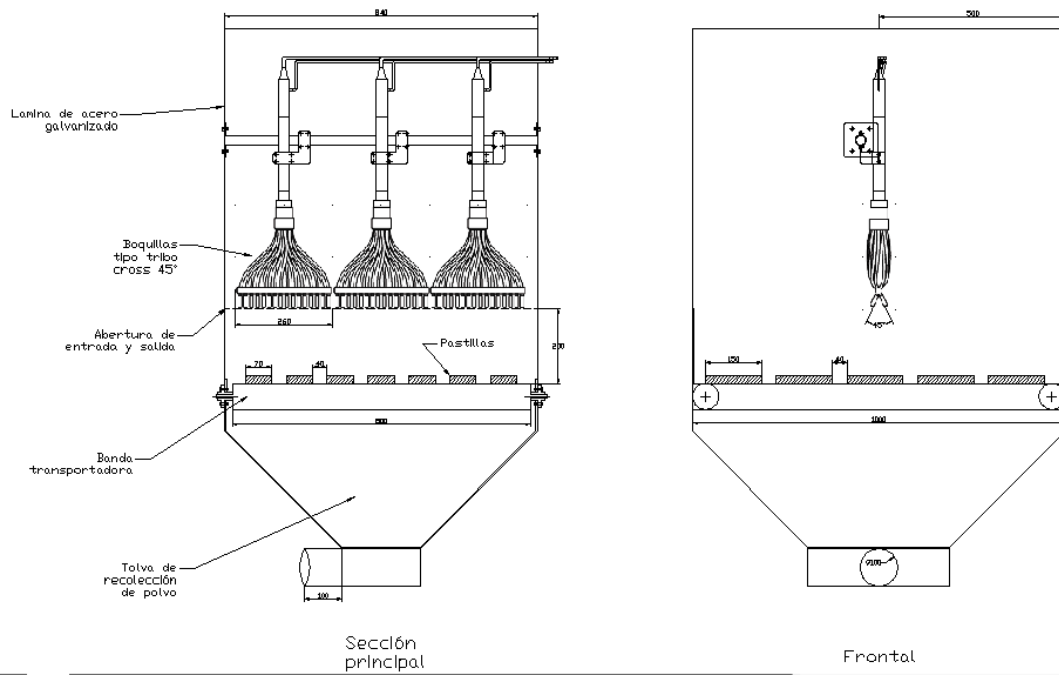
Actualmente existen una gran variedad de polvos comerciales, sin embargo para la selección del mismo se tienen que estudiar los requerimientos finales de la pieza, ya que esta va a ser utilizada en ambientes exteriores y sistemas automotrices, por lo que debe de tener resistencia a los abrasivos químicos tales como: fluido hidráulico, lubricantes y refrigerantes, a demás de ser sometida a altas temperaturas causada por la fricción. Otra característica que debe estar presente en el recubrimiento es su resistencia mecánica a la deformación e impacto superficial.

El polvo que cumple con todos los requisitos mencionados en el párrafo anterior para el pitado, es el polvo termoestable, la selección se debe a que estos polvos tienen la cualidad de que luego de pasar por el proceso de fundición de la fase de curado, forma una capa de un polímero infusible e insoluble, las cuales representan características totalmente necesarias para los requerimientos de la pieza cuando se encuentran en uso. Los plásticos termoestables poseen

algunas propiedades ventajosas respecto a los termoplásticos. Por ejemplo, mejor resistencia al impacto, a los solventes, a la permeación de gases y a las temperaturas extremas. Entre las desventajas se encuentran, generalmente, la dificultad de procesamiento, la necesidad del curado, el carácter quebradizo del material (frágil) y el no presentar reforzamiento al someterlo a tensión.

Al tener el epoxi un carácter quebradizo y entizarse por la exposición a los rayos UV, actualmente se realizan mezclas con poliéster llamados híbridos el cual le proporciona al recubrimiento una mayor flexibilidad sin perder los beneficios del epoxi y mayor protección a los rayos UV. Pero se llega a la conclusión que el poliéster T.G.I.C tiene un carácter más industrial ya que provee alta dureza superficial, flexibilidad, protección a los rayos UV (mejor a los híbridos), protección a los químicos y al calor excesivo.

Se recurre entonces a fabricantes nacionales para la adquisición de dicho polvo termoestable, contactándose así a la C. A. Venezolana de Pinturas la cual lo fabrica y es denominado por ellos Poliéster T.G.I.C, Línea: PD6 (Polvadure) con gran variedad de colores y son fácilmente elegibles por medio de un catalogo de muestras (Catalogo Polvadure Revestimiento en Polvo). Se puede utilizar otras marcas de polvo que tengan las mismas características.



Medidas en mm	Autores	Título	Empresa
Gráfico 38	Br.Romano Valletta	Etapa de Pintado	Driff C.A
Escala 1:10	Br.Lorenzo Rodriguez	Universidad Central de Venezuela	05/05/2009

3.8 Sistema de Transporte

3.8.1 Estudio previo para el diseño del sistema de transporte

En el proceso de producción de pastillas de frenos, se requiere que el sistema de pintado sea lo más rápido posible para evitar posibles atascos en la línea de producción. El diseño de una línea continua y automatizada es la solución más apropiada, siendo el sistema de transporte quien nos brindará la velocidad de producción y por tanto el volumen de producción diario de la planta.

Las pastillas de freno deben estar conectadas a tierra a través del sistema de transporte para conseguir la adherencia del recubrimiento en polvo, las piezas no tienen agujeros ni pueden ser perforadas para facilitar el agarre, las pastillas no requieren ser pintadas por la parte inferior o superficie de fricción por lo que ésta es la zona más apropiada para producir el agarre o el apoyo en el sistema de transporte. El dispositivo de agarre o soporte debe ser metálico para garantizar la conexión a tierra.

La pastilla debe pasar por distintas etapas para completar el pintado, la máquina de transporte debe soportar las altas temperaturas de la etapa de secado y curado, debe ser auto limpiante o contar con un dispositivo para remover los restos de polvo que se adhieren a la misma en la etapa de pintado y debe ser resistente a la corrosión ya que pasará por las etapas de fosfatizado y enjuagado, en las cuales estará en contacto directo con agua.

3.8.2 Consideraciones para el diseño del sistema de transporte

- A. Tipo de agarre: puede variar entre transporte por bandas, cadenas, cestas y cómo influye este parámetro en la etapa de pintura además del espacio necesario para su instalación.
- B. Velocidad de transporte: se selecciona dependiendo de las características de las piezas a transportar y el material del sistema.
- C. Requerimientos especiales: este depende las de etapas a las que está sometido el sistema como temperatura, sistema de aterramiento, pintura en polvo, radiación en la fase de curado.
- D. Material a transportar: se tiene que tomar en cuenta el tipo de material, si este es almacenado a granel o por piezas y el tamaño de las piezas.
- E. Mantenimiento: el sistema necesita una limpieza, lubricación e inspección de partes y piezas que componen todo el sistema de transporte.
- F. Costo de Inversión: Es uno de los parámetros fundamentales que busca reducir los costos. Por lo tanto se tomará en cuenta toda la inversión necesaria para la puesta en marcha de cada una de las propuestas (nueva infraestructura, compra de equipos, actualización de equipos existentes, etc.)
- G. Costo de Operación: Este parámetro es fundamental en la búsqueda del retorno del capital invertido. Por lo tanto se tomará en cuenta todos los gastos involucrados en la operación del proceso (materia prima, personal calificado, demanda de energía, etc.)

3.8.3 Matriz Morfológica

Propuestas a considerar en el diseño:

- I. Transporte por cestas aéreas metálicas, con una moderada velocidad de transporte la cual se desplaza por todas las etapas necesarias.
- II. Transporte por banda de goma, transporta las piezas por todas las etapas en línea recta, en donde se puede variar la velocidad colocando las piezas directamente sobre la banda.
- III. Transporte por banda de metal de tipo malla con velocidad de transporte moderada con gran capacidad de carga y se colocan las piezas directamente en la banda.
- IV. Colgar las piezas individualmente por ganchos por medio de un transporte por cadenas aéreo los ganchos también son metálicos para permitir el contacto con tierra.
- V. Transporte por banda de plástico de tipo malla con velocidad de transporte moderada con gran capacidad de carga y se colocan las piezas directamente en la banda.

Ponderación de los parámetros:

- A. Tipo de transporte: (20%)
- B. Velocidad de transporte: (10%)
- C. Requerimientos especiales: (30%)
- D. Material a transportar: (10%)
- E. Mantenimiento: (10%)
- F. Costo de Inversión: (10%)
- G. Costo de Operación: (10%)

Matriz Morfológica- Estudio:

Tabla 10 – Matriz morfológica diseño de sistema de transporte

PROPUESTA	PONDERACION DE LOS PARAMETROS							TOTAL
	20%	10%	30%	10%	10%	10%	10%	
	A	B	C	D	E	F	G	
I	1	2	4	1	4	2	2	2,5
II	1	4	2	5	1	5	1	2,4
III	5	3	4	4	4	2	4	3,9
IV	3	3	4	2	4	1	2	3
V	5	3	1	4	4	3	4	3,1

Escala de medición	
5	Ideal
4	Muy factible
3	Factible
2	Poco Factible
1	No Factible

Propuesta III.

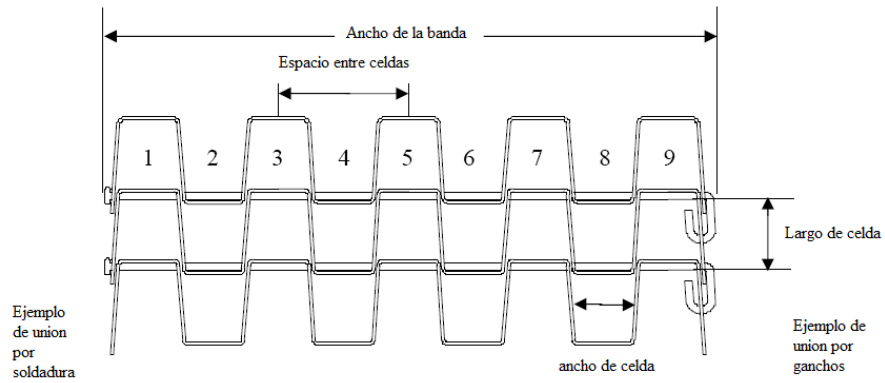
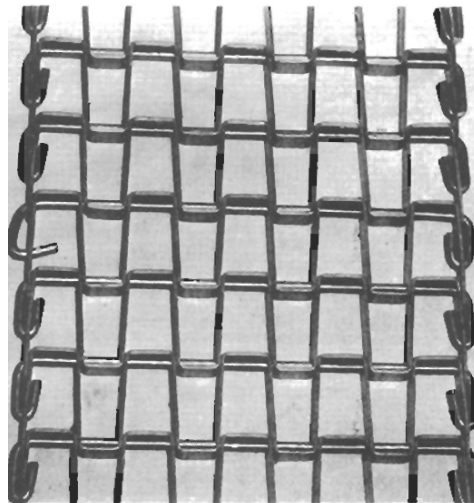


Gráfico 39 – Propuesta de banda tipo malla metálica

Gráfico 40 – Fotografía de la malla. Tomado de *Flat wire belt assembly*, Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 2

3.8.4. Diseño del sistema de transporte

Ancho de la malla: 800mm (31,5 pulg.)

Longitud: 8,5 m (28 ft.)

De acuerdo a la propuesta anteriormente seleccionada, el sistema de transporte estará compuesto por una malla metálica, las pastillas de freno se colocaran directamente sobre ésta y dicha malla estará conectada a tierra para garantizar la adherencia del polvo electrostáticamente cargado.

La malla será de acero galvanizado que cumple con los requerimientos de temperatura en la etapa de secado y curado, y con una resistencia a la corrosión suficiente para prevenir el deterioro en las etapas de fosfatizado y enjuagado.

El equipo constará con un rascador para eliminar los residuos de recubrimiento que se adhieran a la malla en la etapa de pintado.

Diseño del sistema de tracción.

La tracción del sistema de transporte será por ruedas dentadas que proveen un desplazamiento positivo de la correa previniendo el deslizamiento entre la correa y la rueda y producen una menor pérdida de potencia, los dientes de la correa ayudan a mantener la correa alineada.

Selección de la malla.

Por medio de catálogos de distribuidores exclusivos de Venezuela se realiza la selección de la malla metálica, marca KeyStone ®. Se puede utilizar otras marcas de transportadores con las mismas características especificadas a continuación.

Tabla 11 – Modelos de mallas metálicas. Tomando de *Flat wire belt assembly*, Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 2.

Diseño	Malla	Peso (lbs./pie ²)	Tensión Máxima (lbs./pie de ancho)
S1 S2	1" x 1"	1,85	480
S3 S4	½" x 1"	2,20	660
S5	½" x ½"	3,25	750
S6 S7	½" x 1" mod	2,50	660
S8	¾" x 1"	2,00	550
H1 H4	1" x 1"	3,50	1350
H2 H5	½" x 1"	3,90	1750
H3	½" x 1" mod	4,85	1750

Se verifica en la tabla anterior la tensión máxima y se comienza por los primeros modelos ya que son más económicos. Luego se estudia los resultados para verificar que la tensión en la banda sea menor a la tensión máxima permitida.

Descripción:

Modelo: S1

Tamaño de la celda de la malla: 2,54cm × 2,54 cm

Peso de la malla: 9,0406 kg/m²

Tensión máxima permisible: 750 kg/m de ancho de la malla

Ancho de la malla: 0,8 m

Longitud de Transporte: 8,5 m

Celdas a lo ancho: 31, cubre 31 pulg. (787,4 mm)

Soportes del sistema de Transporte:

Para la selección del tipo de soporte se realiza un estudio del material a transportar, velocidad de transporte y costo del sistema de soporte. En la pág. 71 de este trabajo se realiza una explicación de cada uno de los soportes organizado por orden de sencillez y costo del sistema, teniendo de primero el soporte por rodillos pero tiene la desventaja que existe un desnivel vertical a lo largo del sistema lo cual es perjudicial para nuestro equipo de pintura.

Lo que nos lleva al soporte de espiga y al longitudinal, entre estos dos soportes el longitudinal es el más económico y fácil de elaborar, la desventaja es que se pueden realizar surcos a lo largo de la banda causado por desgaste pero el peso del material a transportar es bajo y se puede colocar los soportes escalonadamente, también tomamos en cuenta que este soporte permite el flujo

de aire y líquidos lo cual es un requerimiento primordial y limitante para el soporte sólido.

Por los motivos expuestos anteriormente se selecciona el soporte longitudinal. Se recomienda utilizar materiales disimiles entre la banda el soporte o en su defecto acero galvanizado pulido. A continuación se muestran medidas generales se muestra más detallado grafico al final del diseño del sistema de transporte y soportes

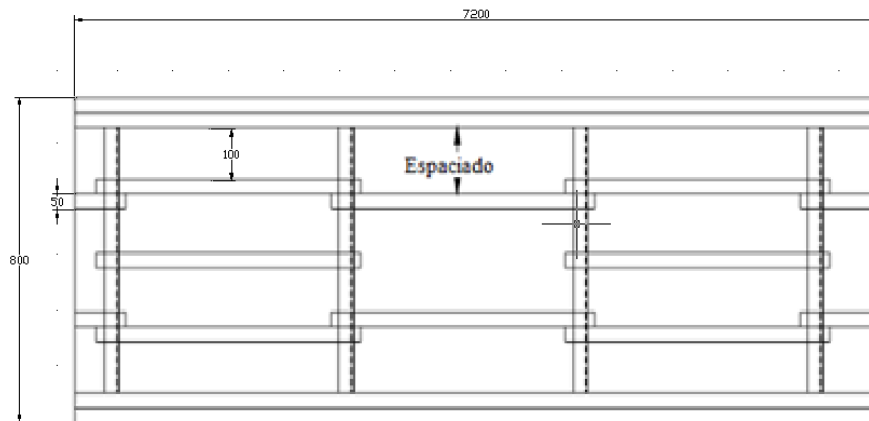


Grafico 41 – Soporte longitudinal, medidas en mm, (no está representado a escala).

Cálculo de la tensión para correas de malla metálica:

La tensión de transporte es usada para determinar la carga máxima que soportará la correa sin fatiga prematura o fallas.

Determinación de la tensión de transporte (T_t):

$$\begin{aligned} Tt &= (F \cdot A \cdot L)(2Pc + Pl) \\ &= (0,35 \cdot 0,8 \cdot 7,583)(2 \cdot 9,0406 + 10,9375) \\ &= 61,63 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Donde:

Tt = Tensión de transporte, en Kg

Pc = Peso de la malla, en Kg/m²

A = Ancho de la malla, en m

Pl = Peso de la carga, en Kg/m²

F = Factor de fricción, adim. (ver Anexo 6)

L = Longitud de Transporte, en m

Si se usa la correa a una alta temperatura, se debe multiplicar el valor máximo de tensión permisible por pie de ancho, por un factor del anexo para obtener la tensión máxima de trabajo a una temperatura elevada. En nuestro sistema no alcanza altas temperaturas.

$$Pc = \frac{Np \cdot Pp}{Ac} = \frac{35 \cdot 0,250}{0,8} = 10,93 \text{ Kg/m}^2$$

Donde:

Np = Número de pastillas por metro de malla de transporte

Pp = Peso promedio de las pastillas, en Kg

Ac = Área de malla en un metro de longitud, en m²

$$Tt_A = \frac{Tt}{A} = \frac{61,6366}{0,8} = 77,04 \text{ Kg/m}$$

Donde:

Tt_A = Tensión de transporte por el ancho de la malla, en Kg/m

La Tt_A es menor que la Tensión máxima permisible, por lo tanto se garantiza que la malla no presentará fatiga prematura o fallas.

Selección de rueda dentada para correas de malla metálica.

La vida de la correa está relacionada al número de dientes de la rueda, ruedas de grandes diámetros tienen gran número de dientes y la carga se propaga en un mayor número de dientes, lo que lleva a alargar la vida de la rueda.

El fabricante de la malla nos presenta cuatro medidas distintas de ruedas dentadas que funcionan eficientemente con el modelo seleccionado, debido a las bajas velocidades de desplazamiento de la malla se selecciona la rueda de menor diámetro, modelo 13S de 4 pulg. (101,6 mm) de diámetro.

Descripción de la rueda dentada:

Modelo: 13S

Diámetro primitivo: 4 pulg (0,10 m)

Número de dientes: 13

Material: Fundición Gris

Diametro exterior: 4,35 pulg (0,11 m)

Carga máxima por rueda: 70 lbs (31,70 kg)

$$N = \frac{V}{\pi \cdot D} = \frac{1}{\pi \cdot 0,1016} = 3,13 \text{ rpm}$$

Donde:

N = Velocidad angular de la rueda, en rpm

V = Velocidad lineal de mall, en m/min

D = Diametro primitivo de la rueda, en m

Cálculo del número de ruedas motrices:

La localización apropiada de las ruedas es esencial para una operación suave y sin problemas, las ruedas dentadas siempre deben moverse en contra de las conexiones de la correa. Esto puede ser complementado posicionando las ruedas de potencia en las líneas impares y las ruedas de retorno en las líneas pares.

$$N_R = \frac{A}{E} + 1 = \frac{800}{150} + 1 = 6,33 \approx 6 \text{ ruedas}$$

Donde:

N_R = Número de ruedas motrices, en enteros

A = Ancho de la malla , en mm

$E =$ Espacio mínimo requerido por rueda, en mm

Se verifica que el número de ruedas soportara la carga.

$$N_R \geq \frac{Tt}{Tr_{max}} = \frac{69,0645}{31,78} = 2,17$$

Donde:

$Tr_{max} =$ Carga máxima que soporta una rueda, en Kg

El número de ruedas es mayor que el valor permisible para soportar la carga, por lo tanto 6 ruedas es la selección ideal para el arrastre de la malla.

Cálculo del número de ruedas de retorno:

El espaciado de las ruedas de retorno debe ser entre 6 y 9 pulg. (152 y 228 mm), las ruedas de retorno deben estar agujereadas, excepto la rueda central que debe estar acoplada para asegurar la rotación del eje. Las ruedas agujereadas deben estar acollaradas para prevenir el movimiento lateral.

$$N_c = \frac{A}{E_c} = \frac{800}{200} = 4$$

Donde:

$N_c =$ Número de ruedas de cola, en enteros

$E_c =$ Espacio mínimo requerido en ruedas de cola

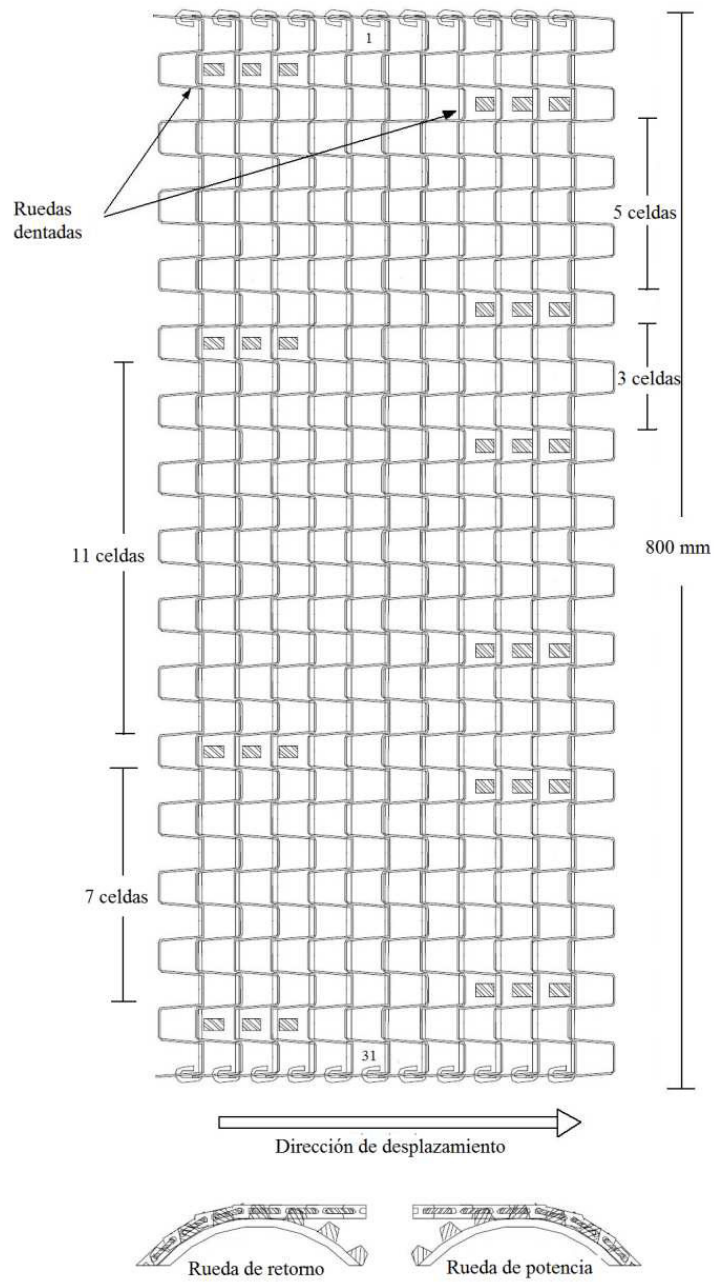


Gráfico 42 – Modelo de malla metálica, disposición de ruedas dentadas, vista planta y frontal (no está representado a escala)

Dispositivos de tensión del sistema de transporte.

Para el ajuste de la malla se empleará la curva catenaria, dicho ajuste es el más económico y altamente efectivo en sistema cortos y que tiene pocas fluctuaciones en las longitudes. El excedente de correa simplemente se deja caer después de la rueda de potencia y a lo largo de todo el retorno del sistema de transporte se empleará una estructura de acero que soporte la malla durante el recorrido. Se muestra en el Gráfico 10 – pág. 70.

3.9 Estructura**3.9.1 Diseño de la carcasa**

Se realizará la selección del material y grosor de la cubierta superficial del equipo de pintado. La carcasa debe soportar agentes que causan corrosión y calor. Por ende se selecciona una lámina metálica galvanizada, de poco espesor debido a que no está sometida a cargas. Se recurre a manuales de fabricantes nacionales de láminas galvanizadas.

Por medio de estos manuales se seleccionó una lamina de acero galvanizado con acero base tipo SAE 1006 con calidad comercial A-924/A-653 y COVENIN 941-76, calibre 20 (0,9 mm de espesor) con $7,43 \text{ Kg/m}^2$.

Estas laminas se van a disponer de tal manera que se forme un cajón superior a las etapas de desengrasado y fosfatizado, enjuagado y por último el pintado, se unirán las laminas por medio de remaches en las esquinas, para la colocación de los remaches se doblaran las laminas en sus bordes y se realizará una boca de visita en la parte superior de 500 x 500 mm colocándole bisagras para la apertura de la compuerta.

3.9.2 Diseño de la estructura

Para este diseño se toma en cuenta las cargas de los tanques de líquido, banda transportadora, peso de las láminas de galvanizado, bombas y accesorios.

Por un estudio previo de los pesos de cada una de las etapas se determinó la etapa que tiene mayor peso y por medio de esta se diseñará la estructura final, y se realiza un estándar para todas las etapas. El estudio dio como resultado que la etapa de fosfatizado - desengrasado y el enjuagado son las etapas que aportan mayor peso a la estructura.

El peso aportado por las láminas de galvanizado se aproxima a 52 kg, ya que se calculó el área a cubrir con la carcasa y el tanque y dio como resultado unos 7 m² a 7,43 Kg/m². El soporte de la banda se aproxima a 10 Kg/m.

El peso aportado por los accesorios se aproxima en un 8 Kg por el peso de la bomba y la tubería. Por la banda transportadora unos 8,5 Kg ya que todo el sistema de la banda tiene un peso de 65 Kg los cuales se dividen por los 8 metros de largo. El peso de las pastillas de freno son 60 Kg entre los 8 metros de largo queda 8 Kg.

Por último se determinó el peso del líquido del tanque, el cual tiene una capacidad de 455 litros y se aproxima que tiene un peso de 460 Kg.

Dando un total de 550 Kg el peso total de la etapa, para el cual se diseña una serie de columnas y vigas con las dimensiones que se señalan a continuación.

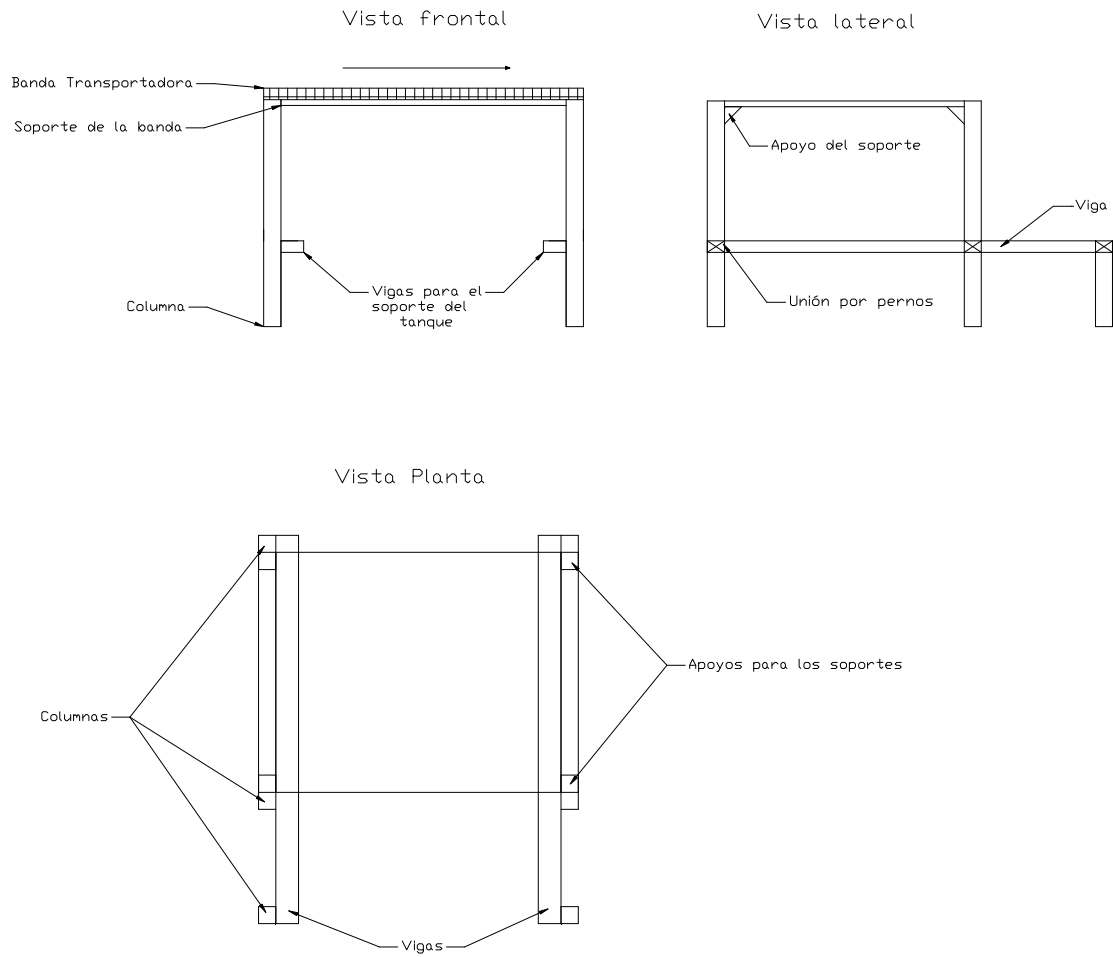


Gráfico 43 – Esquema de vigas y columnas para los soportes de la primera y segunda etapa.

3.9.2.1 Cálculo de esfuerzos en las vigas

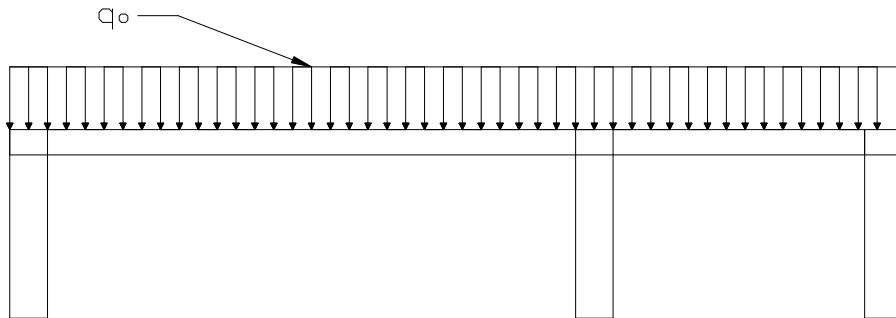


Gráfico 44 – Cargas distribuidas aproximadas en la viga (vista lateral).

$$q_o = \frac{M \cdot g}{N \cdot L} = \frac{500 \cdot 9,81}{2 \cdot 1,3} = 1884,61 \text{ N/m}$$

q_o = peso del tanque por unidad de longitud (por viga), en N/m

M = masa del tanque, en Kg

N = número de vigas

L = longitud de la viga, en m

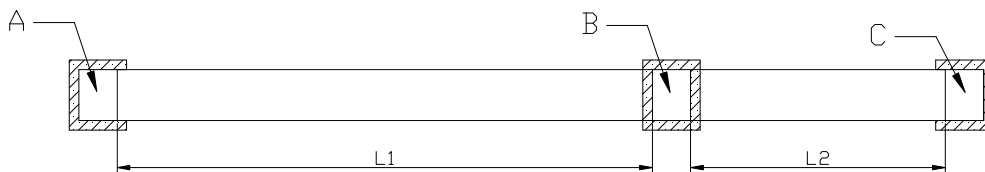


Gráfico 45 – Denotación de puntos en la viga (vista planta) dividida por tramos.

Tramo AB:

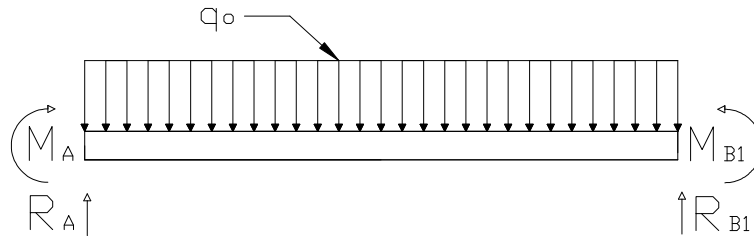


Gráfico 46 – Tramo AB, momentos y reacciones.

$$L_1 = 0,65 L = 0,84 \text{ m}$$

$$M_A = -M_{B1} = -\frac{q_0 \cdot L_1^2}{12} = -110,81 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$R_A = R_{B1} = \frac{q_0 \cdot L_1}{2} = 791,53 \text{ N}$$

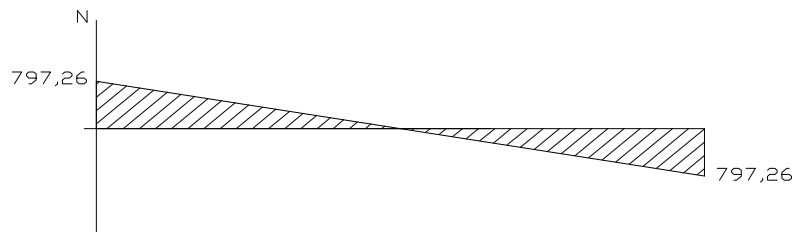


Gráfico 47 – Diagrama fuerza cortante.

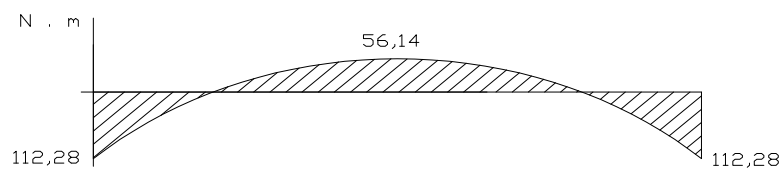


Gráfico 48 – Diagrama de momento flector.

Tramo BC:

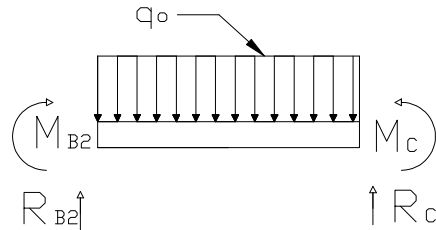


Gráfico 49 – Tramo BC, momentos y reacciones.

$$L_2 = 0,35 L = 0,45 \text{ m}$$

$$M_C = -M_{B2} = \frac{q_0 \cdot L_2^2}{12} = 31,80 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$R_C = R_{B2} = \frac{q_0 \cdot L_2}{2} = 424,03 \text{ N}$$

$$R_B = R_{B1} + R_{B2} = 1215,56 \text{ N}$$

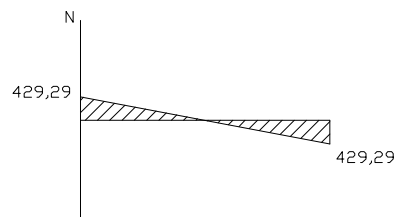


Gráfico 50 – Diagrama fuerza cortante.

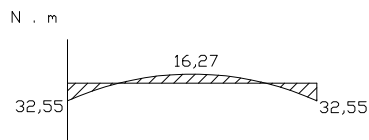


Gráfico 51 – Diagrama de momento flector.

$$M_{MAX} = 110,81 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{PERM} \geq \frac{M_{MAX}}{S}$$

$$\sigma_{PERM} = 0,72 \sigma_y = 2,53 \cdot 10^6 \text{ MPa (datos de fabricante)}$$

$$S = \frac{M_{MAX}}{\sigma_{PERM}} = \frac{110,92 \text{ N} \cdot \text{m}}{2,53 \cdot 10^6 \text{ MPa}} = 4,38 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 4,38 \text{ cm}^3$$

Selección del tubo estructural

Por medio de este valor se selecciona el tubo estructural rectangular, proporcionado por Conduven C.A.

$$H \times B = 80 \times 40 \text{ mm}$$

$$e = 2,25 \text{ mm}$$

$$r = 3,38 \text{ mm}$$

$$S = 6,92 \text{ cm}^3$$

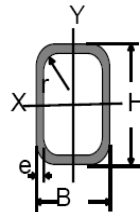


Gráfico 52 – Sección transversal de tubo estructural tipo ECO rectangular.

3.9.2.2 Cálculo de esfuerzos en las columnas

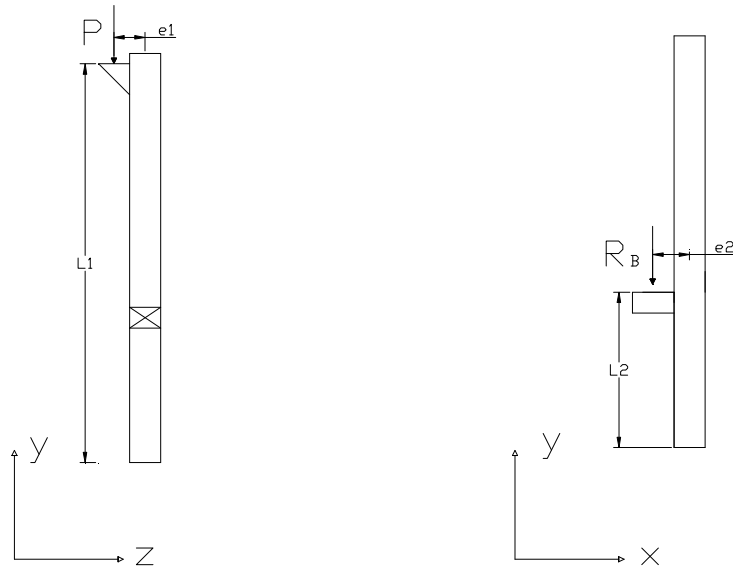


Gráfico 53 – Columna en los planos YZ y XY, Reacciones.

$P = \text{peso del soporte y la carcasa} = 122,63 \text{ N}$

$R_b = \text{reaccion maxima de la viga} = 1226,55 \text{ N}$

$e_1 = 0,13 \text{ m}$

$e_2 = 0,07 \text{ m}$

Selección del tubo estructural

Por medio de este valor se selecciona el tubo estructural cuadrada, proporcionado por Conduven C.A.

$$H \times B = 60 \times 60 \text{ mm}$$

$$e = 2,25 \text{ mm}$$

$$r = 3,38 \text{ mm}$$

$$S = 9,13 \text{ cm}^3$$

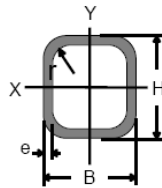


Gráfico 54 – Sección transversal de tubo estructural tipo ECO, cuadrada.

Para que la columna no falle por flexo-compresión se tiene que cumplir la siguiente condición:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fbx}{Fb} + \frac{fbz}{Fb} < 1$$

fa = Esfuerzo por compresion, en MPa.

Fa = Esfuerzo maximo permisible por compresion, en MPa.

fbx = Esfuerzo por flexion en el plano XY, en MPa.

Fb = Esfuerzo maximo permisible por flexion, en MPa.

fbz = Esfuerzo por flexion en el plano YZ, en MPa.

Relación de esbeltez:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{3515}} = 108,59$$

$$L_{e2} = 2,1 \cdot L_2 = 2,1 \cdot 30$$

$$L_{e2} = 0,63 \text{ m}$$

C_c = Relación de esbeltez, adim.

E = Módulo de elasticidad = 210.000MPa

Si se cumple esta condición la columna no es esbelta.

$$C_c > \frac{L_e}{r}$$

$$\frac{L_{e2}}{r} = \frac{0,63 \text{ m}}{0,0234 \text{ m}} = 26,92$$

Se cumple la columna no es esbelta.

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3 \cdot \frac{L_e}{r}}{8 \cdot C_c} - \frac{\left(\frac{L_{e2}}{r}\right)^3}{8 \cdot C_c^3} = \frac{5}{3} + \frac{3 \cdot 26,92}{8 \cdot 108,59} - \frac{(26,92)^3}{8 \cdot 108,59^3} = 1,75$$

FS = Factor de seguridad, adim.

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\frac{L_{e2}^2}{r}}{2 \cdot C_c^2}\right] \cdot \sigma_y}{FS} = \frac{\left[1 - \frac{26,92^2}{2 \cdot 61,26^2}\right] \cdot 3515}{1,75} = 194,6 \text{ MPa}$$

$$F_b = 0,69 \cdot \sigma_y = 242,53 \text{ MPa}$$

$$fa = \frac{Rb + P}{A} = \frac{1226,55 + 122,63}{5,02} = 26,853 \text{ MPa}$$

$$M_x = Rb \cdot e_2 = 1226,55 \cdot 7 = 85,85 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$fb_x = \frac{M_x}{S} = \frac{8585,85}{9,13} = 94,04 \text{ MPa}$$

$$M_y = P \cdot e_1 = 122,625 \cdot 13 = 15,94 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$fb_y = \frac{M_y}{S} = \frac{1594,13}{9,13} = 17,46 \text{ MPa}$$

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb_x}{Fb} + \frac{fb_y}{Fb} = \frac{26,85}{194,6} + \frac{94,04}{242,53} + \frac{17,46}{242,53} = 0,59 < 1$$

Se cumple la condición la columna no falla.

3.9.3 Diseño de pernos

Calculo de las fuerzas cortantes máxima en la unión entre la viga y la columna:

Para el diseño de los pernos se escoge un montaje de 2 pernos en cada unión, y se hacen los cálculos sobre las columnas de la esquina que es donde la sumatoria de fuerza cortante y fuerza producida por el momento flector es máxima.

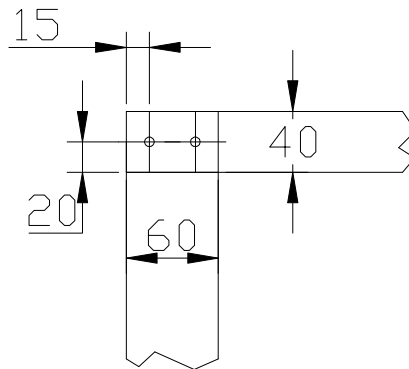


Gráfico 55 – Diagrama de posicionamiento de los pernos. Medidas en mm.

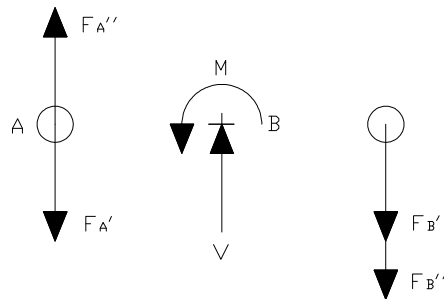


Gráfico 56 – Diagrama de fuerza y momento.

$$Fb = Fb' + Fb'' = 398,63 + 3742,66 = 4141,30 \text{ N}$$

Donde:

Fb = Fuerza cortante total sobre el perno, en N.

Fb' = Cortante primaria debido a la fuerza cortante sobre el perno, en N.

Fb'' = Cortante secundaria, carga adicional debido al momento, en N.

$$Fb' = \frac{V}{n} = \frac{797,26}{2} = 398,63 \text{ N}$$

Donde:

V = Fuerza Cortante, en N.

n = Número de pernos, adim.

$$Fb'' = \frac{M}{2 \cdot r} = \frac{112,28}{0,03} = 3742,66 \text{ N}$$

Donde:

M = Momento flector en el centro de los pernos, en N · m.

r = distancia radial desde el centroide al centro de cada perno, en m.

Se seleccionan los pernos estructurales con cabeza hexagonal.

Tamaño Nominal: 1 /4 pulg. (6,35mm)

Diámetro mínimo del cuerpo: 0,2450 pulg. (6,22 mm)

Ancho entre caras básico: 0,428 pulg. (10,87mm)

Ancho entre aristas: 0,505 pulg. (12,83mm)

Altura nominal: 5/32 pulg. (3,97mm)

Radio de Entalle: 0,023 pulg. (0,5842mm)

Longitud de la rosca: 25mm

Grado 5

Resistencia a la Fluencia: 585,65 MPa.

$$\tau = \frac{Fb}{A} = \frac{4141,30}{31,70} = 130,64 \text{ MPa}$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante en el perno, en MPa.

A = Área transversal del perno, en mm.

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2 \cdot F.S.} = \frac{585,65}{4} = 146,41 \text{ MPa}$$

Donde:

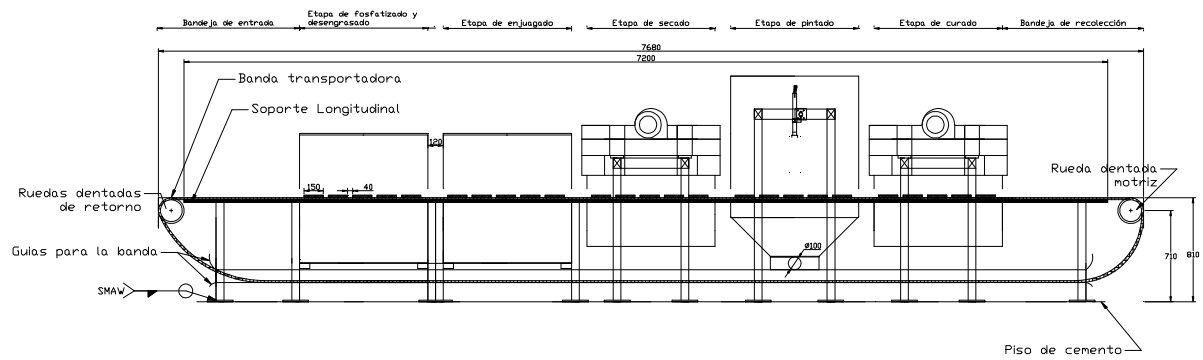
τ_{max} = Esfuerzo cortante máximo permisible, en MPa.

$F.S.$ = Factor de Seguridad, $adim = 2$

Se comprueba que el perno seleccionado no falle.

$$\tau_{max} \geq \tau$$

$$146,41 \text{ MPa} > 130,64 \text{ MPa}$$



Medidas en mm	Autores	Titulo	Empresa
	Br.Romano Valletta	Estructura, sistema de transporte	Driff C.A
Escala 1:25	Br.Lorenzo Rodriguez	Universidad Central de Venezuela	05/05/2009

CONCLUSIONES

1. Se realizó el diseño de un sistema de un recubrimiento por polvo electrostático para pintado de pastillas de freno con todas las etapas necesarias para su correcto funcionamiento.
2. El procedimiento de fosfatizado y desengrasado se tuvo que implementar en el diseño del sistema para lograr los requerimientos de calidad de la pieza, para la proyección del líquido en la pieza se diseñó un sistemas de aspersores provisto de un equipo de bombeo que proporciona la presión necesaria.
3. Fue necesario colocar una etapa de enjuagado para eliminar de la superficie de la pastilla los restos de desengrasante y fosfato de hierro productos de la etapa anterior, esta etapa no estaba planteada en los objetivos originales, para el rociado del agua sobre la superficie de las pastillas se diseñó un sistema de aspersion igual que en la etapa anterior.
4. Se requirió la etapa de secado para eliminar la humedad producto de la etapa de enjuagado, el precalentamiento de la pieza ayuda a la adherencia de la pintura lo que aumenta la eficiencia del sistema, para calentar la pieza se utilizaron paneles infrarrojos con sopladores, que nos proporcionan una combinación de radiación y convección en un mismo equipo, aumentando así la velocidad y eficiencia del secado.
5. Se diseñó la etapa de pintado a partir de datos suministrados por los fabricantes actuales de boquillas, pistolas, bombas y se seleccionó un sistema automático tipo tribo para cargar las partículas, el cual nos brinda una mejor adherencia en pieza con pobre aterramiento, partiendo

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

de dicho equipo se realizó la selección de las boquillas y el equipo de bombeo.

6. Se requirió una etapa de curado para producir la fusión del polvo sobre la superficie de la pieza y por ende la permanencia del recubrimiento una vez enfriado, para producir el calentamiento de la pieza se utilizaron paneles infrarrojos con las mismas características que en la etapa de secado. No se determinaron los parámetros referentes a la transferencia de calor, ya que la potencia del equipo es ajustable y por recomendación de los fabricantes se requieren realizar pruebas para la puesta a punto de la máquina, realizando así los ajustes necesarios para lograr la temperatura superficial de la pastilla requerida para el curado de la pintura.
7. Se implementó un sistema avanzado de transporte por banda de tipo malla metálica seleccionada por requerimientos especiales del material a transportar y el procesamiento de ésta durante todo el sistema de pintado. Se tomó en cuenta el paso de fluido a través de la banda en las etapas de fosfatizado, desengrasado y enjuague, el calor que tiene que soportar en los hornos en las etapas de secado y curado, el paso del polvo para el recubrimiento en la etapa de pintado y por último el peso de las pastillas a transportar.
8. Con la implementación del sistema se logra un aumento en la capacidad de pintado que supera las 15000 piezas diarias, logrando satisfacer la demanda actual de la planta y previendo aumentos futuros de producción.

RECOMENDACIONES

Después de haber realizado el estudio anterior se recomienda:

- Elaborar un Manual de operación del equipo.
- Establecer un Plan de mantenimiento preventivo del equipo.
- Contar con al menos tres operadores para prevenir atascos en la producción.
- Es importante elaborar las instrucciones escritas (normalizar el método de trabajo) de operación conjuntamente con el operario; esto facilita el aprendizaje rápido en caso de presentarse una nueva mano de obra.
- Se recomienda realizar pruebas al sistema de curado, cada vez que se haga un cambio de color en el recubrimiento, para lograr la temperatura óptima de fundición.
- Se recomienda el uso de los equipos seleccionados o similares.
- Se recomienda la implementación de filtros de vapor de aceite y vapor de agua a la salida del compresor para mejorar la calidad del aire en la tolva de alimentación de polvo.
- Se recomienda la implementación de filtros a la entrada de las bombas de agua en la etapa de enjuagado para evitar daños prematuros del rodete y prolongar el tiempo de recambio del agua.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de rascadores en la malla transportadora para evitar desperdicios de polvo.
- Implementar un sistema de control de calidad.

BIBLOGRAFÍA

- Elías, G. H. (1974). Criterios de diseño para sistemas de pintura convencionales. Trabajo de ascenso. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Hofmayr, J (2003). Diseño y construcción de un horno de curado para recubrimientos superficiales de aplicación electrostática. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Krick, E. (1978). Introducción a la Ingeniería y al Diseño en Ingeniería. México, Limusa, 240 p.
- Popov E. (2000). Mecánica de sólidos México. 2da edición, Prentice Hall, 888 p.
- Shames I. H. (1995). Mecanica de fluidos. 3ra ed. Colombia: McGraw-Hill. 814 p.
- Shigley, M. (1990). Diseño en Ingeniería Mecánica. 6ta edición, McGraw-Hill.
- Targhetta A. L. y López R. A. (1970). Transporte y almacenamiento de materias primas en la industria básica. Tomo II. España. Blume. 927 p.
- Universidad Central de Venezuela. Comisión de Bibliotecas, Subcomisión de bibliotecas para la normalización para la normalización de la presentación de trabajos especiales de grado y Subcomisión de depósito legal. (2005). Instructivo para la presentación de tesis de pregrado, postgrado y trabajos de ascenso. Caracas: Morella Mikaty, Maria A. Padrón, Leudith Figuera.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Vicerrectorado de investigación y Postgrado. (2006). Manual de Trabajos de Grado de

BIBLIOGRAFÍA

Especialización y Maestría y Tesis Doctorales. Caracas: Maritza Barrios Yaselli.

- Venezolana de Pinturas C.A. (2006). Revestimiento en polvo línea Polvadure. Valencia.
- Atlas Copco (2008). Soluciones quality air [Manual en línea]. Disponible: <http://productpagesct.atlascopco.com/ES/es/air-treatment.html> [Consulta: 2009, mayo 20]
- Bex Spray Nozzles Inc. (2005). Manuales de aspersores, Catalogo 54 [Manual en línea]. <http://www.conare.com/divisiones/industrial/bex.htm>. [Consulta: 2009, enero 15]
- Brown J. A. , (1991). Modern Manufacturing Processes [Libro en línea]. Industrial Press Inc. 240 p. Disponible: http://books.google.co.ve/books?id=-Hv50lh-7Y4C&printsec=frontcover&dq=%22powder+coating+history%22&source=gbs_summary_s&cad=0 [Consulta: 2008, noviembre 20]
- City Highlights (2009). Powder coating manual [Manual en línea]. <http://www.powder-coater.com> [Consulta: 2009, febrero 10]
- City Highlights (2005). Powder coating online [Libro en línea]. Disponible: <http://www.powdercoatingonline.com/html/powdercorner.html> [Consulta: 2008, noviembre 10]
- Echeverri Londoño C. A. (2006). Diseño óptimo de ciclones [Libro en línea]. Disponible: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/ciclones.pdf> Medellín, Colombia. [Consulta: 2009, mayo 6]

BIBLIOGRAFÍA

- Keystone Manufacturing Inc. (2005). Manuales de bandas transportadoras [Manual en línea]. Disponible: <http://www.keystonemfg.com/techinfo.html>. Manuales consultados: Technical manual v1.5, Assembly instructions, Belt drive tension calculations, Sprocket selection, Belt tracking, Flat wire belt materials, Belt wrap, How to identify a belt, Glossary of terms , Belt assembly. [Consulta: 2008, diciembre 5]
- Knobbe A. J. (2008). Tribo or corona? Here's how to decide [Revista en línea]. Nordson Corporation. Disponible: <http://www.nordson.com/NR/rdonlyres/818F5DB6-BFF9-477F-B474-E30796F5214B/0/PWR0688.pdf> [Consulta: 2009, enero 15]
- Marpol Private Limited (2005). Marpol products technical Specifications, Powder Coatings FAQs, Troubleshooting Guide On Powder Coating [Manual en línea]. Disponible: <http://www.marpolind.com/downloads.htm> [Consulta: 2009, febrero 16]
- Nordson Corporation, (1996). Manuales de Sistemas de pintado [manual en línea]. Disponible: <http://emanuals.nordson.com/finishing/index.htm>. Manuales consultados: Tribomatic ® 14 gun master control module, Tribomatic 19 inch control module, Tribomatic II ® demonstration unit control module, Tribomatic II ® two-gauge control unit, Tribomatic II ® three-gauge control unit, Tribomatic ® hoppers, Tribomatic ® Modular Pump with Adapter, Tribomatic ® Gun Generation 3 Pump Retrofit Kit, Tribomatic ® Generation 3 Automatic Gun Diffuser, Tribomatic ® automatic powder spray gun, Tribomatic II ® automatic powder spray gun, Tribomatic II ® purgeable automatic powder spray gun, Tribomatic II ® extended automatic powder spray gun, Tribomatic ®

BIBLIOGRAFÍA

wand extensions, Tribomatic ® wandTribomatic ® mobile shop system, Tribomatic ® demo system, [Consulta: 2009, enero 28]

- Pedrollo Spa (2006). Manuales para sistemas de bombeo [Manual en línea]. Disponible: <http://www.pedrollo.com/Pedrollo2006/Index.asp>. Manuales consultados: CP electrobombas centrifugas, PQ Electrobombas con rodete periférico, [Consulta: 2009, enero 15]
- Proquimia, S.A (2007). Catálogos de químicos industriales [Catálogo en línea]. Disponible: <http://www.proquimia.com/productos/intro.htm> Catálogos consultados: Adex 222, Profos 186-I [Consulta:2008, diciembre 5]
- Research Inc. (1998). Manuales de sistemas de calentamiento infrarrojo [Manual en línea]. Disponible: <http://www.researchinc.com/Page/IRHeatingProducts/PanelIR.aspx>. Manuales consultados: PanelIR model 4554 (1998), PanelIR model 4555, PanelIR model 4765, PanelIR model 54775. [Consulta: 2009, Febrero 12]
- Spielman S. (2008). Powder coated tough [Revista en línea]. Disponible: <http://www.nxtbook.com/nxtbooks/pct/winter08/index.php?startid=20> [Consulta: 2009, mayo 15]
- Talbert R. (1998). Powder Coater's Manual [Libro en línea]. Publicado por Vincentz Verlag. Disponible: <http://www.powdercoating.org/files/powder-coaters-manual.pdf> [Consulta: 2008, septiembre 20]

[ANEXO]

Anexo 1 – Tomado de *Mecánica de Fluidos* pág. 333 por Irving H Shames, 3ra edición, Mc Graw Hill, 1995.

Rugosidad promedio de tubos comerciales

Material (nuevo)	ϵ	
	pies	mm
Vidrio	0.000001	0.0003
Tubería estirada	0.000005	0.0015
Acero, hierro forjado	0.00015	0.046
Hierro fundido asfaltado	0.0004	0.12
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro fundido	0.00085	0.26
Madera cepillada	0.0006–0.003	0.18–0.9
Concreto	0.001–0.01	0.3–3.0
Acero remachado	0.003–0.03	0.9–9.0

Anexo 2 – Tomado de *Mecánica de Fluidos* pág. 332 por Irving H Shames, 3ra edición, Mc Graw Hill, 1995.

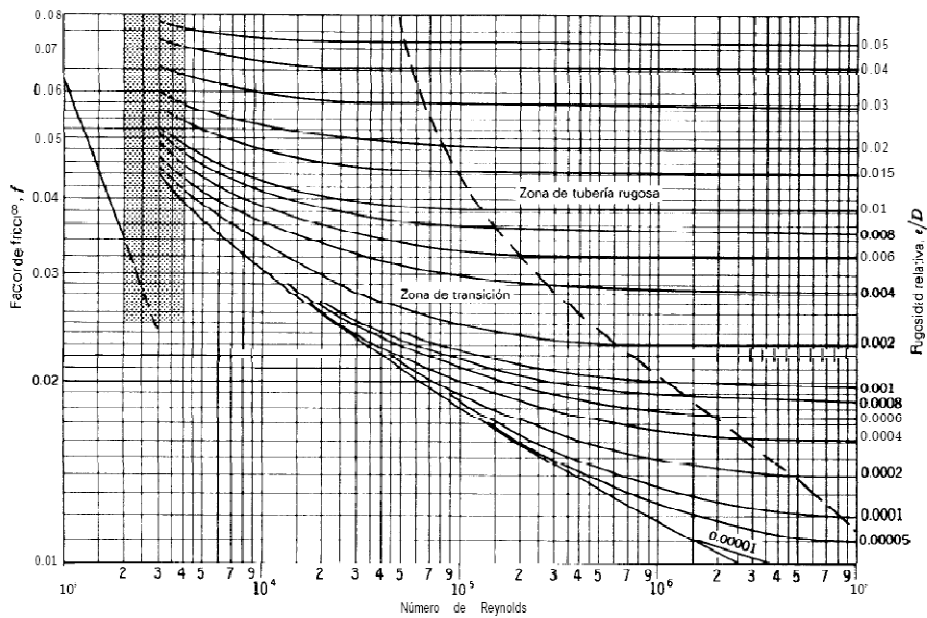


Figura 9.16
Factores de fricción para flujo en tuberías.

ANEXO

Anexo 3 – Tomado de *Mecánica de Fluidos* pág. 339 por Irving H Shames, 3ra edición, Mc Graw Hill, 1995.

Tamaños nominales para tuberías estándares¹⁶

Diámetro nominal, pulg	Diámetro interno, pulg	Área de sección transversal interna, pulg ²
$\frac{1}{8}$	0.364	0.1041
$\frac{1}{4}$	0.824	0.533
1	1.049	0.864
$1\frac{1}{2}$	1.610	2.036
2	2.067	3.356
3	3.068	7.393
4	4.026	12.13
5	5.047	20.01
6	6.065	28.89
8	7.981	50.03
10	10.020	78.85
12	12.000	113.10
14	13.000	132.73
16	15.25	182.65
18	17.250	233.74
20	19.250	291.04
22	21.250	354.66
24	23.250	424.56

Anexo 4 – Tomado de *Mecánica de Fluidos* pág. 805 por Irving H Shames, 3ra edición, Mc Graw Hill, 1995.

Propiedades físicas del agua en unidades S. I.

Temperatura, °C	Densidad, ρ , kg / m ³	Viscosidad, μ , (N · s / m ²) × 10 ⁻³	Viscosidad cinemática, ν , m ² / s × 10 ⁻⁶	Módulo de elasticidad volumétrica, K , Pa × 10 ⁷	Tensión superficial, σ , N / m × 10 ⁻²	Presión de vapor, Pa
0	999.9	1.792	1.792	204	7.62	588
5	1000.0	1.519	1.519	206	7.54	882
10	999.7	1.308	1.303	211	7.48	1,178
15	999.1	1.140	1.141	214	7.41	1,668
20	998.2	1.005	1.007	220	7.36	2,447
30	995.7	0.801	0.804	223	7.18	4,297
40	992.2	0.656	0.661	227	7.01	7,400
50	988.1	0.549	0.556	230	6.82	12,220
60	983.2	0.469	0.477	228	6.68	19,600
70	977.8	0.406	0.415	225	6.50	30,700
80	971.8	0.357	0.367	221	6.30	46,400
90	965.3	0.317	0.328	216	6.12	68,200
100	958.4	0.284	0.296	207	5.94	97,500

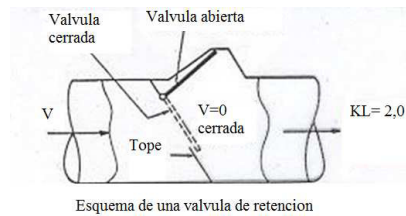
ANEXO

Anexo 5 – Tomado de *Mecánica de Fluidos* pág. 338 por Irving H Shames, 3ra edición, Mc Graw Hill, 1995.

Factores K para accesorios¹⁶

	Diámetro nominal, pulg											
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	3	4	5	6	8-10	12-16	18-24
Válvula de compuerta (abierto)	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.096
Válvula de globo (abierto)	9.2	8.5	7.8	7.1	6.5	6.1	5.8	5.4	5.1	4.8	4.4	4.1
Codo estándar (atornillado) 90°	0.80	0.75	0.69	0.63	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36
Codo estándar (atornillado) 45°	0.43	0.40	0.37	0.34	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19
"T" estándar (flujo recto)	0.54	0.50	0.46	0.42	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24
"T" estándar (flujo cruzado)	1.62	1.50	1.38	1.26	1.14	1.08	1.02	0.96	0.90	0.84	0.78	0.72

Anexo 5 – Tomado de *Handbook of fluid dynamics* por Streeter, Mc Graw Hill, 1961.



ANEXO

Anexo 6 – Tomado de *Flat wire conveyor belt*, Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 2

Factor de Fricción entre la Correa y el Soporte de la correa.	
Soporte de Correa	Factor de Fricción
Rodamientos de bolas	0,10
Cojinetes de Deslizamiento	0,15
Soporte deslizante Plástico	0,20
Soporte deslizante de Acero Lubricado	0,30
Soporte deslizante de Acero Sin Lubricación	0,35

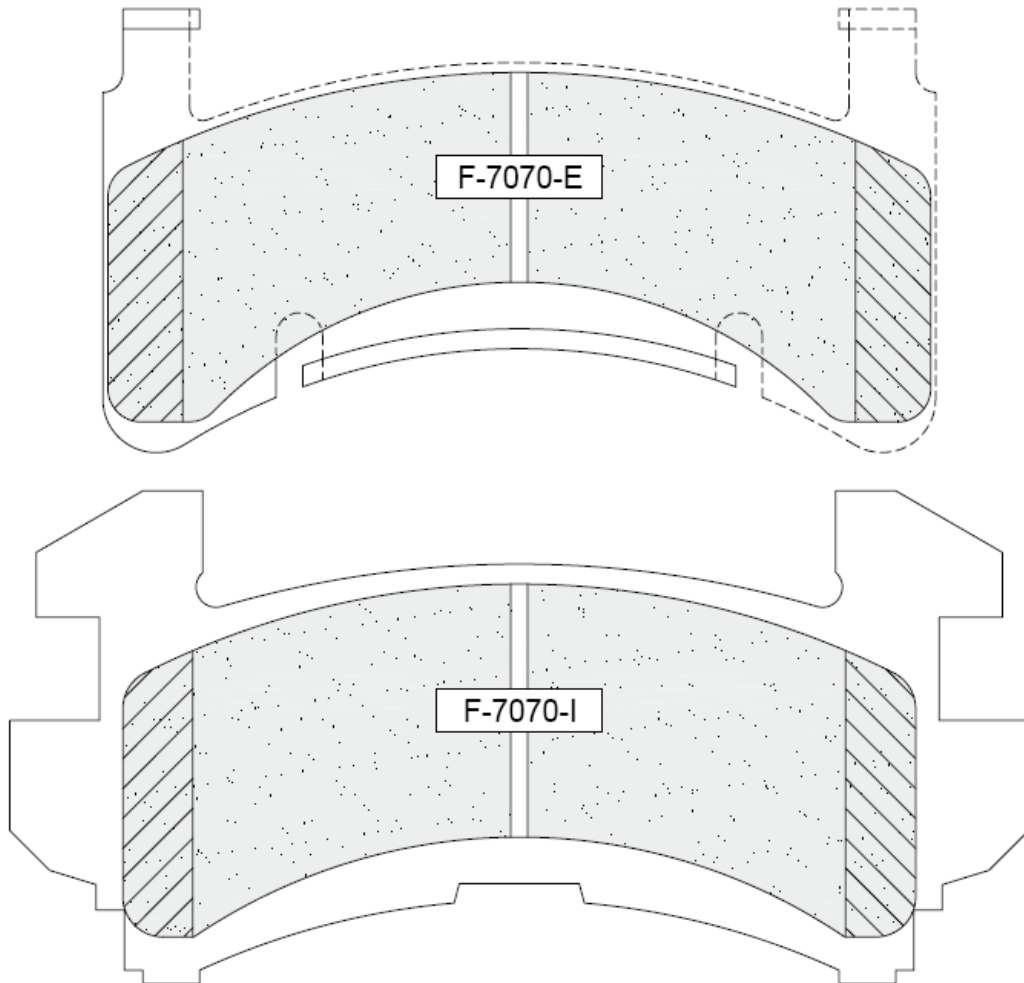
Anexo 7 – Tomado de *Flat wire conveyor belt*, Catálogo Keystone Manufacturing Inc. pág. 2

Temperaturas (°F) Vs Fuerzas								
	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Acero Galvanizado de Bajo contenido de Carbono	1,0	N/A						
C1050 de Alto contenido de Carbono	1,0	1,0	0,9	0,6	0,3	N/A		
T-304 Acero Inoxidable	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,6	N/A	
T-316 Acero Inoxidable	1,0	1,0	1,0	0,95	0,85	0,8	0,7	0,6

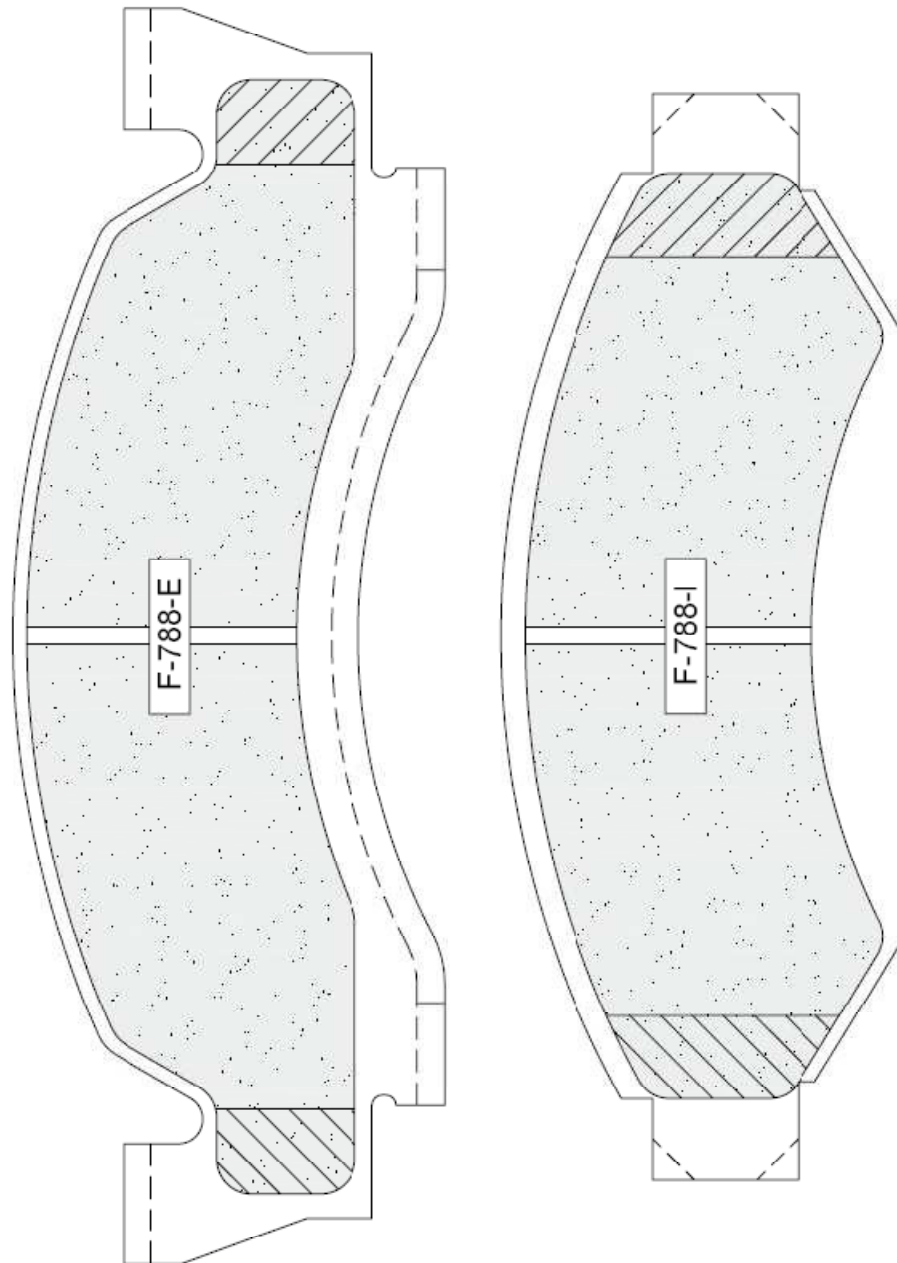
ANEXO

Anexo 8 – Modelos de pastillas fabricadas por DRIFF C.A. (Escala 1:1)

Tipo B: Modelo 7070-ORG



Tipo C: Modelo 788-ORG.



Tipo A: Modelo 582-SM.

