

**SISTEMA PARA ACONDICIONAMIENTO, RECUBRIMIENTO
ELECTROSTÁTICO Y HORNEADO EN EL ACABADO DE PIEZAS EN
HIERRO GRIS**

**WILSON ANTONIO PEDRAZA SANABRIA
CAMILO ANDRÉS SANABRIA ROJAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2009

**SISTEMA PARA ACONDICIONAMIENTO, RECUBRIMIENTO
ELECTROSTÁTICO Y HORNEADO EN EL ACABADO DE PIEZAS EN
HIERRO GRIS**

**WILSON ANTONIO PEDRAZA SANABRIA
CAMILO ANDRÉS SANABRIA ROJAS**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2009

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme conquistar
este sueño tan anhelado.

A mis Padres, por todo su apoyo, paciencia, comprensión y
sabios consejos, y sobre todo por el Amor que me brindan.

A todos mis familiares, quienes con su respaldo, y
buen ejemplo, me instruyeron para triunfar en la vida.

A mis amigos y profesores que me han
guiado en esta etapa de crecimiento.

A mi gran amigo Feisal Gabriel Vesga,
quien me ayuda desde el cielo.

Y a todos aquellos que se interesaron en
mi bienestar y desarrollo personal.

Camilo Andrés Sanabria Rojas

DEDICATORIA

A mi señor Yaveht Quien a través de sus ángeles obra
maravillas en mi vida

A mi madre Beatriz Sanabria de Pedraza, mujer, madre
y ejemplo de verraquera santandereana.

A mis hermanas Ruby Isabel, Gloria Amparo Y Ángela
Xiomara, quienes con su apoyo y consejos
me han acompañado en la vida.

A mis sobrinos Dana, Ángel, Angélica, Laura y Carlos, a
Quienes amo con todo mi todo

A mis amigos Por su respaldo, consejos, acompañamiento
y aguante.

Y en general para todos y cada uno de los seres que a lo largo de mi vida
han aportado en mi crecimiento personal, intelectual, espiritual y emocional.

Wilson Antonio Pedraza Sanabria

AGRADECIMIENTOS

A Yaveht fuente de amor, sabiduría y entendimiento. Con él todo es posible.

A la Universidad Industrial de Santander por posibilitar nuestro crecimiento profesional.

A la escuela de Ingeniería Mecánica y su cuerpo docente por brindarnos las herramientas necesarias para nuestro crecimiento personal.

A Omar Armando Gélvez Arocha, ingeniero mecánico, director del proyecto por su dedicación, apoyo, asesoría, motivación y orientación oportuna lo cual permitió su desarrollo.

A los ingenieros Jose David Verdeza, Verney Calpa Jerez, Carlos A. Scrimaglia por sus aportes.

Al sector industrial del área metropolitana de Bucaramanga por permitir observar sus procesos de producción.

A mi compañero Wilson Pedraza por enseñarme que la voluntad humana no tiene límites.

A nuestros padres y familiares.

A todos nuestros amigos.

Wilson Antonio Pedraza Sanabria

Camilo Andrés Sanabria Rojas

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN.....	30
1. OBJETIVOS	31
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	31
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
2. GENERALIDADES DE LA PINTURA INDUSTRIAL.....	33
2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PINTURAS INDUSTRIALES	33
2.1.1 Capas de fondo	33
2.1.2 Capas de acabado.	34
2.2 GENERALIDADES DE LA PINTURA EN POLVO.....	34
2.3 EVOLUCIÓN DE LA PINTURA EN POLVO	35
2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS PINTURAS EN POLVO	36
2.4.1 Pinturas Termoplásticas.....	36
2.4.2 Pinturas Termoestables.	37
2.5 VENTAJAS DE LA PINTURA ELECTROSTÁTICA.....	42
2.6 DESVENTAJAS DE LA PINTURA ELECTROSTÁTICA.....	43
2.7 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE PINTADO CON PINTURA ELECTROSTÁTICA	43
2.7.1 Subsistema de preparación de las superficies de las piezas.	44
2.7.2 Subsistema de aplicación de la pintura en polvo.....	44
2.7.3 Subsistema de horneado o curado de la pintura en polvo.	46

3. SUBSISTEMA DE PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIES DE LAS PIEZAS	48
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUSTRATOS.....	49
3.1.1 Atributos de Superficie	50
3.1.2 Contaminantes.....	50
3.2 MÉTODO DE LIMPIEZA SEGÚN SU NATURALEZA	51
3.2.1 Limpieza mecánica.....	51
3.2.2 Limpieza química	52
3.3 TANQUES RECTANGULARES PARA LA INMERSIÓN	57
3.3.1 Tamaño máximo.....	58
3.3.2 Relación de los lados	58
3.3.3 Soldadura de tanques rectangulares para la inmersión	61
3.4 AISLAMIENTO TÉRMICO DE LOS TANQUES	67
4. SUBSISTEMA DE APLICACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO Y SISTEMA DE RECUPERACIÓN	68
4.1 PINTADO POR EQUIPO ELECTROSTÁTICO	68
4.2 PARTES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE APLICACIÓN	69
4.3 PISTOLAS PARA LA APLICACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO.....	71
4.3.1 Pistola tipo corona.....	71
4.3.2 Pistola tipo tribocarga.....	75
4.3.3 Pistola tipo campana	77
4.3.4 Pistola tipo disco	78
4.4 CABINAS PARA LA APLICACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO.....	79
4.4.1 Cabinas para aplicación manual.	80
4.4.2 Cabinas de transporte continuo o conveyor	81
4.5 SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO	83

4.5.1	Sistema de recuperación por filtros tipo cartucho.....	84
4.5.2	Sistema de recuperación tipo ciclón.....	87
5.	SUBSISTEMA DE HORNEADO O CURADO DE LA PINTURA EN POLVO	89
5.1	HORNOS DE CURADO POR CONVECCIÓN	90
5.1.1	Balance del horno	91
5.2	HORNOS DE CURADO POR CONVECCIÓN CONTINUOS.....	92
5.3	HORNOS DE CURADO ELÉCTRICOS	93
5.4	HORNOS DE CURADO INFRARROJOS.....	93
6.	SUBSISTEMA DE ELEMENTOS PARA EL TRANSPORTE DE LAS PIEZAS	95
6.1	CANASTILLA PARA TRANSPORTAR LAS PIEZAS ENTRE LOS TANQUES DE LIMPIEZA	95
6.2	ESTRUCTURA PARA SOPORTAR Y TRASLADAR LA CANASTILLA.....	96
6.3	GANCHO PARA LA ELEVACIÓN DE LA CANASTILLA.....	97
6.4	GANCHO PARA COLGAR LAS PIEZAS A PINTAR.....	97
6.5	ESTANTE PARA UBICAR Y TRANSPORTAR LAS PIEZAS DENTRO DEL HORNO.....	99
7.	DISEÑO DE LAS PARTES DEL SISTEMA DE PINTURA ELECTROSTÁTICA.....	101
7.1	HIDRANTE EN FUNDICIÓN DE HIERRO GRIS.....	101
7.1.1	Recepción, clasificación y preparación de materias primas para la fundición	102
7.1.2	Elaboración de modelos.....	102
7.1.3	Preparación de arenas y elaboración de moldes	103
7.1.4	Fusión en horno	104
7.1.5	Desmolde y acabado de piezas	105

7.1.6 Limpieza de accesorios.....	106
7.1.7 Mecanizado y ensamble.....	106
7.1.8 Parámetros que determinan el acabado de un accesorio.	107
7.2 DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LAS PIEZAS	109
7.2.1 Diseño y construcción de los tanques para el proceso de limpieza .	109
7.2.2 Diseño del sistema de agitación de la solución de limpieza.....	119
7.2.3 Diseño y construcción de la base para los tanques	120
7.3 DISEÑO DEL SUBSISTEMA PARA LA APLICACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO.....	121
7.3.1 Diseño de la cabina para aplicación manual	122
7.3.2 Estructura de la cabina.....	124
7.3.3 Láminas para cubrir la cabina	125
7.3.4 Recolector de pintura	126
7.3.5 Piso de la cabina	126
7.3.6 Soporte para colgar los hidrantes.....	127
7.4 DISEÑO DE LA TUBERÍA PARA DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO	128
7.4.1 Dimensionamiento del sistema de aire comprimido para el sistema de pintura electrostática.....	128
7.4.2 Identificación de los procesos.	129
7.4.3 Determinación del consumo de aire en cada uno de esos elementos	130
7.5 DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE HORNEADO O CURADO DE LA PINTURA EN POLVO.....	137
7.5.1 Etapas de Calentamiento Para Horneado del producto	139
7.5.2 Velocidad del aire durante el proceso de horneado	146

7.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE ELEMENTOS PARA EL TRANSPORTE DE LAS PIEZAS	148
7.6.1 Canastilla para transporte entre los tanques de limpieza.....	148
7.6.2 Diseño del gancho para elevar la canastilla	150
7.6.3 Diseño de la estructura para transporte de canastillas.....	151
7.7 DISEÑO DE ESTANTE PARA TRANSPORTAR Y UBICAR LAS PIEZAS DENTRO DEL HORNO.....	151
7.8 GANCHO PARA SOPORTAR LAS PIEZAS A PINTAR.....	153
8. SELECCIÓN DE LAS PARTES DEL SISTEMA.....	154
8.1 SELECCIÓN DE LAS PARTES DE LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE PIEZAS.....	154
8.1.1 Selección de los productos químicos para el pretratamiento	154
8.1.2 Selección quemadores para calentamiento de los tanques	156
8.1.3 Selección del aislante térmico para los tanques.....	161
8.2 SELECCIÓN DE LAS PARTES DEL SUBSISTEMA DE APLICACIÓN	164
8.2.1 Selección pintura en polvo	165
8.2.2 Selección del equipo de aplicación	165
8.3 SELECCIÓN DE LAS PARTES DEL SUBSISTEMA DE RECUPERACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO.....	168
8.3.1 Selección del filtro para la recuperación de la pintura en polvo.....	168
8.3.2 Selección del ventilador de succión del aire.....	170
8.3.3 Selección de la conexión de puesta a tierra.....	172
8.3.4 Selección de los filtros y regulador de presión de aire comprimido	172
CONCLUSIONES.....	144
RECOMENDACIONES.....	145
BIBLIOGRAFIA.....	146
ANEXOS	148

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Tabla 1. Resistencia química de la película tipo epóxy.....	39
Tabla 2. Resistencia química de la película tipo Poliéster	40
Tabla 3. Resistencia química de la película Tipo Híbrido	41
Tabla 4. Sistema de inmersión vs aspersion	56
Tabla 5. Tratamientos típicos de limpieza a diferentes tipos de metales	56
Tabla 6. Tanques rectangulares para la inmersión.....	57
Tabla 7. Numero de atiesadores que se requiere.....	60
Tabla 8. Separación entre los elementos atiesadores	61
Tabla 9. Momento de inercia mínimo para los atiesadores.....	61
Tabla 10. Selección del tipo de corriente para soldaduras TIG	64
Tabla 11. Especificaciones de la Soldadura TIG en láminas de acero	65
Tabla 12. Parámetros para construcción de tanques.....	110
Tabla 13. Consumos de Aire Comprimido	132
Tabla 14. Resumen características de la tubería para SAC SPE	133
Tabla 15. Diámetros nominales de tuberías SAC SPE	134
Tabla 16. Longitudes equivalentes para tramo AD con diámetro nominal 26 mm	135
Tabla 17. Longitudes equivalentes para tramo BC con diámetro nominal 16 mm	135
Tabla 18. Longitudes equivalentes para tramo DE-DF-DG con diámetro nominal 26 mm	135
Tabla 19. Longitudes equivalentes para tramo CI con diámetro nominal 9 mm	135

Tabla 20. Longitudes equivalentes para tramo CH con diámetro nominal 9 mm	136
Tabla 21. Resumen de longitudes reales.....	136
Tabla 22. Diámetros estándares para tubería de SAC SPE	137
Tabla 23. Requerimientos para el diseño del horno.....	137
Tabla 24. Tipos de hornos y propiedades	138
Tabla 25. Etapas de calentamiento para horneado del producto.....	139
Tabla 26. Calor necesario en la etapa de precalentamiento	141
Tabla 27. Espesores Recomendados	143
Tabla 28. Calor necesario en la etapa de calentamiento de productos	145
Tabla 29. Resumen calor requerido en etapas de calentamiento	146
Tabla 30. Resumen Cálculos Horno Curado	147
Tabla 31. Parámetros para diseño de canastilla	148
Tabla 32. Tratamiento de limpieza de piezas	155
Tabla 33. Valores típicos del coeficiente de calor por convección.....	161
Tabla 34. Parámetros para selección distribuidor de pintura en polvo.....	165
Tabla 35. Parámetros para selección de pintura en polvo.....	165

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Pintura en polvo.....	34
Figura 2. Composición de la Pintura en Polvo	38
Figura 3. Conservación del brillo de las piezas a la intemperie de los tipos de pintura	41
Figura 4. Preparación y limpieza de las superficies de las piezas	44
Figura 5. Aplicación de la pintura en polvo	46
Figura 6. Piezas horneadas y terminadas.....	47
Figura 7. Sistemas de aspersion.....	54
Figura 8. Sistemas de inmersión.....	55
Figura 9. Esquema para los tanques rectangulares.....	59
Figura 10. Valores de αn en la fórmula para tanques rectangulares	60
Figura 11. Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido	62
Figura 12. Soldadura de los tanques por procedimiento TIG.....	64
Figura 13. Partes del sistema de aplicación con equipo electrostático	70
Figura 14. Aplicación de la pintura en polvo	70
Figura 15. Desgaste de las partículas durante el proceso de aplicación	71
Figura 16. Pistola tipo corona	74
Figura 17. Esquema eléctrico pistola tipo corona	74
Figura 18. Pistola tipo tribocarga	76
Figura 19. Pistola tipo campana.....	77
Figura 20. Cabinas para aplicación manual.....	81
Figura 21. Cabinas de transporte continuo o conveyor.....	82

Figura 22. Filtro tipo cartucho	85
Figura 23. Sistema de recuperación por cartucho	85
Figura 24. Descargas secuenciales en contra presión	86
Figura 25. Sistema de recuperación tipo ciclón	88
Figura 26. Horno de Curado por Convección	90
Figura 27. Hornos de curado por convección	92
Figura 28. Hornos de curado por convección continuos	93
Figura 29. Canastilla para transporte de piezas en la limpieza.....	96
Figura 30. Estructura para soportar y trasladar la canastilla.....	97
Figura 31. Gancho para la elevación de la canastilla.....	97
Figura 32. Ganchos rotativos con ruedas	98
Figura 33. Ganchos o punto de contacto	98
Figura 34. Estantes para transportar las piezas.....	99
Figura 35. Acopio de chatarra.....	102
Figura 36. Almacenamiento de moldes.....	103
Figura 37. Preparación de arenas para moldeo y moldeo	103
Figura 38. Horno Cubilote.....	104
Figura 39. Colado y vaciado de hierro fundido	105
Figura 40. Desmolde de piezas fundidas.....	105
Figura 41. Limpieza de accesorios	106
Figura 42. Mecanizado de piezas	106
Figura 43. Hidrante en bruto	107
Figura 44. Diseño y aspecto de los tanques	111
Figura 45. Esquema de tanque rectangular con un atiesador	112
Figura 46. Esquema perfil en C.....	113

Figura 47. Aspecto final de la construcción de los atiesadores	114
Figura 48. Valores de αn en la fórmula para tanques rectangulares	115
Figura 49. Laminas cold rolled para la construcción de los tanques.....	115
Figura 50. Esquema del cordón de soldadura	116
Figura 51. Formas comunes de los drenajes.....	118
Figura 52. Drenaje y aspecto final de los tanques construidos.....	119
Figura 53. Análisis de esfuerzos en la base de los tanques	120
Figura 54. Bases construidas.....	121
Figura 55. Factores para el diseño de la cabina	122
Figura 56. Hidrante en bruto y pintado.....	123
Figura 57. Aspecto final del diseño de la cabina.....	123
Figura 58. Sistema de aplicación con hidrante pintado.....	124
Figura 59. Análisis de esfuerzos en estructura de la cabina.....	125
Figura 60. Laminas de acero galvanizadas	126
Figura 61. Tolva o recolector de pintura en polvo.....	126
Figura 62. Lámina CR calibre 12, para el piso de la cabina.....	127
Figura 63. Análisis de esfuerzos del soporte de los hidrantes	127
Figura 64. Isométrico del SAC SPE	128
Figura 65. Distribución de Planta SAC SPE	129
Figura 66. Longitudes equivalentes para diferentes accesorios	134
Figura 67. Horno para curado del hidrante	138
Figura 68. Modelo análisis de los hidrantes.....	142
Figura 69. Esquema perdida de Calor	144
Figura 70. Horno de curado, con los hidrantes pintados.....	147
Figura 71. Diseño y construcción de la canastilla	149

Figura 72. Análisis de esfuerzos de la canastilla	149
Figura 73. Análisis de esfuerzos del soporte de la canastilla.....	150
Figura 74. Análisis de esfuerzos de estructura para transporte de canastilla	151
Figura 75. Análisis de esfuerzos de los estantes para proceso de curado .	152
Figura 76. Análisis de esfuerzos de los ganchos	153
Figura 77. Esquema de calentamiento tanque.	157
Figura 78. Calentamiento de agua.....	159
Figura 79. Quemador en U	161
Figura 80. Distribución de temperatura a través de un aislante	162
Figura 81. Equipo de pintura.....	166
Figura 82. Especificaciones del equipo de pintura sistema sure coat.....	167
Figura 83. Partes del subsistema de recuperación de la pintura en polvo..	168
Figura 84. Esquema filtro de aspiración contraria.....	169
Figura 85. Especificaciones del ventilador centrifugo.	171
Figura 86. Filtros de Aire y Regulador	172

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexos A. Vista general del sistema de pintura en polvo	180
---	-----

GLOSARIO

ACRÍLICO: se obtienen por la polimerización de los acrilatos u otros monómeros que contengan el grupo acrílico. Los compuestos acrílicos son termoplásticos (capaces de ablandarse o derretirse con el calor y volverse a endurecer con el frío), impermeables al agua, y tienen densidades bajas.

ATENUAR: aminorar o disminuir algo.

ATIESADORES: refuerzo que se utiliza en la construcción de tanques cuando su volumen es superior a 1 metro cubico.

CANISTERS: recipiente para recuperación de pintura electrostática.

CARGA ELECTROSTÁTICA: carga eléctrica estática generada por la acción del rozamiento de dos materiales o por la inducción de un campo magnético.

CASCARA DE NARANJA: es la apariencia que toma la pintura en polvo después de curada, ocasionada por un mal proceso de pretratamiento, o calentamiento de horno demasiado bajo.

CONVEYOR: sistema automático para transportar las piezas.

CORROSIÓN: ocurre cuando un metal, en determinadas condiciones ambientales, se combina con el oxígeno formando un óxido, hidróxido o un complejo químico. Hay factores que favorecen la corrosión como son la presencia de cloruros, fluoruros, bromuros, nitratos y especialmente anhídrido sulfuroso, y se da una humedad relativa superior a un 70%.

DIELECTRICO: sustancia que es mala conductora de la electricidad y que amortiguará la fuerza de un campo eléctrico que la atraviese.

EFECTO JAULA DE FARADAY: condición que puede presentarse en un sustrato debido a su configuración geométrica que impide la aplicación de partículas de pintura en polvo en un área de difícil acceso.

ELECTROSTÁTICA: rama de la ciencia que se encarga de estudiar los fenómenos eléctricos producidos por distribuciones de cargas estáticas.

EUTÉCTICA: reacción de tres fases mediante la cual una fase líquida se solidifica para producir dos fases sólidas.

FLUIDIZACIÓN: proceso por el cual una corriente ascendente de fluido (líquido, gas o ambos) se utiliza para suspender partículas sólidas.

HOPPER: recipiente utilizado para almacenar la pintura en polvo, permitiendo el vaciado de su contenido por la parte superior, de un modo fácil en estado fluidizado.

IONIZACIÓN: formación de moléculas o átomos con carga eléctrica. Los átomos son eléctricamente neutros ya que los electrones con carga negativa son iguales en número a los protones de carga positiva en los núcleos.

LIMAÑA: impurezas que poseen algunos materiales metálicos producto del mecanizado.

POLIESTER: polímero de un éter que se obtiene por condensación de ácidos orgánicos con poli alcoholes.

POLIMERIZADO: (curado), Proceso de llevar una pieza pintada mediante el proceso electroestático a un horno para que su recubrimiento reaccione químicamente y se entrecruce para formar un polímero de peso molecular más alto.

POLÍMERO: sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamadas monómeros. El número de unidades que se repiten en una molécula grande se llama grado de polimerización.

PULVERULENTO: sustancia en estado de polvo.

RESINA: sustancia sólida o de consistencia viscosa y pegajosa que fluye de ciertas plantas. Es soluble en alcohol y se utiliza en la fabricación de plásticos, gomas y lacas.

RESQUEBRAJAMIENTO: creación de grietas en un cuerpo sólido sin que este se rompa.

RETROIONIZACION (BACKIONIZATION): efecto que se produce debido al aumento del campo eléctrico, causando que partículas pertenecientes al recubrimiento se repelan y origine cráteres.

SOLVENTE: dicho de una sustancia Que puede disolver y producir con otra una mezcla homogénea.

SUSTRATO (SUBSTRATO): estrato que subyace a otro y sobre el cual puede fluir.

VERMICULAR: dicese de los adornos irregulares de un paramento que simulan roeduras de gusanos.

NOMENCLATURA

NOTACIÓN

A_s = Área superficial

D: diámetro externo hidrante

E= modulo de elasticidad

G= densidad del liquido

h= Coeficiente de transferencia de calor

H= altura del tanque en pulgadas

I= momento de inercia

K= Conductividad térmica

L= longitud

l= distancia máxima entre soportes

M³= metro cubico

Ml= metro lineal

m= masa

P= presión

Pr= numero de prandtl

q_{th}= calor total en hidrantes.

Q_T = Consumo de aire total del sistema.

Q_{SP} : Consumo de aire en el sistema de recuperación de pintura.

Q_{EP} : Consumo de aire en el equipo de pintura.

Q_{PL} : Consumo de aire en la pistola de limpieza de limpieza.

R= reacción

S= valor de esfuerzo

SAC= Sistema de aire comprimido

SPE= sistema de pintura electrostática

t= espesor

T_f = Temperatura de película promedio

Ra= número de rayleigh

Re= Número de Reynolds

Nu= Número de nusselt

\dot{V} = Flujo de aire

w= carga por unidad de longitud

LETRAS GRIEGAS

α_n = factor que depende de la relación entre longitud y altura

β = coeficiente de expansión volumétrica

ρ = presión del líquido

RESUMEN

TITULO:
SISTEMA PARA ACONDICIONAMIENTO, RECUBRIMIENTO ELECTROSTÁTICO Y HORNEADO EN EL ACABADO DE PIEZAS DE HIERRO GRIS*

AUTORES: Wilson Antonio Pedraza Sanabria.
Camilo Andrés Sanabria Rojas. **

PALABRAS CLAVES:
Transferencia de calor, Hidrante, Recubrimiento electrostático, Curado, Acondicionamiento de superficies.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto nace con la idea de optimizar el proceso de pintura de Hidrantes en hierro gris producidos en el área metropolitana de Bucaramanga.

Se realizó una investigación detallada de los avances y sistemas de pintado mediante el fenómeno electrostático. El cual fue tomado como base para diseñar un sistema de pintura electrostática que consta de; tres tanques para enjuague con un volumen útil de $1,5 \text{ m}^3$, tres tanques para tratamiento termoquímico con un volumen útil de $1,5 \text{ m}^3$, una cabina para la aplicación de la pintura en polvo, con su respectivo sistema para recuperación y sistema de aire comprimido, un Horno para curado con un volumen útil $4,5 \text{ m}^3$ el cual alcanza una temperatura máxima de $225 \text{ }^\circ\text{C}$, una Canastilla en acero estructural para transporte de hidrantes en la etapa de limpieza que permite resistir un peso máximo de 500 Kg y un estante en acero estructural que permite ubicar y transportar los Hidrantes en la etapa de horneado, el cual tiene capacidad para 18 Hidrantes que pesan de 1080 kg, y debe soportar una temperatura de $225 \text{ }^\circ\text{C}$.

El sistema para pintado electrostático de Hidrantes fue diseñado a cabalidad, además se construyeron los tanques para limpieza, y un 30% de la cabina para aplicación de pintura.

.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico- Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Ing. Omar Armando Gelvez Arocha

ABSTRACT

TITLE:

A SYSTEM FOR FITTING, ELECTROSTATIC COATING, AND FURNACE IN FINISHING GREY IRON PIECES*

AUTHORS: Wilson Antonio Pedraza Sanabria.
Camilo Andrés Sanabria Rojas. **

KEY WORDS:

Heat transfer, Hydrant, Electrostatic coating, Curing, Surfaces fitting.

DESCRIPTION:

This Project is born from the idea of optimizing the process of painting grey iron hydrants produced in the metropolitan area of Bucaramanga.

A detailed research was made on the breakthroughs and painting systems by means of electrostatic system. The research was used as a foundation for the design of an electrostatic painting system, comprehending three rinse tanks with a volume of 1.5m^3 , three thermo-chemical treatment tanks with a volume of 1.5m^3 , a booth for application of paint with the corresponding dust recovery and compressed air systems; a furnace for curing with a volume of 4.5m^3 which allows a maximum temperature of 225°C ; a basket made of structural steel for conveying the hydrants in the cleaning stage which allows to carry a maximum weight of 500 Kg and a shelf made of structural steel which allows to transport the hydrants during the furnace stage with a capacity for 18 hydrants, at a temperature of 225°C .

The hydrants electrostatic painting system was designed entirely; besides the tanks for cleaning were built and 30% of the paint application booth.

* Project of Grade

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering, Mechanical Engineering school, Ing. Omar Armando Gelvez Arocha

INTRODUCCIÓN

El crecimiento en la industria de la fundición de hierro gris ha presentado dificultades en el recubrimiento de piezas con pintura líquida como son; desperdicio de materia prima, contaminación atmosférica, tiempos prolongados en el proceso, uso inadecuado de espacios y baja calidad en el acabado de las piezas, a esto se suma la rápida degradación de la misma, como consecuencia de la exposición a la intemperie o ambientes agresivos. Este proyecto plantea una solución a las dificultades observadas mediante la investigación y diseño de un sistema de pintura en polvo, por aplicación electrostática en hidrantes. Esta pintura ofrece mejores propiedades de protección químicas y mecánicas respecto a la pintura líquida y optimiza el volumen de la producción.

El diseño consta de un subsistema de limpieza por inmersión en el cual se eliminan impurezas y se acondiciona la pieza, un subsistema de aplicación donde se somete la pieza a un fenómeno electrostático, logrando que el material pulverulento se adhiera a la pieza, y un subsistema de horneado que permite el curado de la pintura proporcionando el terminado de la pieza.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Fortalecer productiva y tecnológicamente las empresas Santandereanas, mediante la capacitación del recurso humano, la incorporación del diseño, desarrollo e investigación de maquinaria en el proceso productivo, continuando con la misión de la Universidad de atender y dar solución a diferentes necesidades de todas las comunidades.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diseñar, un sistema que permita el acondicionamiento, recubrimiento y curado de piezas en hierro gris aplicando la técnica de pintura electrostática, que conste de los siguientes subsistemas y cumpla con las siguientes especificaciones:

Subsistema de preparación de la superficie de las piezas. Que consta de un conjunto de tanques para el proceso de desengrase, enjuague activado, fosfatizado y sello, los cuales deben resistir los procesos químicos, térmicos y mecánicos que se deben realizar a las piezas de hierro gris.

Subsistema cabina de aplicación de pintura en polvo y sistema de recuperación. Esta es una unidad que debe permitir la aplicación del polvo electrostático en las piezas, cumpliendo las normas de luminosidad, acondicionamiento de aire, recuperación del polvo electrostático no utilizado y sistema de polo a tierra.

Subsistema de Curado. Que está constituido por un horno de convección que debe alcanzar una temperatura de 200 a 215 oC, y funcionar utilizando gas natural.

Subsistema de transporte. Del cual hace parte una canastilla que transporta las piezas dentro de los tanques, un estante con ruedas, que transporta las piezas en el interior del horno de curado, que debe soportar los esfuerzos causados por el peso de las piezas, y la temperatura de trabajo.

2. GENERALIDADES DE LA PINTURA INDUSTRIAL

La palabra pintura en el ámbito industrial es una mezcla de materia colorante, resina, y aditivos, diseñada para ser aplicada mediante algún método, en capas delgadas sobre cualquier tipo de superficie para fines de decoración, protección o recubrimientos funcionales.

Los efectos decorativos pueden ser producidos por el color, brillo, textura, iluminación ó una combinación de éstos.

La función protectora de las pinturas incluye resistencia al agua, sustancias químicas como ácidos, óxidos y contaminación atmosférica, además mejora las propiedades mecánicas sobre algunos materiales.

2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PINTURAS INDUSTRIALES

Las pinturas industriales se dividen en dos grupos:

- Capas de fondo
- Capas de acabado

2.1.1 Capas de fondo. Dentro de las capas de fondo se encuentran:

- ❖ Imprimaciones
- ❖ Selladoras
- ❖ Tapa poros
- ❖ Masillas
- ❖ Plastos
- ❖ Intermedias

2.1.2 Capas de acabado. Dentro de las capas de acabado se encuentran:

- ❖ Barnices
- ❖ Esmaltes
- ❖ Revestimientos
- ❖ Lacas
- ❖ Pinturas líquidas
- ❖ Pinturas en polvo

Siendo la pintura en polvo la principal sustancia a ser manipulada en este proyecto, se profundizará en este tipo de pinturas.

2.2 GENERALIDADES DE LA PINTURA EN POLVO

La pintura o recubrimiento en polvo electrostático es una dispersión de pigmentos combinados con resina sólida, debidamente pulverizada.

Figura 1. Pintura en polvo



Fuente: <http://www.venezolanadepinturas.com/>

Este tipo de pintura presenta diferentes características dependiendo de la composición de cada recubrimiento, como: buen flujo y nivelación, secado rápido, alta impermeabilidad, resistencia a la abrasión, espesor de película, flexibilidad y dureza, buena adhesión y durabilidad.

2.3 EVOLUCIÓN DE LA PINTURA EN POLVO

La historia del recubrimiento en polvo empieza a finales de la década de 1940 y principios de la de 1950, en una época en la que los recubrimientos en polvo termoestables, seguían siendo aplicados por la técnica del lecho fluidizado, el Dr. Erwin Gemmer, un científico alemán, en mayo de 1953, registró una patente de procedimiento apropiado. El aislamiento eléctrico, la resistencia a la corrosión y a la abrasión estaban en primer plano. Fue la firma alemana Bosch quien desarrolló la forma básica de resina epoxi en polvo al intentar encontrar un material de aislamiento eléctrico. El gran espesor de película para numerosas aplicaciones y la tecnología de procesamiento electrostático de recubrimientos en polvo, que fue desarrollada poco después en los EE.UU. y Europa, no permitieron que la técnica del lecho fluidizado se volviera relevante. Con las pistolas electroestáticas fabricadas por la firma Sams para la aplicación electroestática y que dio lugar al término Samesización. El número de instalaciones de recubrimientos en polvo, tan sólo en Alemania, aumentó de cuatro en 1966 a 51 en 1970. A partir de principios de la década de 1970, el recubrimiento en polvo empieza su marcha hacia la conquista mundial, aunque el crecimiento del mercado de recubrimientos en polvo fue inicialmente flojo hasta 1980. Hasta entonces, las instalaciones eran caras, el espesor de película era demasiado grueso para uso comercial, los problemas de cambio de color y las altas temperaturas de tratamiento limitaban mucho el tono y efecto de los colores y la diversidad de sustratos.

Su crecimiento se debe principalmente a 4 factores:

- La adopción de nuevas leyes para el control de emisiones volátiles a la atmósfera.
- El ahorro de los recursos energéticos no renovables.
- Los avances tecnológicos en recubrimientos y sistemas de aplicación.
- Las pinturas en polvo son fabricadas y aplicadas sin el uso de solventes, lo que indica que, las pinturas en polvo no emiten gases tóxicos.

2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS PINTURAS EN POLVO

En general en la actualidad existen dos grandes clasificaciones para las pinturas industriales en polvo:

- Termoplásticas
- Termoestables

2.4.1 Pinturas Termoplásticas. En las pinturas termoplásticas se usan tres resinas principalmente, vinilos, nylons y poliésteres. Estos materiales generalmente son usados en algunas aplicaciones en contacto con alimentos, estantes de hospitales, anaqueles de supermercado y aplicaciones sobre pavimento. Es una pintura que se aplica en caliente a una temperatura de 180 grados aproximadamente, dependiendo del fabricante. Esta pintura tiene la particularidad de volverse plástica a altas temperaturas y rígida a temperatura ambiente, pero si se vuelve a calentar, se derretirá nuevamente. Posee particulares características de resistencia al desgaste, su principal desventaja es el gran espesor que se debe aplicar y la baja cohesión molecular entre las partículas de la pintura.

2.4.2 Pinturas Termoestables. Cuando una pintura termoestable es aplicada y sometida al calor, se derrite, fluye y se entrecruza químicamente para formar una capa de pintura continua de un nuevo polímero, que suministra excelente resistencia química y alta durabilidad. Una pintura termoestable que se ha curado y se ha entrecruzado no se derrite ni fluye nuevamente por segunda vez.

Composición. Las pinturas termoestables se componen de:

- Resinas
- Pigmentos
- Aditivos

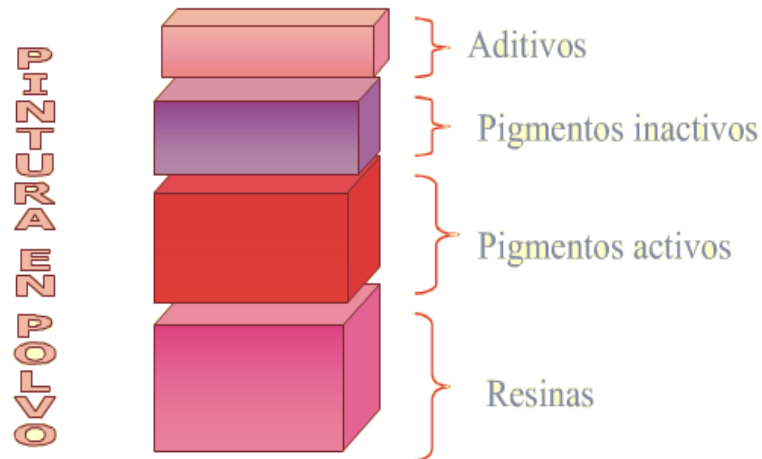
a. Resinas: este material también llamado plástico, polímero, vehículo, forma el film ó capa de pintura. Sin una resina no hay recubrimiento. Están compuestas de resinas sólidas de peso molecular relativamente alto y un entrecruzante. Son aplicadas por el proceso electrostático generalmente, y horneadas a la temperatura necesaria para obtener el curado final. Las resinas más utilizadas en la formulación de pinturas en polvo termoestables son: Epóxicas, Poliéster y Acrílico.

Estas resinas son combinadas con diferentes entrecruzantes para producir una variedad de pinturas en polvo. Los entrecruzantes o agentes de curado, utilizados en las pinturas en polvo son: aminas, anhídridos, melaninas, e isocianatos.

b. Pigmentos: provee, entre otras funciones opacidad y color para el film aplicado. Los pigmentos pueden ser omitidos para recubrimientos tales como los barnices.

c. **Aditivos:** son sustancias que podrían ser agregadas para proveer propiedades especiales a la pintura (ejemplo propiedades de curado).

Figura 2. Composición de la Pintura en Polvo



Fuente: Manual industrias PINTUCO S.A.

Tipos de pinturas termoestables. Existen 3 tipos de pinturas termoestables:

- Epóxy
- Poliéster
- Híbrido (epóxy / poliéster)

a. Pintura termoestable tipo EPOXY: las pinturas en polvo basadas en resinas del tipo Epóxico están diseñadas para obtener óptimas propiedades mecánicas, superior protección contra la corrosión, alta dureza, buena resistencia a la abrasión y flexibilidad. Los productos protegidos con estas pinturas no se deben usar en el exterior por períodos prolongados. Los recubrimientos Epóxicos se pueden formular a la exigencia del cliente en tonos y texturas requeridas.

Usos: Para decorar y proteger accesorios interiores para vehículos, acoples, aparatos de laboratorio, básculas y balanzas, calentadores, campanas extractoras, cilindros para gas, equipo hospitalario, cajas eléctricas, equipos para gimnasia, extintores, herramientas para jardín, interior de congeladores, juguetes, entre otros. **Para uso exclusivo en interiores, en exteriores presenta entizamiento, decoloración y pérdida de brillo.**

Tabla 1. Resistencia química de la película tipo epóxy

PROPIEDAD	NORMA	TEST	RESULTADO
Niebla Salina	ASTM B 117		500 horas PASA
Cámara de humedad	ASTM D 2247	100% Humedad 37°C	500 horas PASA
Resistencia a la intemperie	ASTM G 26	Weater - o - meter	No se recomienda al exterior
Resistencia a los rayos UV	ASTM G 53	Q.U.V.	No se recomienda al exterior

Fuente: Manual industrias PINTUCO S.A.

b. Pintura termoestable tipo Poliéster. Las pinturas en polvo formuladas en resinas Poliéster (TGIC) ofrecen excelente comportamiento al ser aplicadas sobre una variada gama de superficies metálicas como, hierro (CR), cobre, zamac, aluminio, latón etc. Son recubrimientos de alta resistencia al exterior, tiene una gran retención de brillo, estabilidad de color, gran resistencia a rayos UV, así como una gran resistencia al calor. Hay disponibilidad de gran variedad de colores, texturas y brillos. **Es un producto idóneo para acabados de piezas que van a estar expuestas a la intemperie.**

Usos: Para decorar y proteger todo tipo de piezas de uso exterior, acondicionadores de aire, sillas y mesas de jardín, iluminación de exteriores, toldos, techos metálicos, autopartes, tableros eléctricos, electrodomésticos, herramientas, griferías, muebles de decoración, transformadores, bicicletas, motos, etc.

Tabla 2. Resistencia química de la película tipo Poliéster

PROPIEDAD	NORMA	TEST	RESULTADO
Niebla Salina	ASTM B 117		500 horas PASA
Cámara de humedad	ASTM D 2247	100% Humedad 37°C	500 horas PASA
Resistencia a la intemperie	ASTM G 26	Weater - o - meter	SI
Resistencia a los rayos UV	ASTM G 53	Q.U.V.	SI

Fuente: Manual industrias PINTUCO S.A.

c. Pintura Termoestable Tipo Híbrido (Epóxy / Poliéster). Son pinturas en polvo formuladas en combinación de resinas Epóxicas y Poliéster, denominadas HIBRIDO, ofrecen alta resistencia química y mecánica, resistencia al rayado superficial y alta dureza. Presentan mayor resistencia a rayos UV, al calor y estabilidad de color que las Epóxicas puras. Estos recubrimientos presentan excelentes propiedades de protección y decoración. **No son recomendadas para uso continuo a intemperie por presentar entizamiento, decoloración y pérdida de brillo.**

Usos: para decorar y proteger todo tipo de piezas de uso interior. Accesorios interiores para vehículos, electrodomésticos en general, herramientas,

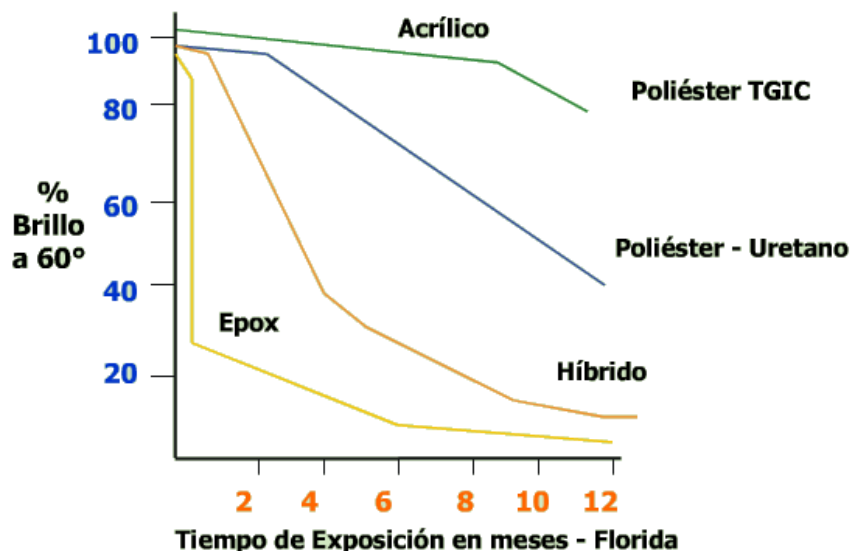
griferías, cajas metálicas, filtros, elementos de decoración, muebles metálicos, bandejas porta cables, lámparas, juguetes, medidores de gas, entre otros.

Tabla 3. Resistencia química de la película Tipo Híbrido

PROPIEDAD	NORMA	TEST	RESULTADO
Niebla Salina	ASTM B 117		500 horas PASA
Cámara de humedad	ASTM D 2247	100% Humedad 37°C	500 horas PASA
Resistencia a la intemperie	ASTM G 26	Weater - o - meter	No se recomienda al exterior
Resistencia a los rayos UV	ASTM G 53	Q.U.V.	No se recomienda al exterior

Fuente: Manual industrias PINTUCO S.A.

Figura 3. Conservación del brillo de las piezas a la intemperie de los tipos de pintura



Fuente: Manual industrias PINTUCO S.A.

2.5 VENTAJAS DE LA PINTURA ELECTROSTÁTICA

- Se logran espesores de hasta 60 micrones con una sola aplicación.
- Este pintado redondea bordes y aristas afiladas.
- Tapa superficies bastas, producto del limado o galleado.
- La pintura es extremadamente flexible y adherente.
- Una vez curada no se puede volver a derretir con calor.
- El proceso de pintado y secado en horno no emite ninguna emanación tóxica al medio ambiente.
- El metro cuadrado de pintado incluyendo todos los costos involucrados es 40% más barato que otro pintado similar líquido.
- Esta pintura es más fácil de aplicar, pues no produce chorreaduras por inexperiencia del operador. La capa electrostática da una notable homogeneidad de espesor de pintado.
- El manejo y manipulación del polvo es más fácil y menos peligroso que el líquido.
- Menos riesgo de incendio.
- El pintado electrostático reemplaza las tradicionales manos de pintado anticorrosivo.
- El polvo utilizado y recuperado se vuelve a utilizar.
- La presentación de una pieza pintada con polvo es excelente y no tiene igual o que se le parezca con sistemas líquidos.
- El pintado electrostático presenta alta característica de anti-rayabilidad.
- Las superficies pintadas con pintura electrostática en polvo no se saltan.
- El pintado con polvo le permite al industrial terminar definitivamente con la pintura en cosa de minutos, que con las otras formas le llevaban días, obteniendo un pintado seco, resistente y listo para embalar.

2.6 DESVENTAJAS DE LA PINTURA ELECTROSTÁTICA

- El alto costo de la implementación de un horno adecuado para curar la pintura, y otros accesorios para instalaciones más complejas o automatizadas.
- Existe ligera y persistente dificultad de pintar lugares de difícil acceso como puntos de soldaduras o intersticios en la unión de dos trozos metálicos. Esto acarrea problemas como oxidación.
- Poca factibilidad de pintar piezas metálicas grandes como estructuras, puesto que se requeriría de un horno con las dimensiones suficientes para colocar dicha estructura en su interior.

2.7 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE PINTADO CON PINTURA ELECTROSTÁTICA

Para obtener los mejores resultados en las piezas tratadas con pintura electrostática, debemos garantizar la ejecución de todos los procesos que intervienen en el sistema, a continuación se describirá en forma general el proceso de aplicación de pintura en polvo ó electrostática. Este es el método de aplicación más común. Las partes a ser recubiertas son limpiadas, secadas y enfriadas, la pintura es aplicada y luego se transportan un horno para que la pintura sea curada a la temperatura requerida y el tiempo recomendado, dependiendo del tamaño, material y forma de la pieza a pintar.

Los 4 subsistemas esenciales son:

- Subsistema de preparación de la superficie de las piezas.
- Subsistema de aplicación de pintura en polvo y sistema de recuperación.
- Subsistema de horneado o curado de la pintura en polvo.
- Subsistema de elementos para el transporte de las piezas.

2.7.1 Subsistema de preparación de las superficies de las piezas. Las piezas que van a ser pintadas mediante el proceso de pintura electrostática, vienen generalmente desde la fundición, línea de producción o con objetivos de mantenimiento, al ingresar a la sección de pintura electrostática lo primero que se debe hacer es someter estas piezas a un tratamiento de limpieza químico, mecánico o alcalino con el objetivo de acondicionar la pieza para una correcta recepción del polvo electrostático, lo cual asegura la alta calidad en el acabado de los productos.

Figura 4. Preparación y limpieza de las superficies de las piezas



Fuente: <http://www.articulosmetalicos.com>

2.7.2 Subsistema de aplicación de la pintura en polvo. Al terminar el tratamiento de limpieza se procede a aplicar la pintura en polvo ó recubrimiento electrostático. Este proceso se realiza en un sistema que consta de las siguientes partes:

- Cabina para la aplicación:
 - ❖ Soporte para colgar las piezas
 - ❖ Conexión a tierra

- Equipo de aplicación:
 - ❖ Pistola para la aplicación
 - ❖ Cable de alto o bajo voltaje
 - ❖ Panel de control
 - ❖ Contenedor de pintura

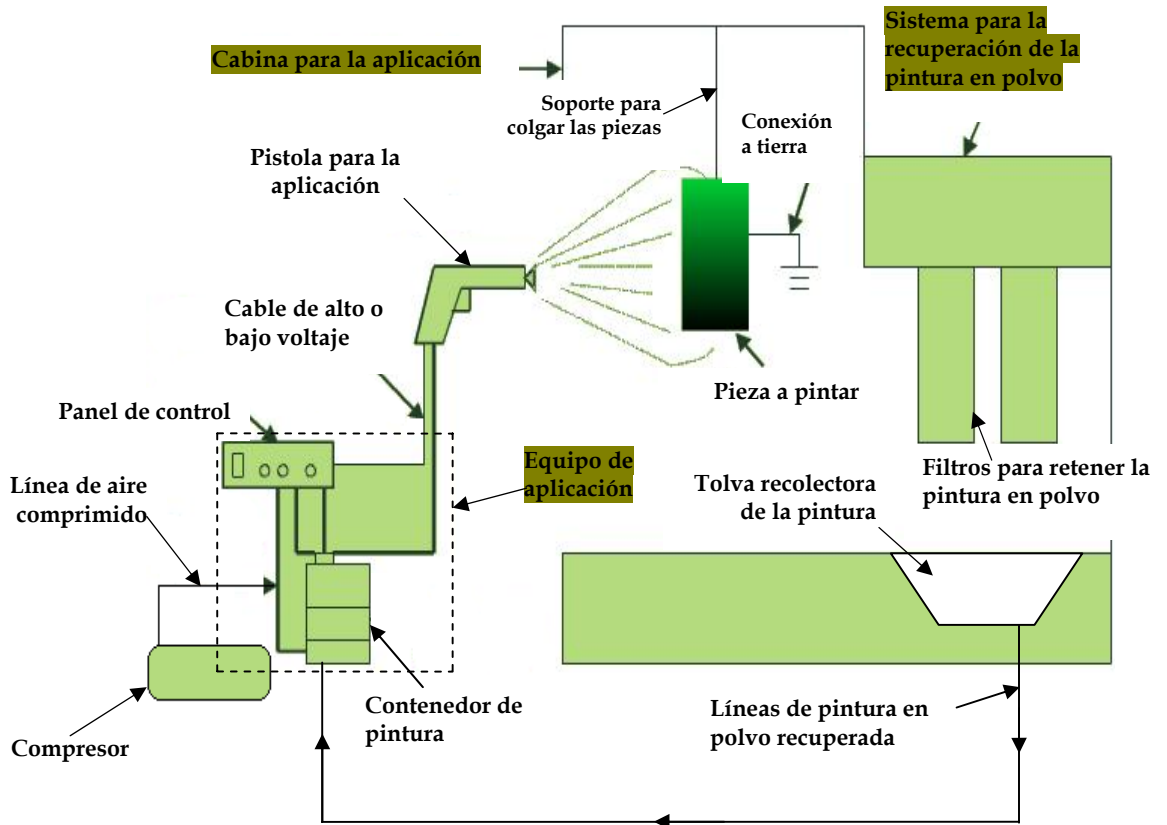
- Sistema de recuperación de la pintura en polvo:
 - ❖ Filtros para retener la pintura en polvo
 - ❖ Tolva recolectora de la pintura

- Sistema de aire comprimido:
 - ❖ Compresor de aire
 - ❖ Unidad de mantenimiento para aire comprimido

La cabina es un recinto en el cual se coloca la pieza a pintar, ésta pieza es colgada de un soporte, el cual está conectado eléctricamente a tierra. El pintado se hace mediante un equipo electrostático, fluidizando la pintura en polvo que se encuentra en un contenedor, para luego transportar las partículas pulverulentas neumáticamente hacia la pistola, ésta genera un campo eléctrico, donde las partículas de la pintura en polvo son cargadas eléctricamente. Al salir de la pistola la pintura en forma de nube, es atraída hacia la pieza a pintar debido al fenómeno electrostático.

La pintura en polvo no utilizada se retiene en los filtros de aspiración contraria, y mediante un pulso aire comprimido dirigido hacia su interior, se logra que la pintura caiga en la tolva para su recolección y reutilización.

Figura 5. Aplicación de la pintura en polvo



Fuente: Manual industrias PINTUCO S.A.

2.7.3 Subsistema de horneado o curado de la pintura en polvo.

Terminada la aplicación, la pieza cubierta, es llevada a un horno para que la pintura sea curada. En él, la pintura se derrite y se entrecruza, sus componentes reaccionan, convirtiéndose en una película dura sobre el substrato y se completa el proceso.

Figura 6. Piezas horneadas y terminadas



3. SUBSISTEMA DE PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIES DE LAS PIEZAS

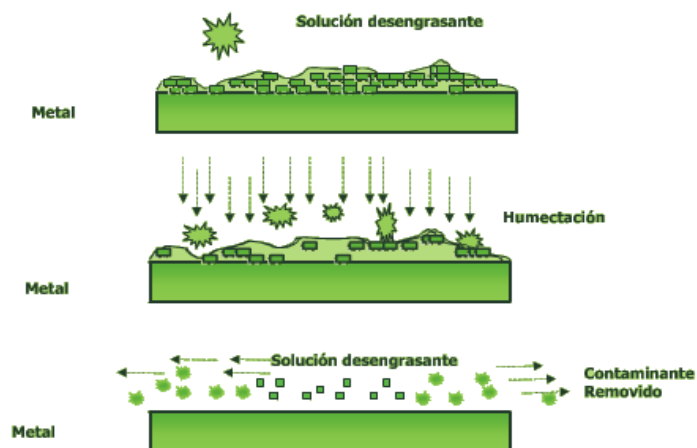
Lo primero a tener en cuenta y que a menudo es pasado por alto, es la preparación o limpieza que requiere en la superficie de las piezas, las cuales han de ser recubiertas con pintura en polvo mediante la técnica de pintado electrostático.

El desempeño de la pintura está directamente relacionado a la condición del sustrato. La aplicación del recubrimiento sobre una superficie contaminada impedirá que la pintura presente buena unión al sustrato, si el contaminante se levanta lo mismo hará la pintura. Para asegurar una buena apariencia y adherencia, la pieza debe estar totalmente limpia.

Además de la limpieza, un recubrimiento de conversión es utilizado para pasivar la superficie previa a la aplicación de la pintura ya que con la excepción de algunos metales preciosos como la plata, el oro y el platino los metales reaccionan con el aire para formar una capa de óxido sobre su superficie.

La pintura en polvo suministra al sustrato la apariencia y las calidades de desempeño necesarias. La capa final que se adhiere en un proceso de limpieza actúa como una barrera física a la humedad. Si el recubrimiento se daña y el metal desnudo queda expuesto se inicia la corrosión y se esparce. El pretratamiento no sólo suministra una mejor adherencia de la pintura a la pieza, sino que también ayuda a prevenir la aparición de corrosión por debajo de la capa, agregando valor al producto y extendiendo su vida útil.

Figura 7. Mecanismo de limpieza



Fuente: Manual industrias PINTUCO S.A.

Un conocimiento de las piezas metálicas y las condiciones previas al pintado es esencial. Hay un número de opciones en cuanto al tipo y extensión del proceso de pretratamiento utilizado. Para una situación particular debemos considerar:

- Los requerimientos de desempeño de la pieza final
- La pintura que se está aplicando
- El tipo de sustrato que está siendo recubierto
- Los diferentes tipos de pretratamiento disponibles

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUSTRATOS

Cada clase de metal tiene sus propias características que afectan el desempeño y la aplicación de un acabado de pintura. Estas características se analizan teniendo en cuenta los atributos de la superficie y los contaminantes que puedan estar presentes.

3.1.1 Atributos de Superficie. Son variados y dependen de la composición química y de los procesos usados en la producción del metal:

- Tamaño
- Configuración
- Material
- Óxidos
- Hidratos
- Sales de los elementos metálicos

3.1.2 Contaminantes. Sobre el acero estos incluyen:

- Carbonos de superficie
- Aceites
- Lubricantes
- Partículas finas de metal
- Inclusiones de superficie no metálicas
- Calamina
- Carburos
- Mugre
- Productos de corrosión
- Desechos
- Depósitos de hongos y otros

Estos contaminantes dependiendo de la naturaleza del sustrato pueden ser quitados por una variedad de métodos químicos y mecánicos.

3.2 MÉTODO DE LIMPIEZA SEGÚN SU NATURALEZA

El método que debe utilizarse en una situación dada, se determina por la pieza que va a ser pintada, el tipo de contaminante y los requerimientos de desempeño del producto acabado.

Los métodos de limpieza según su naturaleza son:

- Limpieza Mecánica
- Limpieza Química

Se subdivide en dos métodos:

- ❖ Limpieza Alcalina
- ❖ limpieza ácida

3.2.1 Limpieza mecánica. Los contaminantes pueden ser quitados de manera efectiva por abrasión mecánica de la superficie. Los métodos mecánicos, incluyen:

- Cepillo de alambre y/o con arena
- Procesos automatizados
- Procesos de abrasión mecánica o decapado

Estos procesos ayudan a promover la adherencia pero presentan las siguientes desventajas:

- No suministran ninguna resistencia adicional a la humedad
- Generan contaminación por el contacto con el elemento abrasivo

- Alto tiempo en horas hombre
- Espacio de proceso considerable
- Sistemas de seguridad complejo
- Consumo de energía eléctrica alto
- Factores que aumentan el costo de producción

3.2.2 Limpieza química. Un tratamiento químico es un proceso mediante el cual se logra la remoción de aceites, mugre y otros contaminantes que interfieren con el desarrollo de un fosfato de buena calidad, buena adherencia del recubrimiento o causan defectos en la superficie. Este proceso se puede clasificar según:

- Agente Desengrasante
- Método de aplicación del agente desengrasante

Agente desengrasante. La naturaleza del desengrasante utilizado dependerá de los sólidos a ser removidos, el tamaño y tipo de la pieza y de la pintura a ser aplicada. Los desengrasantes alcalinos son los más comunes, los hay también ácidos y emulsiones. El desengrasante seleccionado debe tener la capacidad de:

- Quitar una amplia variedad de sólidos
- Impedir la redeposición
- Suministrar limpieza incluso cuando esté contaminado
- Proveer control de espuma
- Ser fácilmente enjuagable
- Ser económico

a. Limpieza alcalina: los desengrasantes alcalinos son el método más común de remoción de sólidos para la preparación de metales, previa a la aplicación de pintura en polvo. Se componen de hidróxido de sodio (soda cáustica), son muy económicos donde la limpieza por saponificación sea deseable. Los desengrasantes alcalinos son altamente reactivos con superficies no ferrosas, causan resquebrajamiento del aluminio y en superficies de zinc crean limaña y por consiguiente le agregan zinc a la solución. Los residuos de soda cáustica son difíciles de enjuagar especialmente si la temperatura de la solución está en el rango alto. Un desengrasante alcalino suave (PH de 9 a 10), proveerá una mejor remoción de sólidos y una vida de baño mayor de lo que lo hace una solución cáustica. Los residuos de sales alcalinas consumirán el ácido libre, vertiendo las sales de metal y degenerando el baño de fosfato. Un limpiador alcalino suave, previo al fosfato ayudará en la formación de un recubrimiento de fosfato denso más uniforme facilitando la adherencia de la pintura y mayor protección contra la corrosión.

b. Limpieza ácida: la limpieza ácida está basada en el ataque de una superficie por ácidos sulfúricos, hidroclicóricos, nítricos, fosfóricos, hidrofluóricos, fluorbóricos, o crómicos y varias sales de estos ácidos. Estas generalmente incluyen tensoactivos, secuestrantes de iones de metal, solventes tipo alcohol, y un inhibidor para impedir o prevenir el ataque en exceso del metal. Estos pueden ser útiles para la remoción de óxidos livianos, residuos orgánicos, sales persistentes y otros residuos que ya están disueltos en el ácido. Debido al hecho de que los ácidos son corrosivos y por lo tanto más difíciles de bombear y manipular son menos utilizados. Para los metales que son susceptibles de endurecimiento por hidrógeno tales como los aceros de aleación y los grados de carbono alto del acero, la limpieza ácida no es una opción. Los ácidos pueden también reaccionar con algunos metales para formar subproductos insolubles que interfieren en procesos

posteriores. Estas soluciones ácidas inorgánicas relativamente fuertes utilizan ácido sulfúrico, hidroclicórico, fosfórico y nítrico. Este tipo de solución puede ser útil para la remoción de contaminación difícil.

Método de aplicación del agente desengrasante. Según la forma de aplicación del agente desengrasante podemos clasificar el método de pretratamiento como:

- Aspersión
- Inmersión

a. Proceso de Aspersión: en este proceso las piezas son sometidas a un baño de agente desengrasante utilizando sistemas de espray, es el método más apropiado para partes de gran tamaño y altos volúmenes de producción. Permite procesos automatizados.

Figura 7. Sistemas de aspersión



Fuente: Autores y <http://www.venezolanadepinturas.com/>

b. Proceso de Inmersión: en este proceso se sumergen las piezas en un tanque el cual contiene determinadas soluciones, permitiendo con esto realizar el tratamiento de las piezas cuyos volúmenes son grandes y sin formas definidas, dicho proceso permite llegar a sectores de las piezas donde no sería posible mediante un proceso por aspersion, las sustancias pueden estar a temperatura ambiente, pero el proceso se hace más rápido y eficiente cuando se calienta la solución.

Figura 8. Sistemas de inmersión



Fuente: Autores y <http://www.nadema.es/>

La limpieza apropiada de algunas piezas puede requerir una combinación de etapas de aspersion y de inmersión. La etapa de aspersion combina las propiedades químicas del desengrasante con la acción mecánica de la presión. La etapa de inmersión penetra las áreas de la pieza que pueden ser inaccesibles a la aspersion.

Los procesos de aspersion o de inmersión pueden ser utilizados en operaciones manuales.

Parámetros de control. Los parámetros para el control del proceso de una solución desengrasante son: Tiempo de proceso, concentración química,

temperatura, presión del aire, tiempo de residencia, y el volumen de contaminantes en la solución. Estos son los puntos que deben ser monitoreados, registrados y mantenidos dentro de rangos apropiados para que se logre una buena limpieza.

Sistema de inmersión vs aspersion. En algunos casos una combinación de inmersión y aspersion se requiere para proveer la limpieza completa de la pieza. En la siguiente tabla podemos observar los diferentes tratamientos y el material al que se debe aplicar.

Tabla 4. Sistema de inmersión vs aspersion

Factor	Sistema	
	Inmersión	Aspersion
Llega a resquicios	SI	NO
Problemas causados por bolsas de aire atrapado	SI	NO
Facilidad para controlar la temperatura	SI	NO
Fijación de residuos sobre la superficie	SI	NO
Mayor aprovechamiento de soluciones	SI	NO
Contaminación repentina y gradual	SI	SI

Tabla 5. Tratamientos típicos de limpieza a diferentes tipos de metales

METAL	CONTAMINANTES	TRATAMIENTO TIPICO
Hot rolled	Escamas de laminación, Oxido, carbono sobrante, grasa, aceite, polvo y mugre.	Arenado, limpieza alcalina, fosfato de hierro o zinc
Cold rolled	Inhibidores de corrosión, Aceites, polvo y mugre.	Limpieza alcalina, fosfato de hierro o zinc
Acero inoxidable	Mugre, aceites, capa de óxido Pasivo.	Arenado, o decapado, acido para quitar capa de oxido, limpieza alcalina y enjuague.

METAL	CONTAMINANTES	TRATAMIENTO TÍPICO
Acero Galvanizado	Mugre, aceites de manipulación	Limpieza alcalina y fosfato de zinc o hierro
Aluminio extruido	Capa de oxido, mugre y aceites de manipulación.	Limpieza alcalina para mayor resistencia a la corrosión.
Aluminio vaciado	Componentes emitidos por el vaciado, mugre y aceite.	Arenado o brillado para quitar sobrantes en el vaciado, limpieza alcalina
Zinc vaciado	Componentes emitidos por el vaciado, mugre y aceite	Arenado o pulido para quitar excesos del vaciado, limpieza alcalina y fosfato de hierro.

Fuente: Manual industrias pintuco s.a.

3.3 TANQUES RECTANGULARES PARA LA INMERSIÓN

En el proceso de inmersión se ve la necesidad de recipientes para almacenar y mantener las soluciones a temperaturas específicas, los tanques de paredes planas se utilizan únicamente para presiones hidrostáticas bajas debido a su forma mecánicamente débil. La cantidad de material requerida para los tanques rectangulares es mayor que la utilizada en los tanques cilíndricos de igual capacidad. Sin embargo, a veces se prefiere utilizar dichos tanques por la facilidad de fabricación y buena utilización de espacio.

Tabla 6. Tanques rectangulares para la inmersión



A continuación se presentan los fundamentos a tener en cuenta para el diseño de tanques rectangulares

3.3.1 Tamaño máximo. Los tanques sin elementos atiesadores no pueden ser mayores de 30 pies cúbicos de capacidad; los que si llevan tendrán menos de 140 pies cúbicos de capacidad.

Para tanques de mayor tamaño se utilizan tirantes por razones económicas. Los elementos atiesadores pueden soldarse al tanque con soldadura intermitente o continua y pueden colocarse en el interior o en el exterior.

Un elemento atiesador; es un elemento estructural utilizado como refuerzo en las paredes del tanque cuando este tiene un volumen mayor a un metro cúbico.

3.3.2 Relación de los lados. Si todos los lados son iguales, la longitud de un lado $B = \sqrt[3]{V}$, siendo V el volumen en pies cúbicos, la relación preferible es el lado largo: 1,5B y el lado corto 0,667B.

Las formulas siguientes están basadas en la deflexión máxima permitida $\Delta = L/500$, en donde L es el lado más largo de la placa. El esfuerzo permitido para el material de la placa puede tomarse como el permitido por las normas ASME para recipientes sujetos a presión, sección VIII, división 1 Los valores de α usados en las fórmulas dependen de la proporción de los lados y aparecen representados la Figura 40.

α = factor que depende de la relación entre longitud y altura; H/L, ver Figura 41

E= modulo de elasticidad = $30\,000\,000 \text{ lb/pg}^2$ para acero al carbono

G=densidad del liquido

H= altura del tanque en pulgadas

I= momento de inercia, pg^4

L= longitud del tanque, pulgadas

ρ = presión del liquido, lb/pg^2

R= reacción, con subíndices que indiquen su ubicación, lb/pg^2

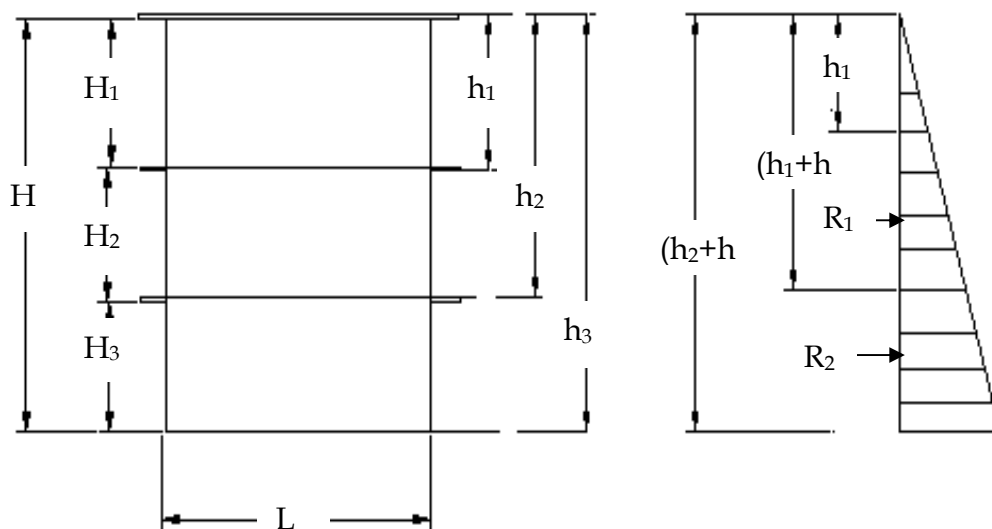
S= valor de esfuerzo de la placa, lb/pg^2 tomado de las tablas de las normas ASME

t= espesor de placa requerido, pulgadas

w= carga por unidad de longitud, lb/pg

l= distancia máxima entre soportes

Figura 9. Esquema para los tanques rectangulares

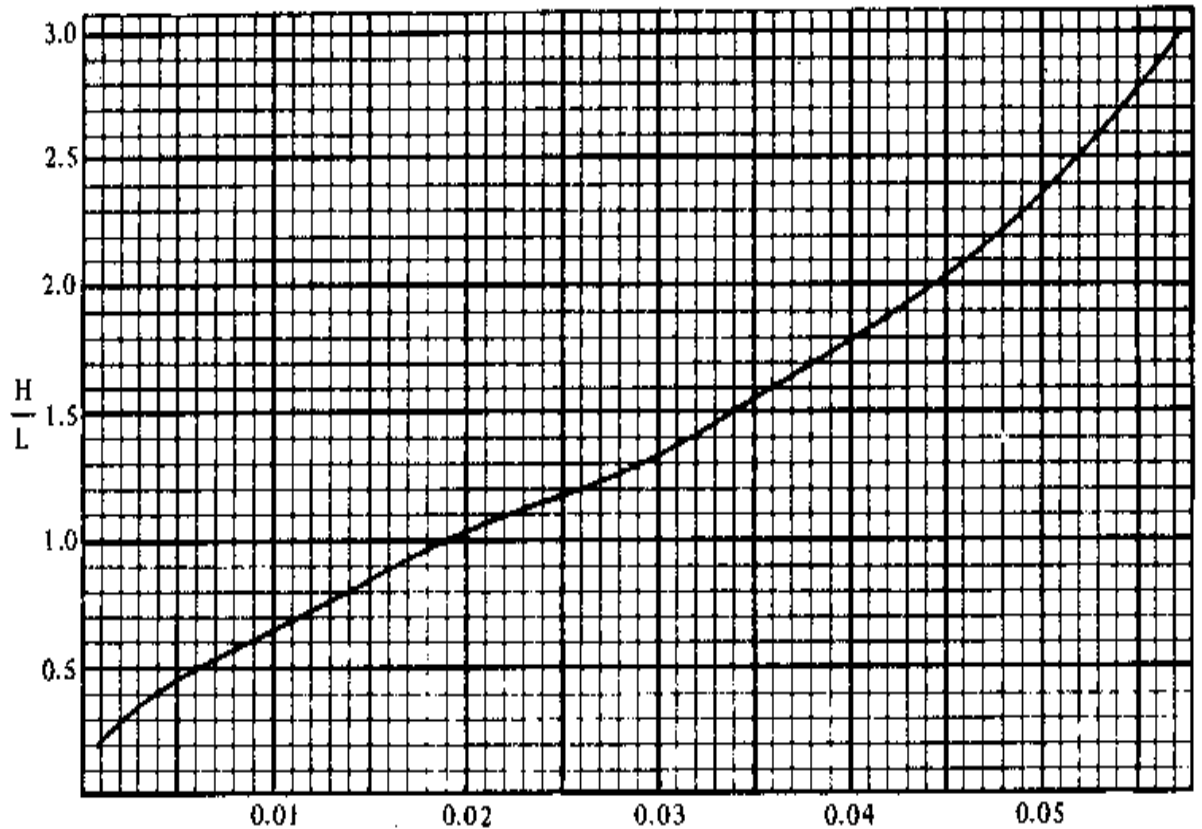


Fuente: Manual de recipientes a presión. Eugene F. Megysey

$$H_1 = 0.60H$$

$$H_2 = 0.40H$$

Figura 10. Valores de αn en la fórmula para tanques rectangulares



Fuente: Manual de recipientes a presión. Eugene F. Megysey

Tabla 7. Numero de atiesadores que se requiere.

H (en pulgadas)			
60-84	84-120	120-156	>156
1	2	3	4

Fuente: Manual de recipientes a presión Eugene F. Megysey

Tabla 8. Separación entre los elementos atiesadores

	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅
1	0.60H	00.40H			
2	0.45H	0.30H	0.25H		
3	0.37H	0.25H	0.21H	0.17H	
4	0.31H	0.21H	0.18H	0.16H	0.14H

Fuente: Manual de recipientes a presión Eugene F. Megysey

Tabla 9. Momento de inercia mínimo para los atiesadores

Carga, lb/pg	$w = \frac{0.036Gh^2}{2}$	
MOMENTO DE INERCIA MINIMO PARA LOS ATIESADORES	$I = 1.25R \frac{L^3}{E}$	En donde $R = 0.7w$
Espesor de placa Requerido	$t = 2.45L \sqrt{\alpha_n \frac{P_n}{S}}$	

Fuente: Manual de recipientes a presión Eugene F. Megysey

3.3.3 Soldadura de tanques rectangulares para la inmersión. La industria ha encontrado en la soldadura un procedimiento eficiente, seguro y económico para la unión de metales en prácticamente todas las operaciones de fabricación.

Entre los numerosos procedimientos de soldeo que se aplican en la actualidad, la soldadura con llama, el soldeo por arco y la soldadura por

resistencia son los más extendidos, no existen reglas sencillas y precisas que determinen el tipo de soldadura a utilizar para cada trabajo en particular. En general los factores determinantes para la elección son, el tipo de metal a soldar, el costo, la naturaleza de los productos a fabricar y las técnicas aplicadas en la producción.

a. Procedimiento por arco eléctrico con electrodo revestido: la principal ventaja de la soldadura por arco estriba en la gran rapidez con que se realizan soldaduras de gran calidad a un costo relativamente bajo.

Es una buena costumbre extender la lámina del piso 12 mm (1/2 plg) más allá de los costados del tanque con el fin de que la soldadura estructural quede expuesta para inspección y reparaciones. Dos son las posibilidades, si el tanque es de acero inoxidable o en coll rolled, utilizar soldadura por arco con protección gaseosa ó utilizar soldeo por arco con electrodos revestido.

Figura 11. Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido



b. Procedimiento TIG: el objetivo fundamental en cualquier operación de soldadura es el de conseguir una junta con las mismas características que el metal base: Este resultado solo puede obtenerse si el baño de fusión está completamente aislado de la atmósfera durante toda la operación de soldeo. De no cumplirse esta condición, tanto el oxígeno como el nitrógeno del aire serán absorbidos por el metal en estado de fusión y la soldadura quedara porosa y frágil.

Inicialmente la soldadura por arco con protección gaseosa se utilizaba únicamente en el soldeo de aceros inoxidables y otros metales de difícil soldadura. En la actualidad, las distintas variantes del procedimiento se aplican a la unión de todo tipo de metales presentando las siguientes ventajas:

- La protección gaseosa simplifica notablemente el soldeo de metales no féreos, por no requerir el empleo de desoxidantes.
- Permite obtener soldaduras más limpias, sanas y uniformes, debido a la escasez de humos y proyecciones. Por otra parte, dado que la protección gaseosa que rodea el arco es transparente, el soldador puede ver claramente lo que está haciendo en todo momento esto repercute favorablemente en la calidad de la soldadura.
- Puesto que la superficie del cordón presenta una gran limpieza, pueden suprimirse, o reducirse sensiblemente las operaciones de acabado, lo que incide favorablemente en los costes de producción.
- Por último también es menor la deformación de las piezas en las inmediaciones del cordón de soldadura.

Figura 12. Soldadura de los tanques por procedimiento TIG



Para el soldeo por el procedimiento TIG puede utilizarse cualquier grupo convencional, de corriente continua o corriente alterna, es importante que se permita un buen control de la corriente en el campo de las pequeñas intensidades. Esto es necesario para conseguir una buena estabilidad de arco.

Tabla 10. Selección del tipo de corriente para soldaduras TIG

METAL A SOLDAR	CORRIENTE ALTERNA CON ESTABILIZACION POR ALTA FRECUENCIA	CORRIENTE POLARIDAD DIRECTA	CORRIENTE POLARIDAD INVERSA
Acero inoxidable hasta 1.5 mm de espesor	1	2	NR
Acero inoxidable 1.5 mm o más de espesor	2	1	NR
Acero suave 0.3 a 0.7 mm espesor	NR	1	NR
Acero suave 0.7 a 3 mm espesor	2	1	NR
Acero duro 0.3 a 0.7 mm espesor	2	1	NR
Acero duro 0.7 a o más espesor	2	1	NR

Fuente: Técnica y práctica de la soldadura.

- **1** > procedimiento recomendado. Excelentes resultados
- **2** > Aunque pueden ser buenos resultados, es menos recomendable.
- **NR** > No recomendable.

Las particularidades a tener en cuenta en la soldadura TIG de cada metal se describen a continuación:

Tabla 11. Especificaciones de la Soldadura TIG en láminas de acero

ESPESOR PIEZAS (mm)	CORRIENTE CONTINUA POLARIDAD DIRECTA (Amperios)	DIAMETRO VARILLA (mm)	CAUDAL DE ARGON @ 1,4 Kg/cm ²	
			Litros/min.	m ³ /hora
1	100	1,5	4-5	0,24- 0,30
1,2	100-125	1,5	4-5	0,24- 0,30
1,5	125-140	1,5	4-5	0,24- 0,30
2	140-170	1,5	4-5	0,24- 0,30

Fuente: Técnica y práctica de la soldadura.

El soldeo con procedimiento TIG, depende del grado de capacitación que tenga el operario, del gas inerte que se utilice para el proceso, del ambiente donde se lleve a cabo el proceso, cuando estos parámetros no son suficientemente satisfechos, se debe evaluar que procedimiento es mejor

utilizar, ya que si el procedimiento TIG no es aplicado de una forma adecuada, la demora en el soldeo será notoria, y la calidad de la soldadura no será la esperada, es en este momento donde entra a jugar el termino costo beneficio, pues a pesar de ser el procedimiento TIG un proceso económico, sus costos tienden a aumentar si este no se aplica de la forma adecuada aquí se entra a evaluar otro procedimiento económico, y de más facilidad de aplicación, pero sin dejar de lado la necesidad de realizar un buen trabajo de soldadura.

c. Materiales para la construcción de los tanques: el acero inoxidable está relativamente libre de hidratos de hierro que son un componente común del acero al carbón. La capa de óxido pasivo presente en el acero inoxidable, es relativamente inerte a los limpiadores alcalinos y otros compuestos químicos que son comúnmente utilizados en el acero de carbono. Estas razones hacen escoger como primera opción un acero 304 o 316L, dependiendo del que se encuentre con mayor facilidad en el momento de la construcción, siendo el 316L el tipo de acero más recomendado.

Uno de los puntos relevantes al construir es el costo del material, partiendo de esto otra opción, sería construir los tanques en lamina cold rolled y recubrir estos tanques internamente con recubrimiento en fibra de vidrio con tela mak 700, humectada con resina 30805, para almacenar líquidos, terminada con una capa de resina pura pigmentada en color blanco, esto para los tanques que serán utilizados para solo almacenamiento de agua, (enjuague), por otro lado en los tanques cuyo fluido a almacenar debe ser una mezcla de agua con producto químico el fondo debe ser fabricado en lamina de acero inoxidable AISI 316L.

3.4 AISLAMIENTO TÉRMICO DE LOS TANQUES

Los aislantes térmicos se componen de materiales de baja conductividad térmica combinados para lograr un sistema de conductividad térmica aun más baja. Estos materiales deben presentar las siguientes características:

- La eficiencia térmica contribuye a reducir las pérdidas de calor y consumo de combustibles.
- El aislante a utilizar debe ser de bajo peso para facilitar la instalación incluso cuando se trabaja con grandes cantidades.
- Debe tener gran elasticidad de tal forma que garantice llenar completamente todos los espacios asegurando la alta eficiencia.
- Debe ser de fácil instalación y fácil mantenimiento.

4. SUBSISTEMA DE APLICACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO Y SISTEMA DE RECUPERACIÓN

El proceso apropiado para aplicar la pintura en polvo es el de pintado por equipo electrostático.

4.1 PINTADO POR EQUIPO ELECTROSTÁTICO

El pintado electrostático, es un proceso en el cual la pintura en polvo se esparce sobre las piezas a pintar, estas piezas son colgadas de un soporte, el cual está conectado eléctricamente a tierra. Esta aplicación se realiza en una cabina, proporcional al tamaño de las piezas a pintar, para evitar el desperdicio y lograr la reutilización de la pintura no aplicada, en la parte posterior se coloca un sistema de recuperación. La pintura en polvo que se encuentra en un contenedor se fluidiza mediante aire comprimido, limpio y seco, para luego transportar neumáticamente las partículas pulverulentas hacia la pistola, ésta genera un campo eléctrico, donde las partículas de la pintura en polvo, son cargadas eléctricamente. Al salir de la pistola, la pintura flota en forma de nube, que es atraída hacia la pieza a pintar debido al fenómeno electrostático.

En el sistema de recuperación, la pintura en polvo no utilizada, se retiene en los filtros tipo cartucho, de aspiración contraria, debido a un extractor de aire colocado fuera de la cabina y mediante un pulso aire comprimido, dirigido hacia el interior de éstos filtros, se logra que la pintura caiga en la tolva para su recolección y reutilización. La pieza es entonces llevada al horno para obtener el curado final de la pintura.

Este proceso hace posible aplicar recubrimientos con espesores de 75 µm en adelante, con una amplia variedad de características de protección, decoración y tipos de acabados, lisos, texturizados, craqueados, brillantes, mates, transparentes, coloridos y metálicos.

4.2 PARTES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE APLICACIÓN

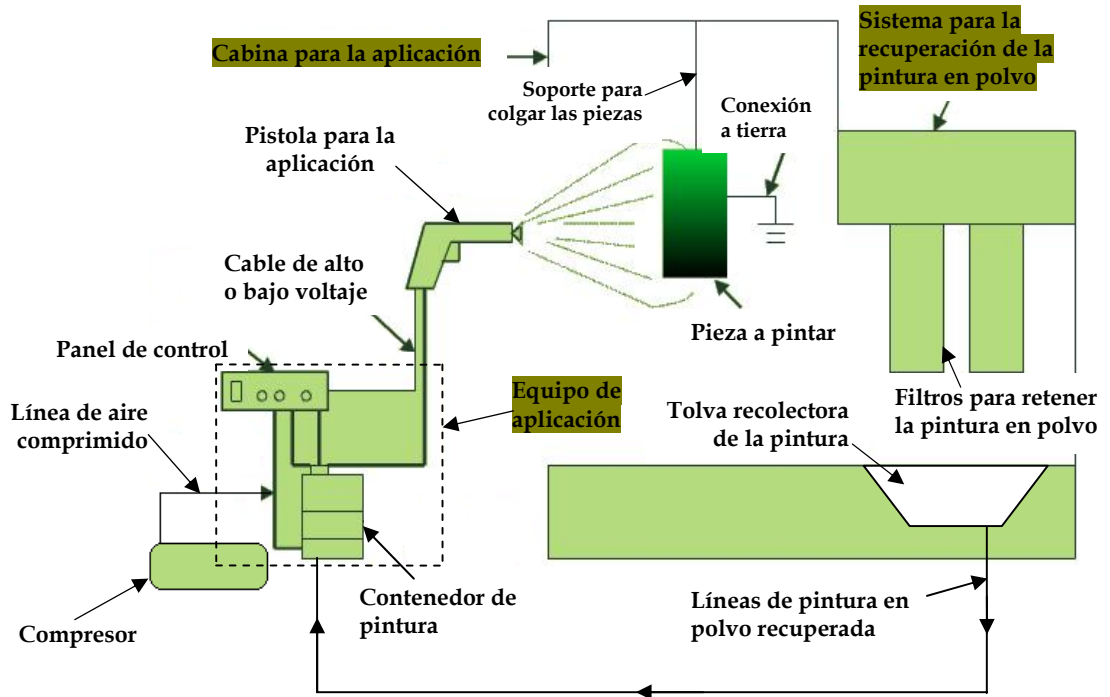
- **Cabina para la aplicación**
 - ❖ Soporte para colgar las piezas
 - ❖ Conexión a tierra

- **Equipo de aplicación**
 - ❖ Pistola para la aplicación
 - ❖ Cable de alto o bajo voltaje
 - ❖ Panel de control
 - ❖ Contenedor de pintura

- **Sistema de recuperación de la pintura en polvo**
 - ❖ Filtros para retener la pintura en polvo
 - ❖ Tolva recolectora de la pintura

- **Sistema de aire comprimido**
 - ❖ Compresor de aire
 - ❖ Unidad de mantenimiento para aire comprimido

Figura 13. Partes del sistema de aplicación con equipo electrostático



Fuente: Manual industrias pintuco s.a.

Figura 14. Aplicación de la pintura en polvo



Figura 15. Desgaste de las partículas durante el proceso de aplicación



4.3 PISTOLAS PARA LA APLICACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO

Hay una amplia variedad de pistolas electrostáticas disponibles, manuales y automáticas, con diferentes métodos de suministro de carga. Los tipos más comunes de pistolas utilizados son:

- Pistola tipo corona
- Pistola tipo tribocarga
- Pistola tipo campana
- Pistola tipo disco

Las principales funciones de las pistolas electrostáticas son: La orientación del flujo de pintura, controlar la forma del patrón de aplicación, su tamaño y producir una carga electrostática a la pintura, ésta puede ser impartida por inducción con voltaje llamada “carga por corona”, o por fricción con la parte interna de la pistola, llamada “tribocarga”.

4.3.1 Pistola tipo corona. Es el tipo más utilizado, este utiliza voltaje para suministrar una carga a las partículas de la pintura en polvo. Un electrodo de carga en la punta de la pistola está conectado a un generador de alto voltaje.

El generador puede estar en el tablero de control y conectado al electrodo por un cable de alto voltaje o puede estar localizado dentro del cuerpo de la pistola. Los multiplicadores de alto voltaje dentro del cuerpo de la pistola están conectados al tablero de control por un cable de bajo voltaje.

Cuando es accionada una pistola de carga por corona, se creará un campo eléctrico en la punta de la pistola y la pintura es cargada. Las líneas de campo se desarrollarán entre la punta del electrodo de la pistola y la pieza a pintar, conectada a tierra. Siempre tendremos electrones o iones libres en el aire, estos iones libres, pasan a través del campo eléctrico que está en la punta de la pistola, y comenzarán a moverse a lo largo de éste, colisionándose con las moléculas de aire.

Cuando el voltaje aplicado y el electrodo crean un campo eléctrico en exceso superando la fuerza de rompimiento del aire, se genera una descarga por corona. El impacto de los iones libres sobre la molécula de aire será lo suficientemente fuerte para partirla en dos, formando dos iones secundarios uno negativo y otro positivo. Los electrones secundarios se acelerarán en el campo eléctrico y repetirán el proceso de partir las moléculas de aire para formar más iones. Los iones negativos resultantes se acelerarán a lo largo de las líneas de campo hacia la pieza mientras que el sobrante de iones positivos se acelerará a lo largo de las líneas de campo en la dirección opuesta hacia el electrodo de la pistola. El espacio entre la pistola y la pieza conectada a tierra se llena de millones de electrones libres y de iones positivos.

Las piezas conectadas a tierra, suministran un electrodo receptor para formar un campo electromagnético entre la pistola y la pieza. A medida que las partículas de la pintura en polvo pasan a través de este campo, se cargan, con iones negativos y siguen el campo electromagnético del aire para formar un campo electrostático. A medida que el aire lleva las partículas a unos

pocos centímetros de la pieza, la atracción electromagnética atrae las partículas hacia la superficie de la pieza y hace que ellas se adhieran ahí hasta que alguna otra fuerza actúe o que sean curadas por la inducción de calor o energía radiante.

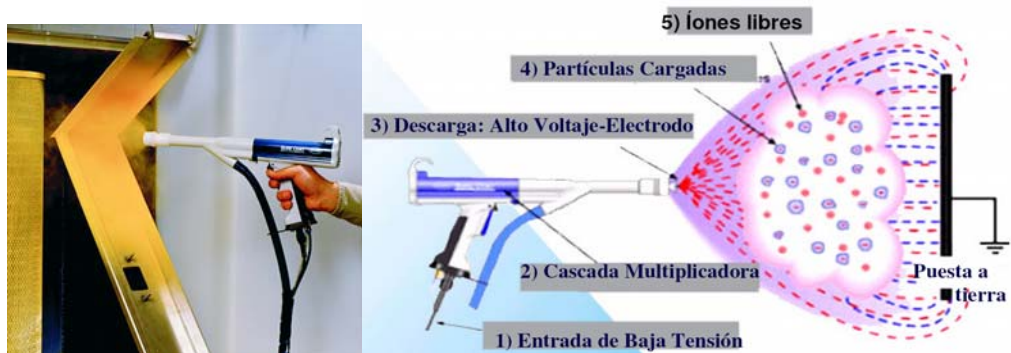
La corriente de aire conducirá la partícula hacia la pieza pero, si la partícula no está cargada o la fuerza del campo no es suficiente la pintura cargada será alejada de la pieza por estas fuerzas. La polaridad del electrodo de carga puede ser positiva o negativa. Es preferida la carga negativa ya que los iones son generados en mayor cantidad.

Los factores que afectan la carga por corona son: la distancia entre la pistola y el objeto a pintar, la velocidad de la pintura, la configuración de la boquilla y el electrodo, la fuerza del campo, el tiempo que la partícula gasta dentro del área de carga, el tamaño y forma de la partícula en polvo. La resistencia del aire, la fuerza aerodinámica, la fuerza de gravedad halan la pintura alejándola de la pieza.

La mayoría de las pinturas en polvo son dieléctricas. Una vez que están cargadas, la carga no se retirará rápidamente. A medida que las partículas en polvo llegan a la superficie, llevada a tierra ellas inducen una carga de igual valor y de polaridad opuesta sobre el metal.

Los electrones adentro del metal dejarán vacía el área, dejando una carga positiva que atrae la pintura en polvo cargada negativamente. Esta carga en el metal es comúnmente llamada "carga por espejo". Las cargas opuestas se atraen unas a otras y sostienen a la partícula en polvo sobre la superficie. Ellas generan otro campo eléctrico entre sí. Una partícula en polvo más grande con carga más alta contribuirá a un campo eléctrico más fuerte entre ella misma y la superficie de la pieza.

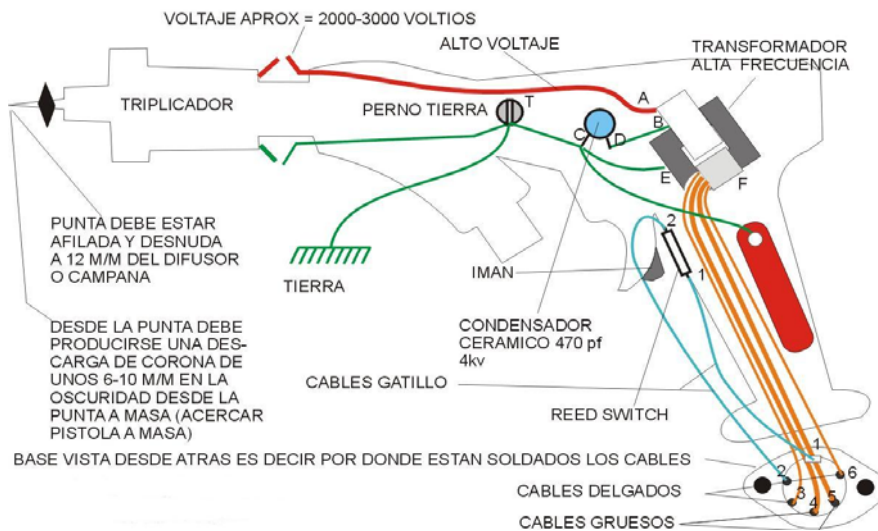
Figura 16. Pistola tipo corona



Fuente: <http://www.nordson.com>

Todas las pinturas no se comportan de la misma manera cuando se someten a una carga electrostática. Por ejemplo, un poliéster puro o un híbrido epóxy/poliéster se pueden cargar mejor que un epóxico. Por lo tanto, puede ser necesario reducir los porcentajes de flujo y/o de voltaje para controlar el espesor del recubrimiento para reducir la retroionización con algunas pinturas. El tamaño de la partícula y su distribución también afectan el espesor de la película de pintura.

Figura 17. Esquema eléctrico pistola tipo coronap



Fuente: <http://www.maquinaria.cl>

Una pistola de carga por corona, ofrece más ajustes para diferencias de tamaños en piezas y geometrías. Los patrones de flujo de aire, volumen de aire, velocidad y nivel de voltaje, deben ser ajustados para acomodarse a diferentes piezas y pinturas. Esto da al operador mucha flexibilidad al controlar el espesor de la película, y otras variables de proceso que son comunes en las instalaciones de producción.

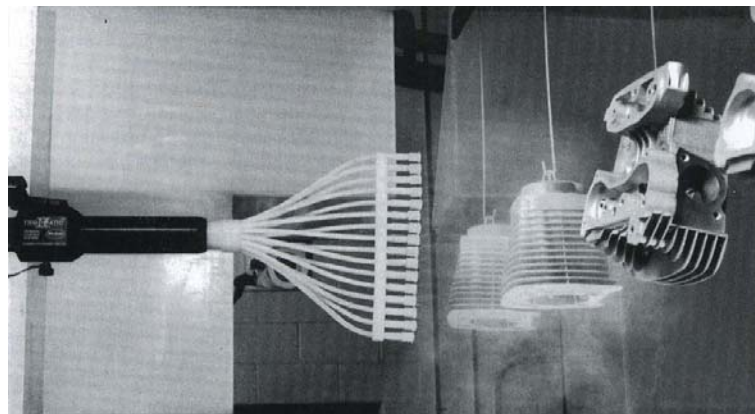
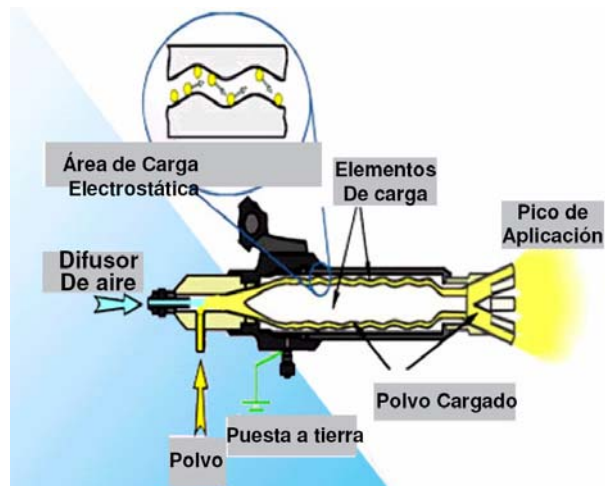
4.3.2 Pistola tipo tribocarga. En una pistola de tribocarga, las partículas en polvo son cargadas por fricción con el material que está dentro del cuerpo de la pistola. Una mezcla de pintura y aire, entra a la pistola a través de una sección tubular que está hecha de un material, buen aceptor de electrones, como el teflón. A medida que las partículas en polvo colisionan con las paredes del tubo, recogen una carga positiva y otorgan electrones al tubo. La carga negativa, es pasada desde el cuerpo de la pistola hacia la tierra a través de un cable.

La pintura en polvo debe ser seleccionada con materias primas que sean donantes de electrones, como nylon, epóxico o poliéster puro. ***No todas las pinturas en polvo pueden ser utilizadas efectivamente en una pistola de carga tribo. Además de la composición química de la pintura, los sistemas tribo son más sensibles al tamaño de las partículas que la pistola corona.***

Generalmente, las partículas más grandes son más efectivas para una formulación en una pistola tribo. Una ventaja de la pistola tribo, es la habilidad para repintar, como la superficie no recibe gran número de iones libres, ésta no opone resistencia para recibir una segunda capa que se adhiera a la primera. El método de carga tribo puede ayudar a lograr un cubrimiento uniforme sobre una superficie con ángulos. En aplicaciones

donde se requiera una profunda penetración, la pistola tribo suministra buen cubrimiento, sin acumulación excesiva de pintura en los bordes externos.

Figura 18. Pistola tipo tribocarga



Fuente: <http://www.nordson.com>

Generalmente, un sistema tribo funcionará en situaciones donde no hay mucha variedad de piezas y pinturas. Con una pistola tribo, pueden ser ajustados el volumen de pintura y la distancia hacia el objetivo.

La mejor aplicación para las pistolas tribo es aquella donde hay poca o ninguna necesidad de ajuste. Una pintura y una mezcla bien consistente de

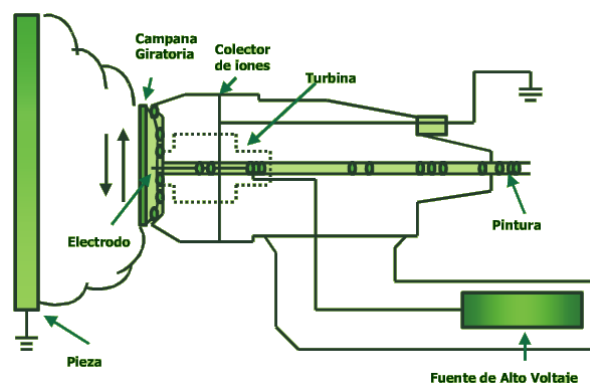
piezas pueden trabajar muy efectivamente con una pistola tribo. La pistola tribo puede ser muy efectiva, con la pintura en polvo correcta.

Se deben realizar muestreos para asegurarse de que la pintura en polvo es compatible con los dispositivos de carga positivos.

4.3.3 Pistola tipo campana. La campana o turbina para la aplicación de pintura en polvo está basada en los mismos principios que las pistolas rotatorias hechas para la aplicación de pinturas líquidas.

La campana en polvo está montada en una posición horizontal sobre un montaje de pistola estacionaria o recíprocante. Una turbina rota en forma de campana en la punta de la pistola. La pintura es entregada a la campana por aire comprimido. La fuerza centrífuga de la campana, expulsa la pintura en un patrón parejo desde pequeños agujeros o ranuras alrededor del borde del disco. El electrodo de carga tiene forma de disco o de aguja y está localizado en la punta de la pistola. El campo eléctrico y el método de carga es el mismo como en la pistola electrostática corona. El patrón y la velocidad pueden ser controlados por la velocidad de giro de la campana y por una fuente de aire "que suministra la forma".

Figura 19. Pistola tipo campana



Fuente: Manual industrias PINTUCO S.A.

La campana, puede entregar un gran volumen de pintura sobre una amplia área de superficie con un alto nivel de eficiencia de carga, con excelente control del espesor de la película y una alta eficiencia de transferencia en la primera pasada.

El patrón de la pintura entregada desde la campana es más amplio que el de una pistola normal y más concentrado alrededor de los bordes que en el centro. La campana necesita ser accionada antes de que la pieza llegue y permanecer activada hasta que pase. Como el patrón de la campana puede ser hasta de 18 pulgadas, se genera demasiado sobrepintado durante la llegada a la zona de aplicación y la salida de esa zona por la pieza.

La campana es apropiada para líneas de alto volumen de producción. Sería grandiosa por ejemplo para paneles pero no muy buena para cuadros o marcos donde hay mucha área vacía y muy poca superficie. Una pistola de carga tribo suministrará mejor penetración en las áreas de difícil acceso, de lo que lo hace una campana.

4.3.4 Pistola tipo disco. El disco para el polvo está montado sobre un recíprocante vertical de golpe largo, dentro de una cabina en forma de "Omega". Al igual que la campana, éste es capaz de suministrar una alta eficiencia de transferencia. El tiempo de permanencia en la zona de aplicación es mayor que el de una convencional, el envolvimiento y penetración son muy buenos. Distinto a la campana el disco no rota. La pintura es tribocargada y entregada a un disco grande, el cual está localizado en la parte inferior del cuerpo de la pistola. El disco suministra la pintura en un patrón circular hacia las piezas a medida que ellas pasan a través de la cabina. El disco es capaz de suministrar flujos de pintura de hasta 180 libras por hora, lo cual se pueden cubrir hasta 950 mts² por hora.

El disco es una pieza especializada para aplicaciones de grandes áreas y con un espesor de recubrimiento muy pequeño. Extrucciones en aluminio, grandes lotes de piezas pequeñas y elementos de alambre son usos apropiados para este equipo.

Los procesos deben ser examinados, probados, documentados y utilizados para ayudar con el arranque cuando la instalación está lista para la producción.

4.4 CABINAS PARA LA APLICACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO

Son compartimentos diseñados para el proceso de aplicación de pintura en polvo y evitar que la pintura no usada se salga de la cabina, a estas se le adhiere un sistema de recuperación del polvo. La aplicación se puede hacer de forma manual o automática.

El estilo particular, el tamaño y el número de las cabinas necesarias están relacionados con el tamaño del producto, el espacio disponible, cambios de color y el volumen de producto a ser pintado. Las paredes de las cabinas de pintura en polvo son generalmente hechas de acero pintado, acero inoxidable, polipropileno, policarbonato u otro plástico transparente y unas pocas son hechas de vidrio o de polietileno.

El acero pintado es adecuado, pero hay algún riesgo de que la pintura se despegue y contamine la pintura en el sistema de reciclaje. El acero inoxidable es muy durable con una superficie suave y fácil de limpiar. Las cabinas de paredes plásticas, ofrecen una superficie fácil de limpiar y permiten que entre algo de luz al área de aplicación.

Las cabinas de paredes plásticas no son conductivas y por consiguiente se le pega menos pintura en sus paredes, facilitando la limpieza y mejorando la eficiencia de transferencia.

El tamaño de la pieza determina la altura, el ancho y la abertura de la cabina, ésta abertura debe permitir que la pieza entre con apropiada luz alrededor de los bordes. En la mayoría de los casos, esa luz es mayor a 13 centímetros entre la pieza más grande y los bordes de la abertura. En los sistemas automáticos la necesidad es de mantener la cadena de transporte por fuera de la zona de aplicación, esta recogerá pintura, la cual se curará en el horno aislando la conexión a tierra.

Es crucial tener una buena iluminación dentro de la cabina especialmente para aplicación manual. Si el operario no puede ver la superficie, aplicará demasiada o poca pintura. Deben ser instaladas lámparas fluorescentes horizontalmente en el techo y verticalmente en las paredes de la cabina, estas deben tener protección contra incendios.

Los tipos de cabinas más usuales son:

- Cabinas para aplicación manual
- Cabinas de transporte continuo o conveyor

4.4.1 Cabinas para aplicación manual. Son las cabinas para la aplicación de pintura más simples, diseñadas para que un operario aplique manualmente la pintura a un producto estacionario ó pequeños lotes, son producidas para trabajo de laboratorio y situaciones industriales de bajo volumen de producción. ***Estas tienen un área de trabajo relativamente pequeño (típicamente entre 1.2 x 1.2 m de abertura) apropiada para***

colgar piezas medianas. El sistema de recuperación está localizado en la parte trasera de la cabina y la pintura es aplicada a desperdicio.

Figura 20. Cabinas para aplicación manual



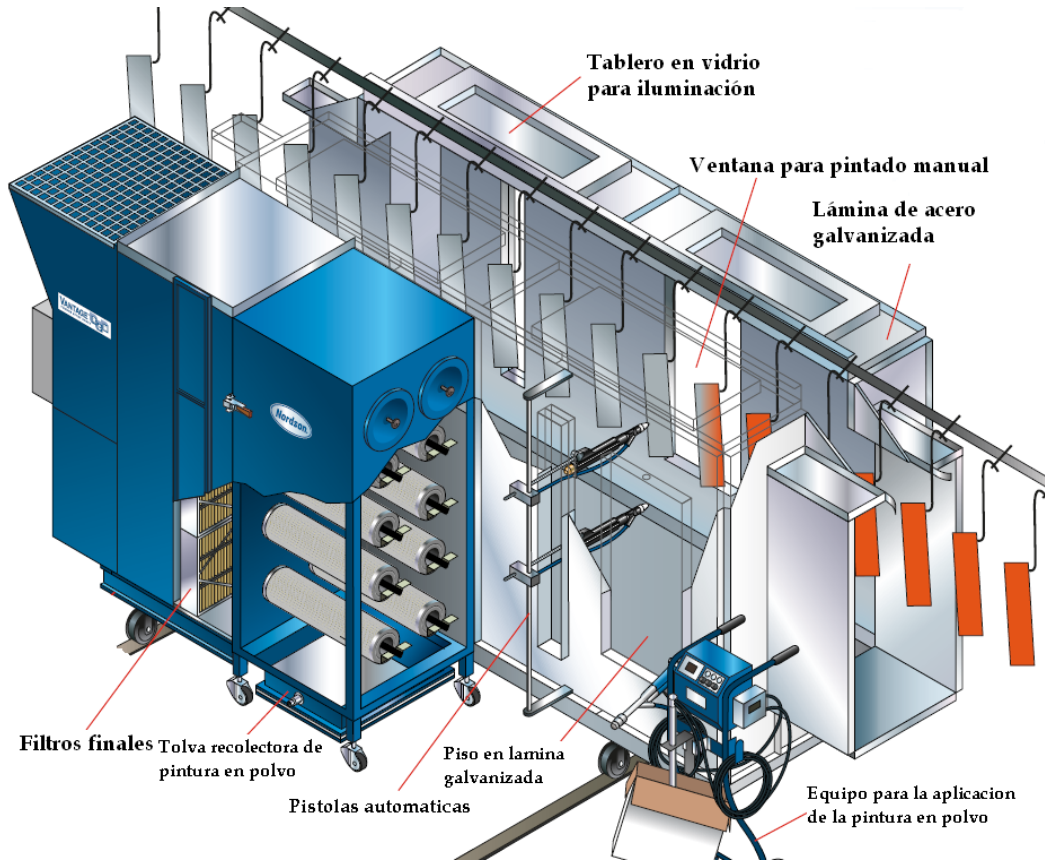
Fuente: Autores y <http://www.itwgema.org>

4.4.2 Cabinas de transporte continuo o conveyor. Las cabinas conveyor son diseñadas para aplicación automática, manual o una combinación de las dos, de manera que las piezas puedan ser transportadas y pintadas continuamente a través de una guía.

Estas cabinas, dan altos volúmenes de producción sin las dificultades de manipulación asociados con la aplicación manual.

El sistema de recuperación estará diseñado para capturar la pintura a ser reutilizada.

Figura 21. Cabinas de transporte continuo o conveyor



Fuente: <http://www.nordson.com>

Muchas cabinas son diseñadas para dos operarios, uno para cada lado de la cabina con el fin de hacer los retoques necesarios. Las aberturas de los operarios, están dispuestas para evitar la aplicación directamente del uno hacia al otro. Una plataforma debajo de la abertura manual levanta al operario al nivel apropiado. La punta del colgador de la banda está a un mínimo de 6 pulgadas por encima del techo de la cabina.

La misma configuración de cabina puede ser diseñada para la aplicación automática. Los sistemas automáticos, requieren siempre de un sistema de

detección contra incendios para apagar el equipo si se detecta un conato de incendio.

Las aberturas para la aplicación, deben ser ubicadas al lado del colector para evitar contra flujos de aire. Si la pintura es aplicada cerca del colector, ésta no llega a la pieza, debido a la succión del aire del sistema de recuperación.

4.5 SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO

Este sistema de recuperación captura la pintura sobrante para ser tamizada y luego reutilizada o evacuada como basura. Los sistemas diseñados apropiadamente, tienen un filtro primario y otro secundario, comúnmente llamado filtro final. El primer filtro es utilizado para capturar la pintura sobrante, para ser reutilizada, y el filtro final es utilizado para quitar cualquier partícula que haya pasado a través del filtro primario manteniendo el ambiente de trabajo libre de partículas.

El ventilador de succión o extractor de aire, debe mantener una velocidad del aire a través de todas las aberturas entre 100 y 120 pies lineales por minuto (l.f.m.). Si la cabina está apropiadamente diseñada, tendrá un flujo de aire parejo a lo largo del compartimento y no interferirá con el proceso de pintado permitiendo la llegada de la pintura a la pieza y que no la desprenda de ésta. En muchas cabinas "caseras" se comete el error de halar el aire a través de una salida muy pequeña y cerca al área de aplicación. Como resultado, el flujo de aire aleja la pintura de la pieza. En estos casos, el operario compensa este error de diseño aumentando la presión de entrega aplicando demasiada pintura a la pieza. El flujo de aire apropiado, requiere un balance cuidadoso entre la necesidad de retener la pintura y la necesidad de evitar turbulencia dentro de la cabina. La entrada hacia el sistema de recuperación,

debe ser suficientemente grande y lejos de la zona de aplicación para evitar interferencia con el proceso.

Los fabricantes de cabinas se apoyan en la velocidad del aire para determinar el tamaño del extractor.

Los sistemas de recuperación se clasifican en:

- Tipo Cartucho
- Tipo Ciclón

4.5.1 Sistema de recuperación por filtros tipo cartucho. El sistema de recuperación por filtros tipo cartucho, es el sistema que brinda mayores beneficios. Este tipo de sistema utiliza filtros de aspiración contraria reemplazables para la retención de la pintura en polvo. Estos elementos de cartucho están hechos de material corrugado (celulosa o poliéster) para la filtración, con un diámetro del poro de 25 micras.

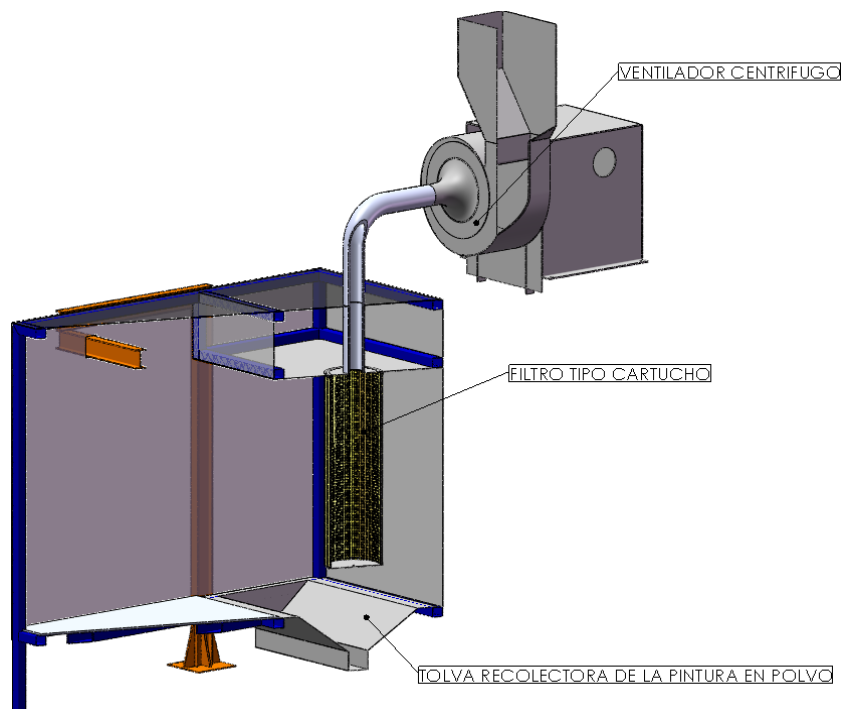
Los filtros, la tolva recolectora del polvo y el extractor de aire, van montados detrás de la cabina sin conducto de conexión, pueden ser parte o no de la cabina. La pintura sobre esparcida es halada hacia los filtros, por el extractor de aire. La pintura recolectada en los filtros es retro-pulsada por aire que hace descargas secuenciales en contra presión, haciendo caer las partículas de la pintura en polvo hacia el fondo del colector para transferirla de regreso hacia el cánister de recuperación. En la mayoría de los casos, la pintura virgen es agregada al módulo de recuperación a través de un canal de carga/descarga. El material virgen es mezclado con material recuperado y luego filtrado antes de ser entregado de nuevo al hopper o recipiente de almacenamiento de pintura. El aire sale limpio de los cartuchos y pasa al medio ambiente.

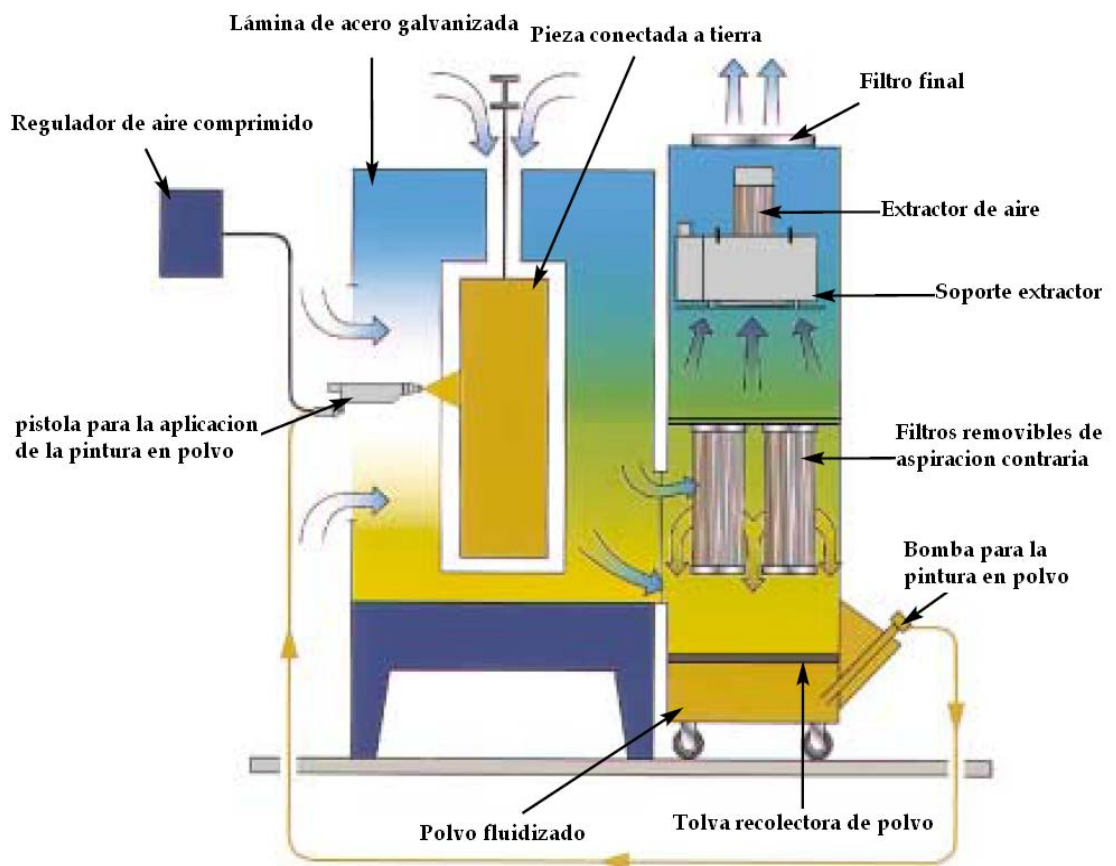
Figura 22. Filtro tipo cartucho



Fuente: <http://www.baldwinfilter.com>

Figura 23. Sistema de recuperación por cartucho





Fuente: <http://www.nordson.com>

Figura 24. Descargas secuenciales en contra presión



Fuente: <http://www.articulosmetalicos.com>

El módulo de cartucho puede ser utilizado para múltiples colores en un sistema de aplicación, siendo necesario cambiar el módulo que está en operación por otro.

La mayoría de estos sistemas tienen integrado un equipo de tamizado continuo, para eliminar los contaminantes del ambiente y luego lo adicionan al hopper para entrar de nuevo al proceso.

4.5.2 Sistema de recuperación tipo ciclón. El ciclón es utilizado como un separador para clasificar la pintura por tamaño de partícula. Las partículas más grandes son recolectadas en el ciclón para ser reutilizadas y las partículas finas pasan a través del ciclón hacia el cartucho colector. La pintura sobrante de la aplicación, es atraída por el flujo de aire por un ventilador a través del sistema de ductos.

La mezcla, pintura y aire, entran al ciclón a una velocidad promedio de 60 (f/s) pies por segundo y la forma cilíndrica del ciclón influencia la mezcla pintura/aire para que gire de manera centrífuga, las partículas en polvo caen hacia el cánister de recuperación en la parte inferior del ciclón. Esta pintura recuperada puede ser automáticamente transferida de regreso al hopper de alimentación.

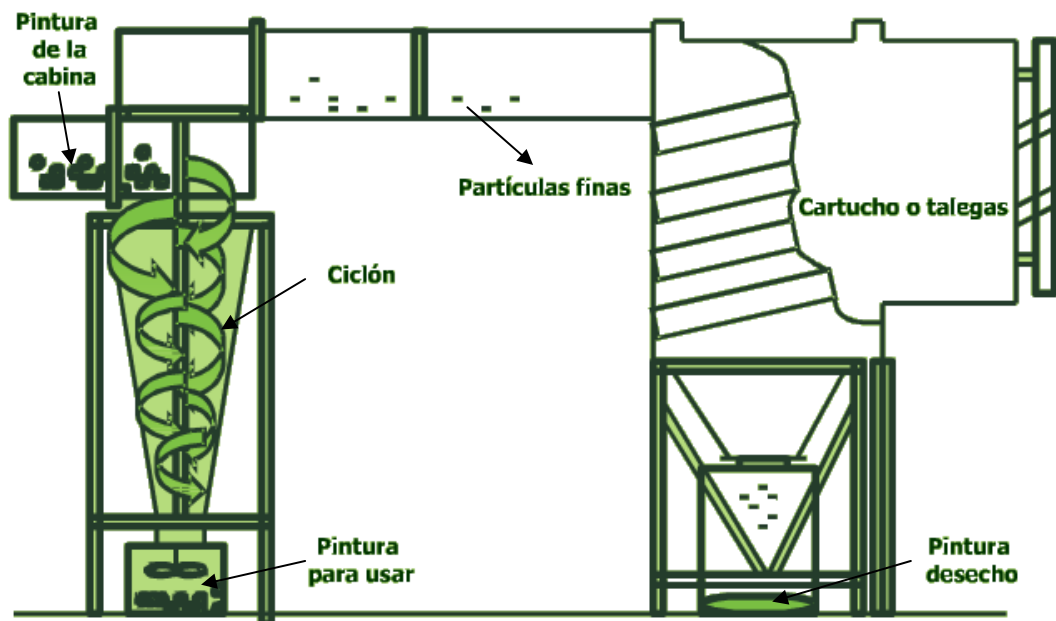
El aire relativamente limpio que entra desde la parte superior del ciclón, es halado hacia un colector de talegas o cartuchos bolsa para una segunda separación. Dependiendo de la pintura y del diseño del ciclón entre, el 3 y el 10% de la pintura es recuperada. El aire limpio desde el colector es soplado de retorno hacia el ambiente pasándolo por un filtro final.

La principal ventaja de este tipo de recuperación, es la facilidad de aplicar un ilimitado número de colores sin la necesidad de equipo

adicional. La utilización general de pintura es menor que los sistemas de cartucho, porque parte de la pintura es separada para ser botada. La separación está relacionada con el tamaño de la partícula en polvo. El movimiento circulatorio dentro del ciclón permite que las partículas muy finas (menores a 22 micras) sean haladas a través del colector y son eliminadas. Una desventaja es que las partículas adheridas por impacto en las uniones de los conductos pueden generar contaminación al cambiar de color.

La utilización promedio de la pintura en polvo en un sistema por ciclón está entre 70 y 90%, comparada con el sistema de módulo de cartucho que pueda llegar a estar entre el 90 y el 97%.

Figura 25. Sistema de recuperación tipo ciclón



Fuente: Manual industrias PINTUCO S.A.

5. SUBSISTEMA DE HORNEADO O CURADO DE LA PINTURA EN POLVO

Teniendo la pieza cubierta en polvo electrostático debemos generar un cambio de temperatura, para que la pintura se cure, este proceso se demora desde 10 minutos a 215°C hasta 25 minutos a 160°C dependiendo del tipo de pintura, material y espesor.

La pintura termoestable comienza a derretirse a una temperatura de 110°C, en este instante el material pulverulento crea una especie de cadenas entre partículas dándole consistencia pastosa. A medida que el material comienza a derretirse, este fluirá y luego reaccionará químicamente para formar un polímero de peso molecular más alto, con una estructura tipo red. Este proceso de entrecruzamiento requiere cierto grado de temperatura por un tiempo determinado para poder llegar a un curado pleno y establecer las propiedades de película para las cuales la pintura fue diseñada. El gas, la electricidad y el vapor, son fluidos energéticos que pueden ser utilizados para generar el calor requerido en los hornos. Cuál utilizar, depende del costo del suministro del combustible, la facilidad de obtenerlo, y el impacto ambiental que éste genere.

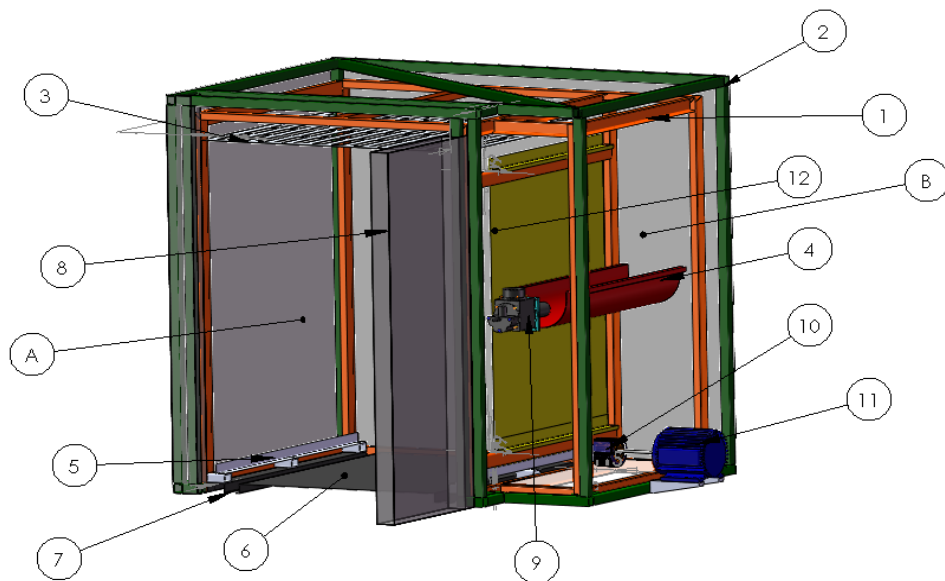
El suministro de energía al producto para ser curado puede realizarse en hornos, que según la forma como se aplica la energía son:

- Hornos de curado por convección.
- Hornos de curado eléctricos
- Hornos de curado infrarrojos.

5.1 HORNOS DE CURADO POR CONVECCIÓN

Un horno de convección utiliza una fuente de calor, comúnmente es un quemador de gas propano ó gas natural, para calentar el interior y un ventilador centrífugo se usa para la recirculación del aire dentro del horno. Las pinturas en polvo requieren diferentes temperaturas de curado, comúnmente en un rango entre 177 ° C a 215° C (350° F a 420° F). La pieza es calentada por el aire dentro del horno. El tiempo que toma llevar el metal hasta la temperatura apropiada, debe ser sumado al tiempo de curado para determinar el ciclo pleno dentro del horno.

Figura 26. Horno de Curado por Convección



A. Cámara de horneado	B. Cámara de combustión
1. Estructura interna 2. Estructura externa 5. Guía estante. 6. Piso horno. 7. Guía ruedas estante. 8. Puerta horno.	3. Rejilla conductora de aire caliente. 4. Difusor. 9. Quemador. 10. Ventilador centrífugo. 11. Motor eléctrico. 12. Lamina divisora de cámaras.

El tiempo de curado por convección, puede estar entre 10 y 30 minutos dependiendo de la masa del sustrato y de los requerimientos de curado de la pintura. El curado por convección es confiable y flexible. El horno puede ser ajustado en un amplio rango de temperaturas y de velocidades de línea. El consumo de energía está relacionado a la carga de piezas dentro del horno, el aislamiento y el volumen de gases que salen por la chimenea. Un horno a gas es muy eficiente y efectivo en costos. Una recomendación de pintuco es que el quemador proporcione 1.000 BTU por pie³ de aire, dentro del horno.

5.1.1 Balance del horno. Es importante un flujo parejo del aire y un balance de temperatura en un horno de convección. Si hay áreas donde la temperatura no es pareja, la pintura no queda uniformemente curada, el color y el brillo varían. Para asegurarse que el horno está calentado de manera pareja, es aconsejable una revisión periódica con un termógrafo ó utilizando varias sondas para leer, tanto la temperatura del aire como de la pieza, desde la parte superior a la inferior del horno se puede determinar si hay algún tipo de problema y donde está localizada la variación de temperatura dentro del horno. También se puede determinar cuánto tiempo toma la pieza en llegar a la temperatura de curado, conociendo el tiempo y temperatura efectiva de curado.

El gas natural es el combustible más utilizado en hornos de pintura por ser fácil de controlar y más barato que otros. La salida del quemador responderá a la carga en el interior del horno, y modulará el volumen de gas quemado, para suministrar la temperatura correcta.

A mayor producción, más gas se quemará. Cuando el horno tiene una carga liviana o está vacío el quemador, modulará a fuego bajo y quedará apagado hasta que la termocupla indique la necesidad de más energía.

El ventilador para la recirculación del aire puede ser de doble entrada (DWDI), siendo el más utilizado. El quemador de gas está montado a un lado de la caja en dirección superior del ventilador. La posición del conducto de descarga y la abertura del aire de retorno, deben estar bien ubicadas para que no produzcan movimiento a las piezas en los soportes. Los hornos de curado bien diseñados deben tener una variación máxima en la temperatura de 15° F (9.4° C).

Figura 27. Hornos de curado por convección



Fuente: <http://www.acatec.net>

5.2 HORNOS DE CURADO POR CONVECCIÓN CONTINUOS

Son utilizados en los procesos continuos, se deben hacer ajustes a los conductos de descarga, para crear una distribución pareja de la energía del horno suministrada por la fuente de calor y la velocidad de la cadena, puede ser ajustada para suministrar el tiempo apropiado de curado dentro del horno.

Figura 28. Hornos de curado por convección continuos



Fuente: <http://www.pyltin.com>

5.3 HORNOS DE CURADO ELÉCTRICOS

Un horno eléctrico, funciona bastante bien y su diseño es muy similar al de gas. Los hornos eléctricos demoran más tiempo para subir a la temperatura requerida y para enfriarse. Son por lo menos 3 veces más costosos de operar que los de gas. El máximo beneficio es que no hay subproductos de combustión generados con la electricidad, además de la posibilidad de mantener una temperatura homogénea en el interior del horno.

5.4 HORNOS DE CURADO INFRARROJOS

La energía infrarroja es una forma de radiación electromagnética, localizada sobre el espectro electromagnético entre la luz visible y las microondas y es medida en micras.

Las tres longitudes de onda del infrarrojo: baja, media y alta, emitirán energía que será absorbida por el recubrimiento orgánico, reflejada desde la superficie, o transmitida adentro del sustrato.

El curado infrarrojo, aplica energía a la superficie de la pieza por la transmisión directa desde un emisor. Esta transferencia directa de energía, crea una reacción inmediata en el polímero y comienza rápidamente el entrecruzamiento. Una vez que la superficie es expuesta al emisor.

Los hornos infrarrojos, pueden curar un recubrimiento mucho más rápido que un horno de convección pero son más sensibles a diferencias en la geometría de las piezas.

Hay ciertas situaciones donde el infrarrojo es el mejor método de curado. Cuando la pieza es muy pesada y con geometrías consistentes los hornos infrarrojos, pueden ser organizados en un patrón para elevar la temperatura de la superficie, mucho más rápido que el horno por convección y curarse en menos tiempo la pintura.

El curado radiante, puede ser eficiente en energía si se diseña apropiadamente, ya que ésta no desperdicia energía para calentar el substrato entero o el aire circundante. Los tiempos de precalentamiento infrarrojo para los hornos de curado de pintura en polvo toman alrededor de 30 a 60 segundos.

6. SUBSISTEMA DE ELEMENTOS PARA EL TRANSPORTE DE LAS PIEZAS

Como se menciona son tres las etapas principales para realizar el proceso de recubrimiento electrostático, pero es necesario transportar las piezas a través de éstas con los siguientes elementos:

- Canastilla para transportar las piezas entre los tanques de limpieza
- Estructura para soportar y trasladar la canastilla
- Gancho para la elevación de la canastilla
- Gancho para colgar las piezas a pintar
- Estante para ubicar y transportar las piezas dentro del horno

6.1 CANASTILLA PARA TRANSPORTAR LAS PIEZAS ENTRE LOS TANQUES DE LIMPIEZA

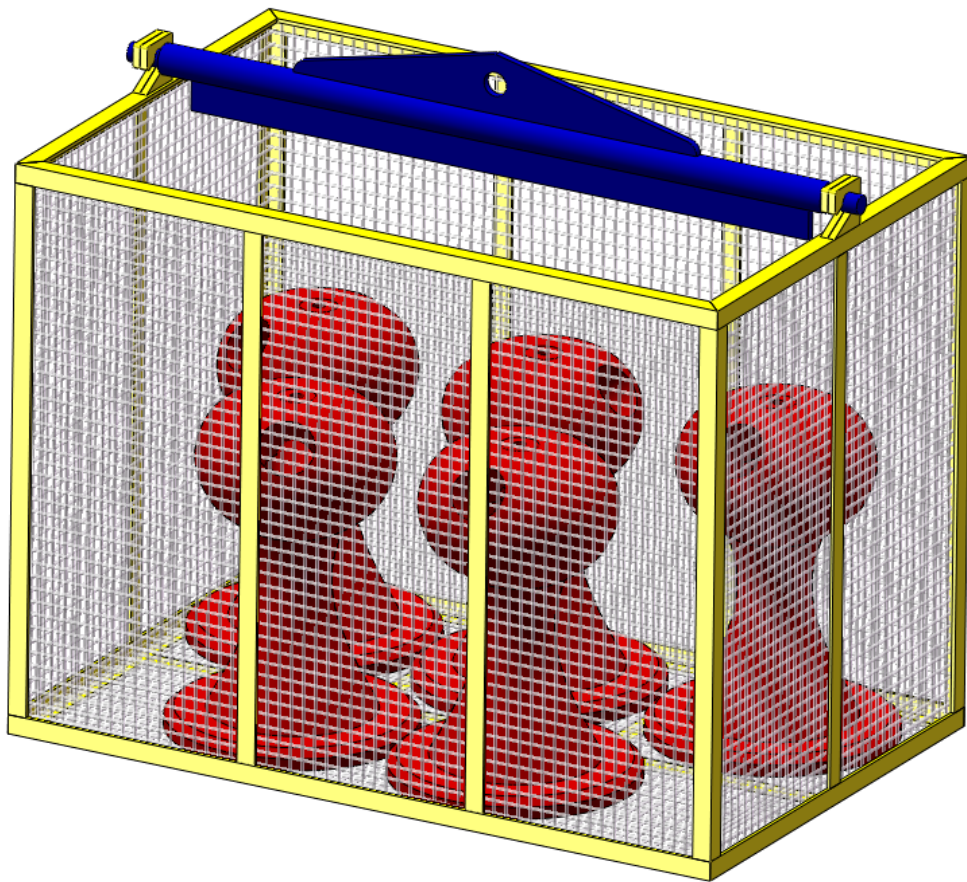
En la limpieza de las piezas se requiere un receptáculo o canastilla buscando la mejor disposición de las piezas para su inmersión en las soluciones químicas.

Siendo indispensable Tener en cuenta:

- La canastilla debe resistir el peso de las piezas a limpiar y ser lo más liviana posible, para su traslación a través de todos los tanques de limpieza.
- Los materiales de la canastilla, deben soportar los ataques de las soluciones químicas de limpieza.
- las superficies planas de las piezas no deben hacer contacto entre ellas, ya que esto causara una limpieza inadecuada.

- Las piezas estarán distribuidas de tal forma que no se generen bolsas de aire.

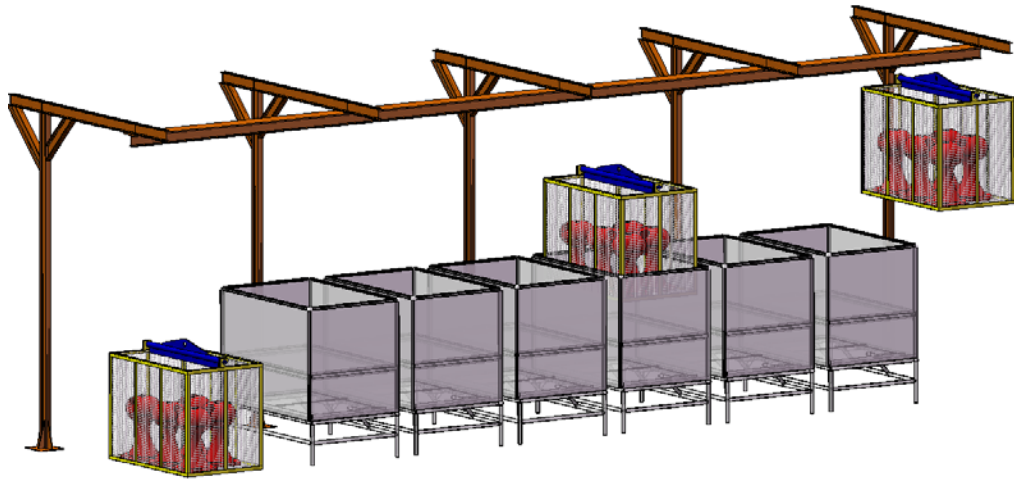
Figura 29. Canastilla para transporte de piezas en la limpieza



6.2 ESTRUCTURA PARA SOPORTAR Y TRASLADAR LA CANASTILLA

Esta estructura es la encargada de resistir el peso de la canastilla y de las piezas a pintar, durante el traslado entre los tanques de limpieza.

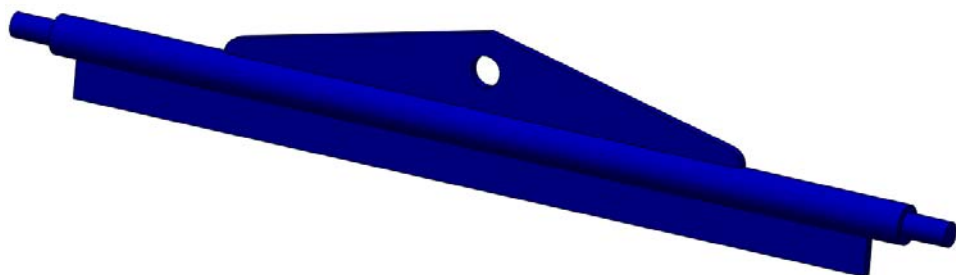
Figura 30. Estructura para soportar y trasladar la canastilla



6.3 GANCHO PARA LA ELEVACIÓN DE LA CANASTILLA

Este gancho desmontable tiene como función resistir el peso de la canastilla y piezas a pintar, durante su elevación y traslación.

Figura 31. Gancho para la elevación de la canastilla



6.4 GANCHO PARA COLGAR LAS PIEZAS A PINTAR

Para recubrir totalmente la pieza con pintura en polvo, es indispensable que el operario la gire y traslade sin tocarla, para lo cual se usan ganchos rotativos con ruedas, además este permite la conexión eléctrica a tierra.

Figura 32. Ganchos rotativos con ruedas

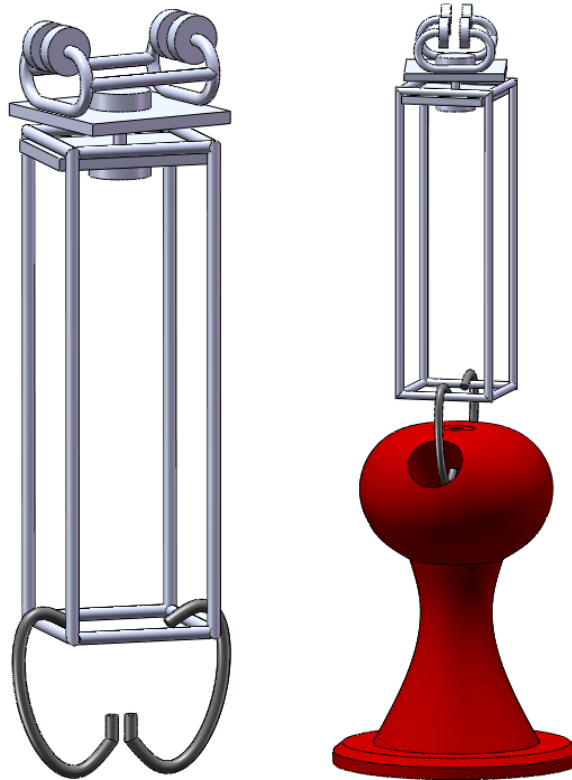
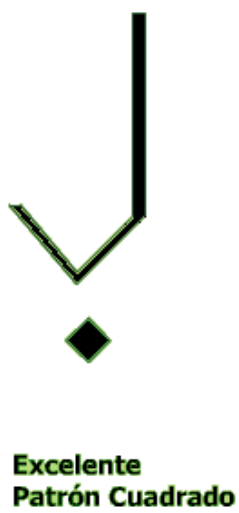


Figura 33. Ganchos o punto de contacto



Fuente: <http://www.ipertec.com.co>

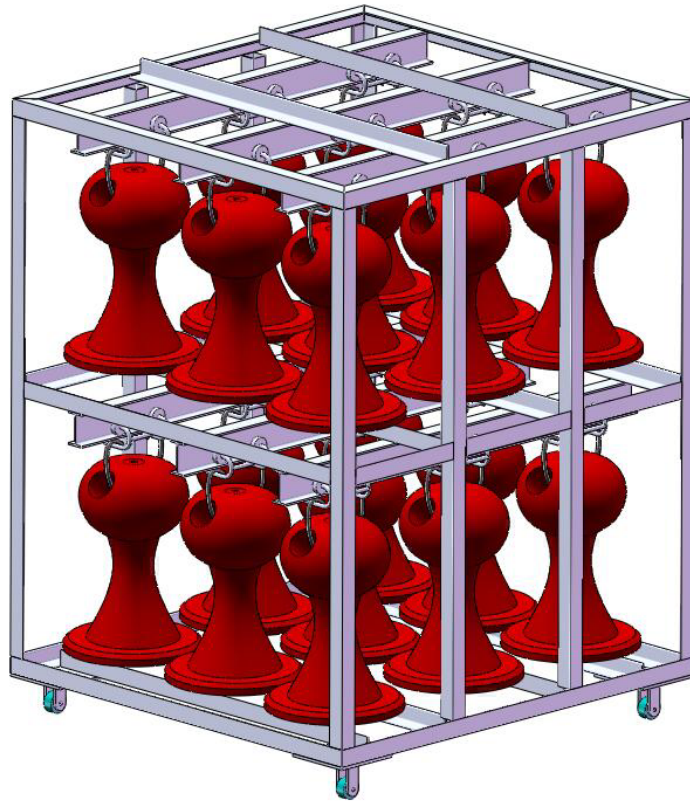
6.5 ESTANTE PARA UBICAR Y TRANSPORTAR LAS PIEZAS DENTRO DEL HORNO

Esta estructura, fabricada en acero estructural debe realizar las siguientes funciones:

- Transportar las piezas desde la cabina de aplicación, hasta el horno, debe ser fácil de manipular.
- Resistir el peso de las piezas y la temperatura de trabajo para el curado de la pintura.
- Permitir la distribución uniforme de los espacios, de tal forma que cada pieza en el interior de éste, reciba el mismo flujo de calor y que el curado se realice al mismo tiempo en todas las piezas.
- La pieza debe ser sostenida de manera rígida para que no se mueva.
- Las piezas deben ser colgadas de manera eficiente con un óptimo aprovechamiento de espacio para la mejor densidad posible

Figura 34. Estantes para transportar las piezas





7. DISEÑO DE LAS PARTES DEL SISTEMA DE PINTURA ELECTROSTÁTICA

Este proyecto analiza el proceso de recubrimiento electroestático para los hidrantes, que son fundiciones en hierro gris.

7.1 HIDRANTE EN FUNDICIÓN DE HIERRO GRIS

Generalmente son ubicados en los andenes de las calles principales de la ciudad, por tanto son accesorios que normalmente están expuestos a la radiación solar, contaminación, orina de los perros, golpes eventuales, agua, etc. Estos hidrantes son el resultado de una labor cuasi artesanal.

Los productos de fundición en el sector Bucaramanga son básicamente el resultado de un proceso de chatarrización y presentan los siguientes pasos:

- Recepción, clasificación y preparación de materias primas
- Elaboración de modelos
- Preparación de arenas y elaboración de moldes (moldeo)
- Fusión en horno
- Colada o vaciado
- Desmolde y acabado de piezas

A parte de esto en algunas empresas las piezas luego del desmolde son sometidas a procesos tales como:

- Mecanizado
- Tratamiento térmico

- Ensamble o soldadura

7.1.1 Recepción, clasificación y preparación de materias primas para la fundición. Utilizando materia prima como varillas sobrantes de construcción, camisas de motores desmantelados, herramienta y maquinaria puesta fuera de servicio, entre otras. Se apilan los materiales de una forma tal, que el peso en chatarra sea el adecuado para una fusión.

Figura 35. Acopio de chatarra



7.1.2 Elaboración de modelos. Tomando como base accesorios ya contruidos o prototipos realizados por diseñadores, se elaboran modelos en madera, icopor, cera, jabón o cerámica, luego se funde un prototipo en aluminio, para finalmente ser mecanizado y así tener un modelo final de la pieza a fabricar.

Figura 36. Almacenamiento de moldes



7.1.3 Preparación de arenas y elaboración de moldes. Las arenas recogidas de procesos anteriores son sometidas a riego artificial, luego se pasa a través de una maquina, la cual hace que la arena adquiera una consistencia adecuada obteniendo la arena de relleno. Cierta cantidad de arena es procesada en un molino de bolas y con esto se obtiene la arena de moldeo, así un operario capacitado realiza el proceso de moldeo alistando de esta forma el numero de cajas necesario o solicitado en cada jornada.

Figura 37. Preparación de arenas para moldeo y moldeo



7.1.4 Fusión en horno. Para la fundición de la chatarra se utiliza un horno cubilote el cual es cargado desde la noche anterior con coque, chatarra, piedra caliza entre otros, en la madrugada se suministra energía por medio de un quemador de acpm, para iniciar la combustión. A medida que la chatarra se va derritiendo y mezclando con los otros productos, el hierro fundido que va saliendo del horno se reemplaza con carga sólida y así hasta terminar la jornada, luego con la ayuda de cucharas se vierte el hierro fundido en unos moldes, estas piezas ya fundidas se dejan por un periodo de tiempo igual a dos (2) días, permitiendo con esto una solidificación completa y natural obteniendo la fundición de hierro deseada.

Figura 38. Horno Cubilote

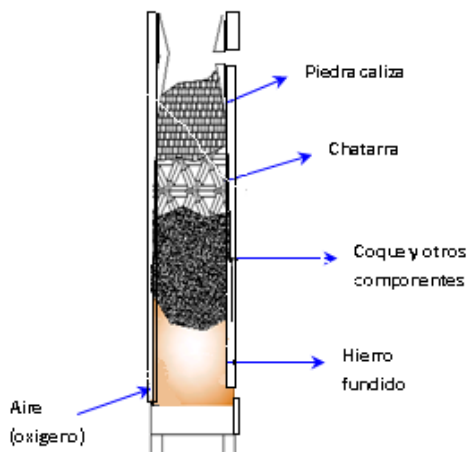


Figura 39. Colado y vaciado de hierro fundido



7.1.5 Desmolde y acabado de piezas. Después de tiempo seguro, se realiza el respectivo proceso de desmolde y se limpian las piezas mediante el uso de herramientas convencionales.

Figura 40. Desmolde de piezas fundidas



7.1.6 Limpieza de accesorios. Con la ayuda de otras herramientas de mano; como pulidoras, taladros limas etc. Se da una limpieza a los accesorios y se almacenan ya sea para su distribución o para ser sometidos a otros procesos.

Figura 41. Limpieza de accesorios



7.1.7 Mecanizado y ensamble. Habiendo sometido las piezas a un proceso de limpieza inicial, las piezas son llevadas a procesos de mecanizado donde se realizan los correspondientes refrentados, pulidos y tolerancias, los cuales buscan entregar un accesorio de alta calidad y en su caso dar la facilidad de ensamble para así entregar un material en bruto.

Figura 42. Mecanizado de piezas



Figura 43. Hidrante en bruto



7.1.8 Parámetros que determinan el acabado de un accesorio. Partiendo de las bondades que presenta la fundición gris como lo son: alta resistencia a la compresión, buena maquinabilidad, resistencias al desgaste por fricción, fatiga térmica; efectiva conductividad térmica y amortiguamiento contra la vibración. Observando el ambiente al que va estar expuesto un hidrante, y tomando en cuenta que estos accesorios serán sometidos a fenómenos físicos, mecánicos y químicos se ve la necesidad de buscar un acabado que

proteja y resista estos fenómenos y que dé al sustrato propiedades específicas como:

- Color uniforme
- Resistencia mecánica
- Resistencia a la corrosión
- Durabilidad del recubrimiento
- Producción en serie

Basado en lo expuesto en los capítulos anteriores, y pensando implementar un sistema de pintura electrostática en una empresa, mejorando notablemente la calidad de los productos, y elevando el volumen de producción. Se presentan los factores que deben ser considerados al diseñar el sistema de pintura electrostática:

- Material de la pieza
- Peso de la pieza
- Tamaño y forma de la pieza
- La variedad de piezas a ser pintadas
- El uso final de la pieza
- El tipo de pintura y la variedad colores
- El espesor de película deseado
- El número de piezas a pintar
- Velocidad de línea
- Capital disponible

Partiendo de estos parámetros se realizó una investigación, un análisis de equipos ya existentes, visitamos algunas empresas en el sector de Bucaramanga, contactamos proveedores. Con esto se concluyó:

El Sistema de Pintura Electrostática en adelante **SPE**. Debe contar con cuatro subsistemas los cuales aseguran un proceso adecuado para cumplir los objetivos planteados en el proyecto.

Para iniciar el proceso de diseño se debe partir de algunos requerimientos y restricciones de cada subsistema.

- Diseño del subsistema de preparación de la superficie de las piezas
- Diseño del subsistema de aplicación de la pintura en polvo
- Diseño del subsistema de horneado o curado de la pintura en polvo
- Diseño del subsistema de transporte

7.2 DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LAS PIEZAS

Todo proceso que exija un determinado grado de calidad conlleva en su momento inicial a realizar una inversión en cuanto a equipo se refiere, esto marcado siempre por la necesidad que se presente en determinada empresa y el deseo de brindar un excelente producto.

Partiendo de la investigación expuesta en capítulos anteriores, el diseño del sistema de limpieza se plantea como un proceso de inmersión, los equipos necesarios en este proceso son:

- Tanques para el proceso de limpieza
- Sistema de agitación de la solución de limpieza
- Base para tanques de limpieza

7.2.1 Diseño y construcción de los tanques para el proceso de limpieza. Partiendo de lo expuesto en capítulos anteriores, para realizar un

correcto proceso de limpieza se diseña un recipiente para lo cual se debe tener en cuenta:

- Volumen de solución a almacenar
- Aprovechamiento del área de laminas para construcción
- Forma de sumergir los hidrantes
- Uso adecuado de espacio interior
- Distribución de área de trabajo.

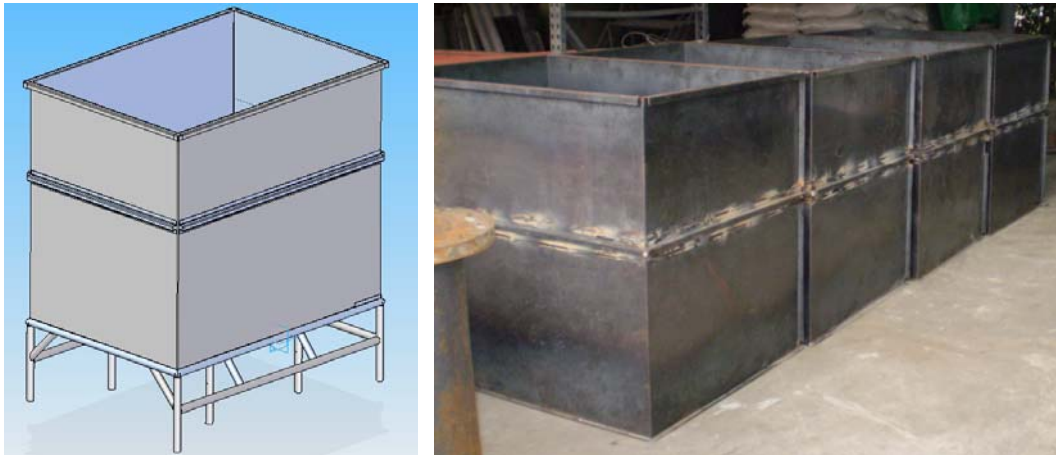
Tomando como fundamento para realizar el diseño la norma ASME para recipientes sujetos a presión, sección VIII división 1 y los parámetros anteriores se tienen:

Tabla 12. Parámetros para construcción de tanques

Parámetro	Und	Cant
Volumen de solución química Para limpieza	m ³	1.5
Laminas para construcción	ft	4X8,5X10
Forma de sumergir los Hidrantes	---	Vertical
Peso de Hidrantes	Kg	60

Las sustancias a utilizar en la limpieza son corrosivas, por economía y construcción, los tanques se fabrican en lamina cold rolled y recubren internamente en fibra de vidrio con tela mak 700, humectada con resina 30805, para almacenar líquidos, terminada con una capa de resina pura pigmentada en color blanco, esto para los tanques que son utilizados para solo almacenamiento de agua, (enjuague), por otro lado en los tanques para desengrase, fosfatizado y sello el fondo debe ser fabricado en lamina de acero inoxidable AISI 316L. Se diseñan tanques rectangulares para mayor aprovechamiento del volumen interno del tanque.

Figura 44. Diseño y aspecto de los tanques rectangulares.



Datos de diseño:

- Capacidad de diseño $1.5m^3 = 396.26gal = 52.97 ft^3$
- Contenido: teniendo en cuenta que los químicos serán disueltos en agua se toma como fluido agua.
- $S = 30000psi$ tomado de Ciencia de los materiales Donald R. Askeland pag.347
- Lado de un tanque de forma cúbica para capacidad de diseño $\sqrt[3]{52.97} = 3.76 ft$

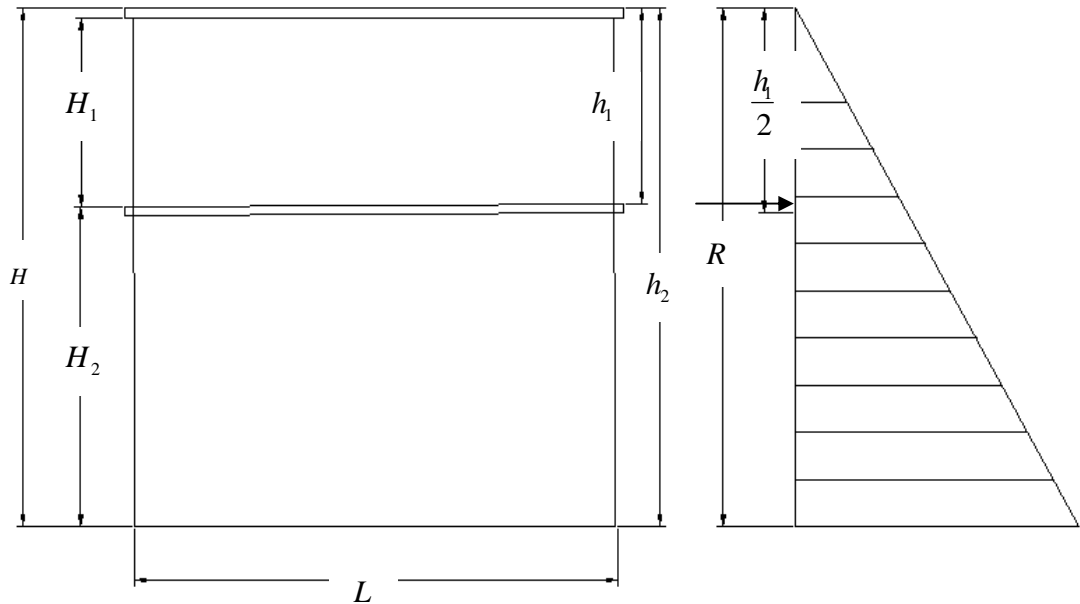
a. Longitud deseable de los lados

Ancho $0.667 \times 3.76 = 2.5 ft = 762mm$

H $= 1.5 \times 3.76 = 5.64 ft = 1719mm$

L $= 3.76 ft = 1146mm$

Figura 45. Esquema de tanque rectangular con un atiesador



Ya que se necesita aprovechar al máximo la lámina, y partiendo de las existencias en proveedores se toma la decisión de utilizar lámina cuatro por ocho pies (4X8) esto dado de la siguiente forma:

$$\text{Ancho} = 98\text{cm} = 3.21\text{ft}$$

$$H = 114\text{cm} = 3.74\text{ft}$$

$$L = 134\text{cm} = 4.39\text{ft}$$

$$H = 1140\text{mm} = 3,74\text{ft} = 44,8\text{in}$$

$$H_1 = 0.60H = 684\text{mm} = 1,34\text{ft} = 16,16\text{in}$$

$$H_2 = 0.40H = 456\text{mm} = 1,49\text{ft} = 17,95\text{in}$$

b Diseño y construcción de los atiesadores: Para una altura 45 pulgadas utilizamos un solo atiesador la separación de los atiesadores la tomamos de la tabla # 8

$$H_1 = 0.60H = 0.60 \times 44.88 = 26.928in = 684mm$$

$$H_2 = 0.40H = 0.40 \times 44.88 = 17.952in = 455.98mm$$

$$h_1 = H_1 = 26.928in = 683.97mm$$

Carga:

$$w = \frac{0.036Gh^2}{2} \text{ lb/pg}$$

$$w = \frac{0.036 \times 1 \times 27^2}{2} \text{ lb/pg} = 13.122 \text{ lb/pg}$$

$$R = 0.7w = 0.7 \times 13.122$$

$$R = 9.1854$$

c. Momento de inercia requerido:

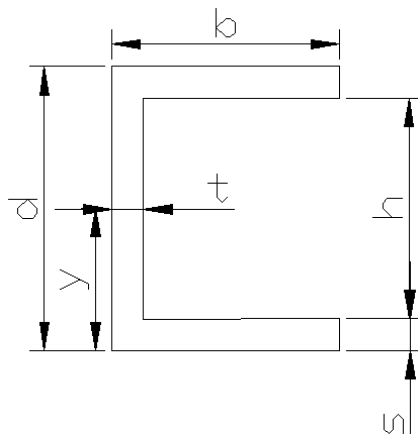
$$I = 1.25R \frac{L^3}{E} \text{ pu l g}^4$$

$$I = 1.25 \times 9.1854 \frac{(52.75)^3}{30000000} \text{ pu l g}^4$$

$$I = 0.0562 \text{ pu l g}^4$$

Para los atiesadores utilizamos un perfil en c o lámina doblada en forma de c para esto estimamos el momento de inercia de este perfil y obtuvimos:

'Figura 46. Esquema perfil en C



$$y = \frac{0.59}{2}$$

$$y = 0.295$$

$$h = 0.4804$$

$$I = \frac{0.59^4 - 0.484^3(0.59 - 0.1096)}{12}$$

$$I = 0.116in^4$$

$$y = d/2$$

$$I = bd^3 - h^3(b-t)/12$$

Con un perfil de 1.5cm nos serviría ya que cumple el momento de inercia requerido, pero para efectos de doblado y pensando en el momento de armar el tanque utilizamos un perfil de d=2.5cm, b=2cm

Figura 47. Aspecto final de la construcción de los atiesadores



d. Espesor de placa requerido:

$$t = 2.45L \sqrt{\alpha_n \frac{p_n}{s}} \text{ pulg}$$

p_n = Presión del líquido

$$p_n = 0.036G \frac{h_{n-1} + h_n}{2}$$

$$p_n = 0.036 \times 1 \frac{26.928}{2}$$

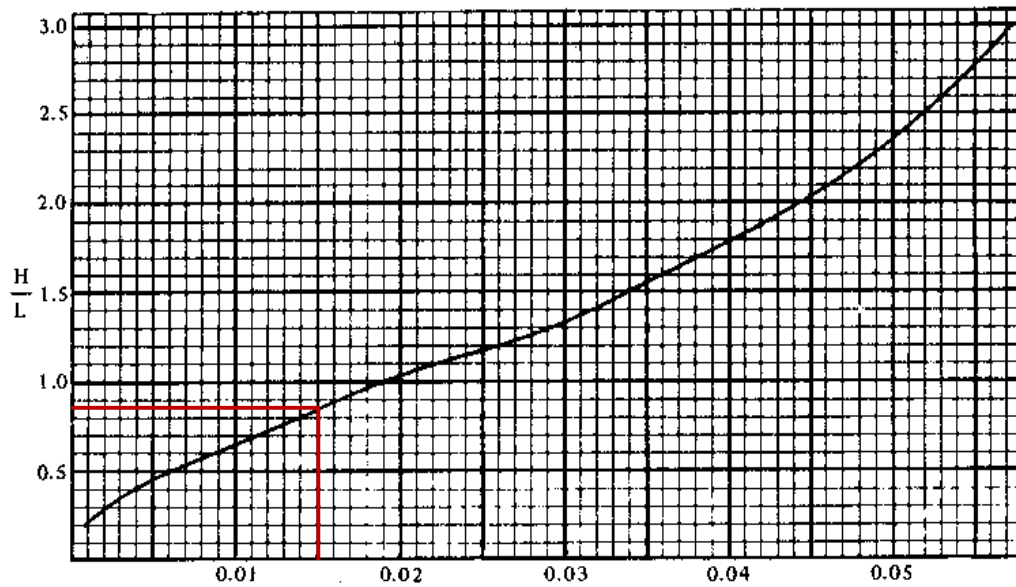
$$p_n = 0.4847$$

$$t = 2.45 \times 52.68 \times \sqrt{0.015 \frac{0.4847}{30000}} \text{ pulg}$$

$$\alpha_n = 0.015 = 15 \times 10^{-3}$$

$$t = 6.354 \times 10^{-2} \text{ in} = 1,61 \text{ mm}$$

Figura 48. Valores de αn en la fórmula para tanques rectangulares



Fuente: Manual de recipientes a presión. Eugene F. Megysey

Luego una lámina de calibre 14 o 12 sería adecuada 0.747in o 0.1026.

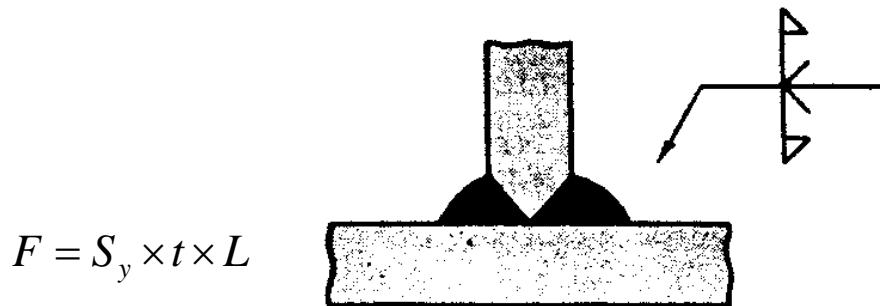
Figura 49. Laminas cold rolled para la construcción de los tanques



d. Diseño del cordón de soldadura: son dos las posibilidades que presentamos para las uniones soldadas en los tanques, la primera, utilizar el procedimiento tig, ya que el material de fabricación de los tanques es lamina delgada.

Otra opción es mediante el procedimiento de electrodo de arco revestido, con un cordón que cumpla con las siguientes características:

Figura 50. Esquema del cordón de soldadura



$$F = S_y \times t \times L$$

Fuente: Dibujo Industrial, tercera edición.

En donde: t es el espesor del cordón y L es la longitud.

Partiendo de una fuerza igual al peso del líquido más el peso del material a tratar tenemos:

$$F = W_{H_2O} + W_{Fe}$$

$$F = \rho_{Fe} \cdot V_{Fe} \cdot g + \rho_{H_2O} \cdot V_{H_2O} \cdot g$$

$$F = \left(7870 \frac{Kg}{m^3} \cdot 7,62 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot 7 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \right) + 1000 \frac{Kg}{m^3} \cdot 1,49 m^3 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 1908 Kg = 18715 N = 1,9 Ton = 4207 Lb$$

$$t = \frac{F}{S_y \times L}$$

$$t = \frac{4207Lb}{73000Lb / Pg^2 \times 52.75} Pg$$

$$t = 1.09 \times 10^{-3} Pg = 2.77 \times 10^{-3} mm$$

En base a este cálculo y partiendo de la recomendación del proveedor, tenemos que el cordón debe tener un espesor como mínimo del grosor de la lámina, utilizando electrodo de arco revestido Clasificación AWS E6013.

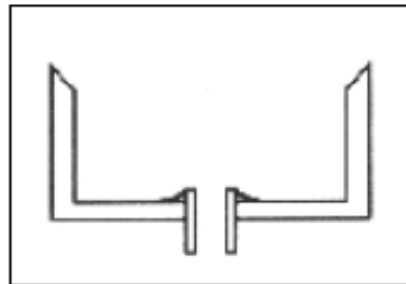
e. Diseño de los drenajes: al hablar de los drenajes se debe tener en cuenta que siempre la finalidad es diseñar para permitir un vaciado completo del tanque. Partiendo de esto evaluamos el volumen de éste, la forma y el lugar donde está ubicado, con esto entramos a analizar los posibles drenajes.

Figura 51. Formas comunes de los drenajes

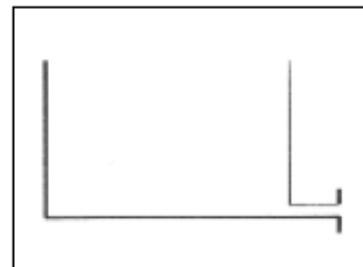
Salida de costado, arriba del fondo- pobre



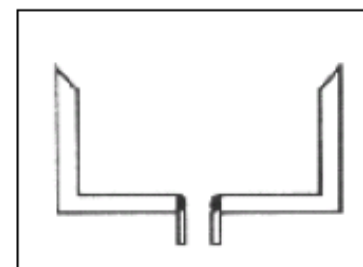
Salida al centro arriba del fondo- pobre



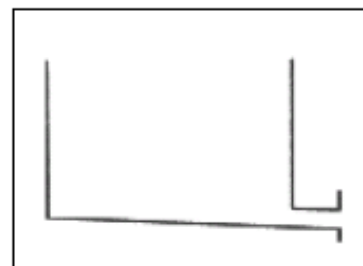
Salida de costado, drenaje-bueno



Salida al centro, deprimida, -bueno



Salida de costado, drenaje, con pendiente- la mejor



El drenaje del tanque debe ser dimensionado para permitir su vaciado total en 30 minutos. Normalmente se recomienda una conexión de 3 pulgadas. Adicional a esto con el fin de evitar derramamiento en los tanques se debe instalar un rebose, este rebose está comprendido por cuatro orificios de una pulgada distribuidos en forma homogénea a una distancia del fondo del tanque de un metro.

Figura 52. Drenaje y aspecto final de los tanques construidos



7.2.2 Diseño del sistema de agitación de la solución de limpieza.

Buscando la forma de hacer más rápido y eficiente, el proceso de limpieza, encontramos que esto se consigue al agitar la sustancia de pretratamiento, existen diferentes métodos para conseguir dicho proceso entre los cuales encontramos; agitadores mecánicos, hidráulicos, y neumáticos, cada uno de estos presenta ventajas y desventajas. Por facilidad de operación, por espacio reducido, por sencillez de montaje, y ya que es necesario un compresor en el sistema total, utilizaremos un agitador neumático, el cual es básicamente un sistema de tubería en PVC, con perforaciones y dispuesta en el fondo del tanque la cual es accionada por el operario cuando así lo requiera, el diámetro de la tubería se especifica en el capítulo 6.4.

7.2.3 Diseño y construcción de la base para los tanques. Esta base se diseño con un *perfil circular de acero estructural marca “Colmena” de tamaño nominal de 1 pulgada, calibre 16* (Espesor: 1.50 mm), con un esfuerzo de fluencia de 3220 Kg/cm², (46.000 PSI) (322 Mpa) cumpliendo con la norma ASTM A 500 grado C y las uniones se hicieron con soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido AWS E6013, de diámetro 3/16 in. Mediante la simulación en el software Ansys, se analizo la base con la carga de los hidrantes, canastilla, tanque y agua cuyo peso total es de 1752 Kg, que se distribuyeron en sus esquinas, cada una de 438 Kg, presentando un factor de seguridad mínimo de 1.56, confirmando que la base no presentará fallas.

Análisis de esfuerzos en la base de los tanques:

Figura 53. Análisis de esfuerzos en la base de los tanques

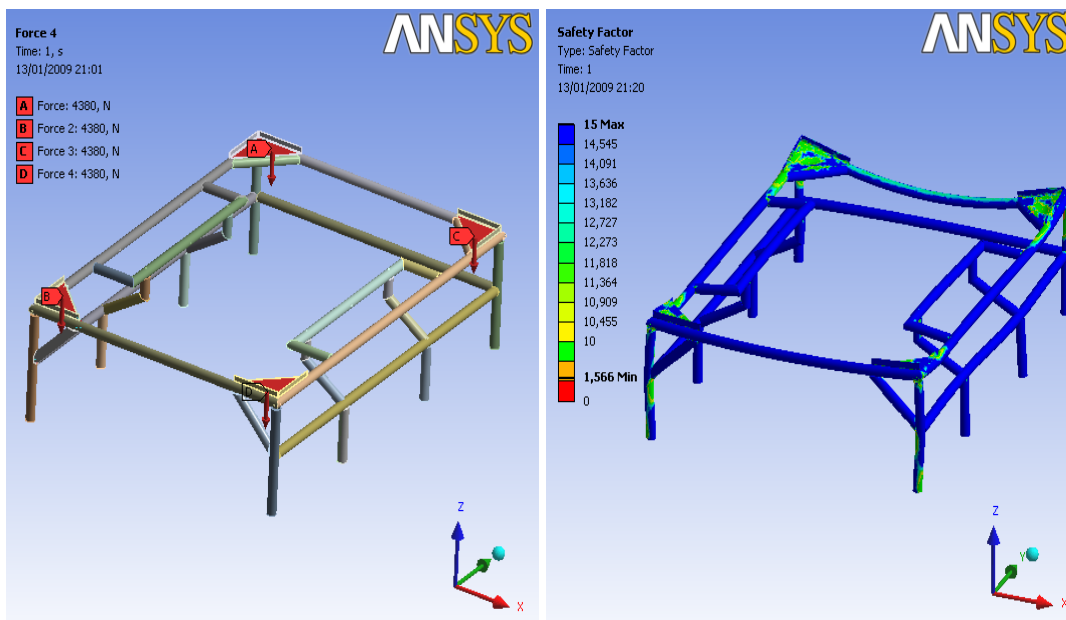


Figura 54. Bases construidas



7.3 DISEÑO DEL SUBSISTEMA PARA LA APLICACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO

Para el diseño del sistema de aplicación de la pintura en polvo, se debe tener en cuenta los parámetros y necesidades de la empresa y del montaje. Las características que deben ser miradas cuidadosamente son:

- Materiales de construcción no corrosivos, fáciles de limpiar, durables.
- Tamaño adecuado para la tarea con flexibilidad para varios productos y futuro crecimiento.
- Utilización del espacio apropiado para lograr cada secuencia del proceso.
- Manejo del aire y control del volumen del aire, dirección y velocidad.
- Accesibilidad de mantenimiento, a todos los puntos que necesitan regular cuidado.
- Requerimientos de cambios de colores

- Utilización de la pintura
- Costo del equipo
- Costos de operación

Teniendo en cuenta lo anterior, la forma apropiada para pintar los hidrantes estará dada así:

- Cabina para aplicación manual
- Pintado por equipo electrostático
- Recuperación de la pintura en polvo por filtros tipo cartucho

7.3.1 Diseño de la cabina para aplicación manual. La función principal de una cabina para la aplicación manual de la pintura en polvo, es evitar que el polvo se desperdicie saliéndose de ésta. Teniendo como base la investigación realizada y conociendo las características del hidrante a recubrir, se debe suplir las siguientes necesidades:

Figura 55. Factores para el diseño de la cabina

NECESIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
Altura del hidrante a pintar	0,60	MI
Diámetro hidrante a pintar	0,40	MI
Peso hidrante a pintar	60	Kg
Forma de pintado	Manual	-
Altura del operario	1,70	MI
Peso del operario	80	Kg
Color a utilizar	rojo	-

Figura 56. Hidrante en bruto y pintado

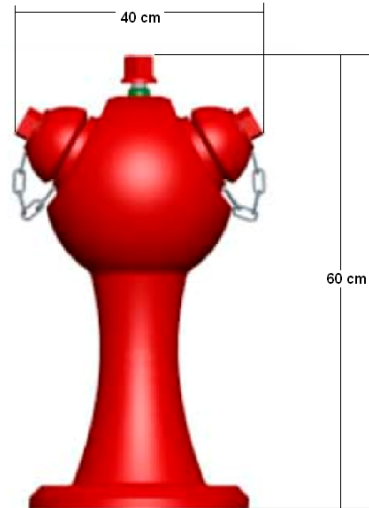
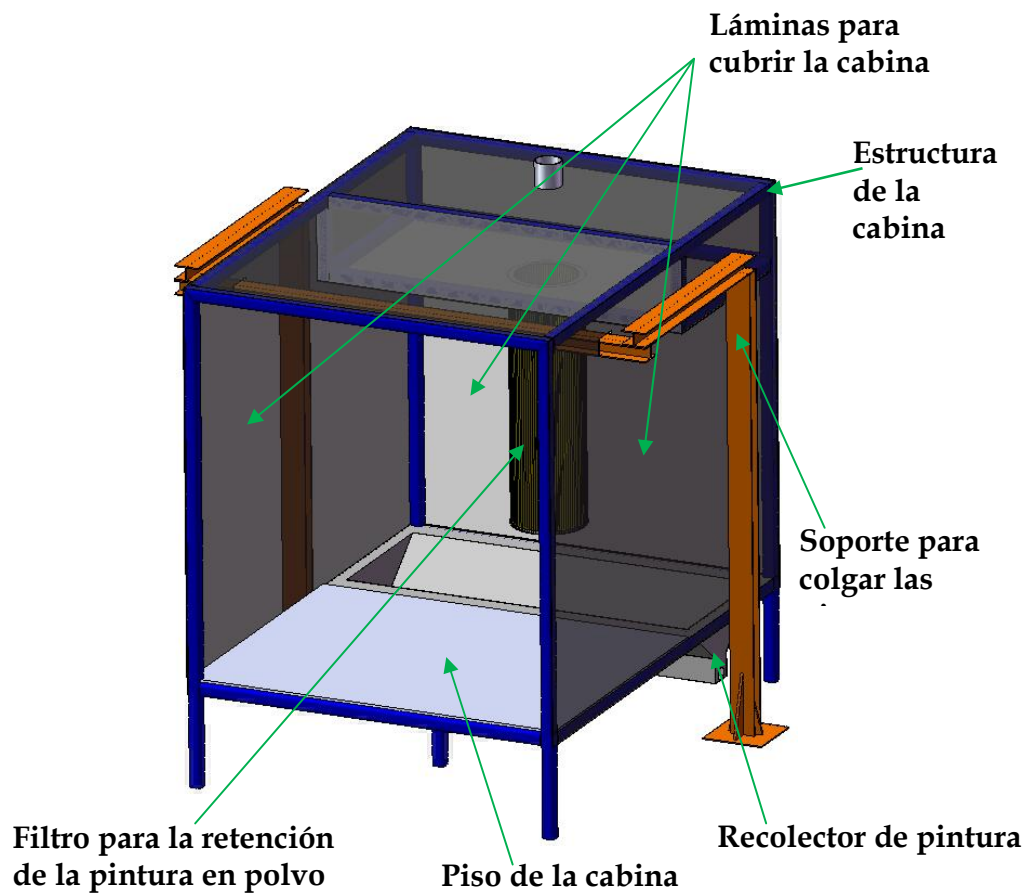


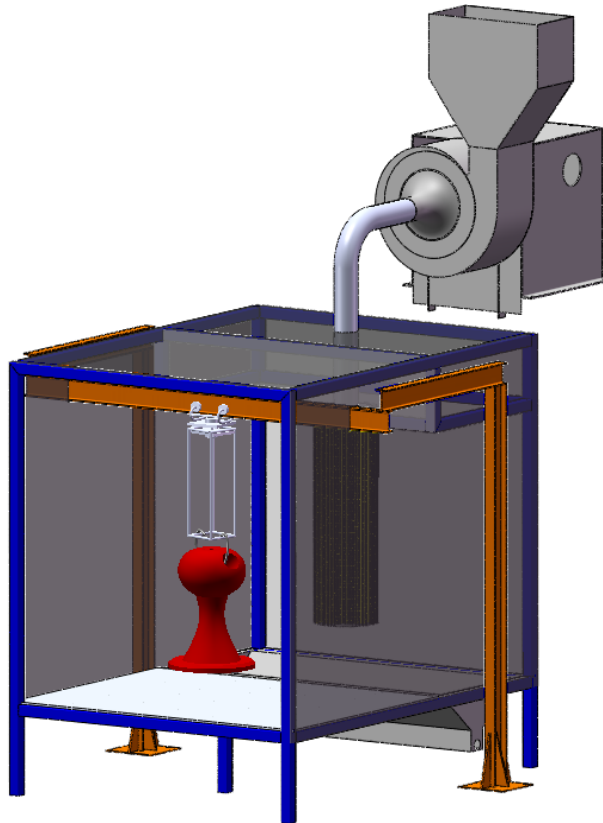
Figura 57. Aspecto final del diseño de la cabina



Las partes de la cabina son:

- Estructura de la cabina
- Láminas para cubrir la cabina
- Recolector de pintura
- Piso de la cabina
- Soporte para colgar las piezas
- Filtro para la recuperación de la pintura en polvo

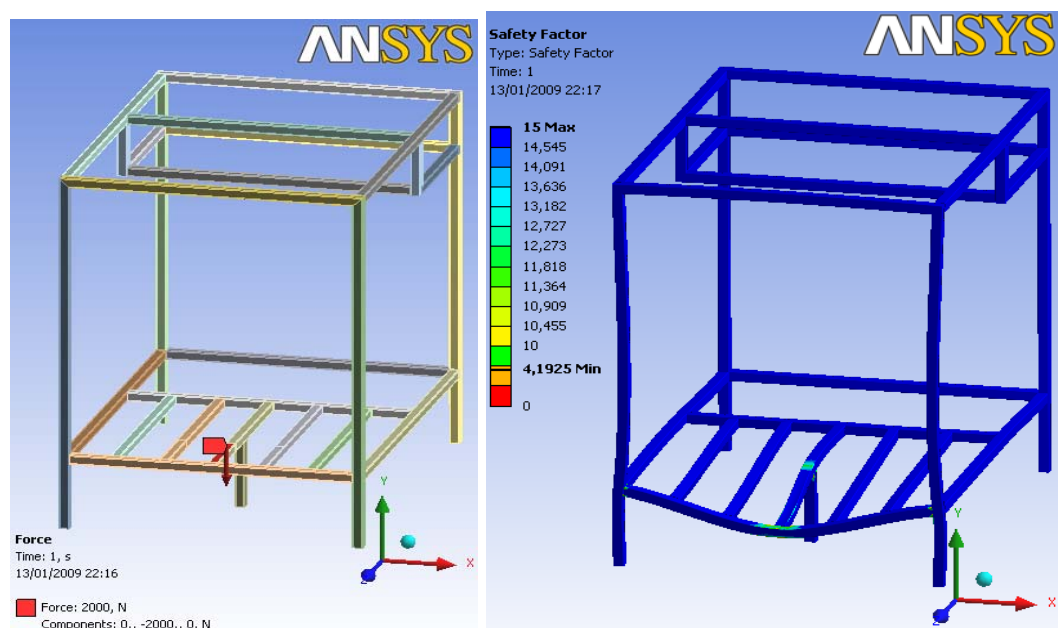
Figura 58. Sistema de aplicación con hidrante pintado



7.3.2 Estructura de la cabina. Diseñado en un *perfil cuadrado de acero estructural marca “Colmena” de tamaño nominal 2x2 pulgadas, calibre 16* (Espesor: 1.50 mm), con un esfuerzo de fluencia de 3241 Kg/cm², (42000 PSI) (322 Mpa), cumpliendo con la norma ASTM A 500 grado C. La

estructura fue analizada en el software Ansys, con los pesos del hidrante y del operario, cuyo peso total es de 140 Kg, pero como es una carga dinámica se asumen 200 kg, ubicados en el elemento más crítico, que es donde inicialmente el operario coloca el hidrante, y luego se ubica, para colgarlo. Presentando un factor de seguridad mínimo de 4.19, confirmando que la estructura de la cabina no presentará fallas.

Figura 59. Análisis de esfuerzos en estructura de la cabina



7.3.3 Láminas para cubrir la cabina. Para este diseño se necesitan laminas livianas, resistentes a la corrosión, y fáciles de limpiar, por esto se **escogen láminas de acero galvanizada calibre 22 (Espesor: 0.75 mm), marca “ACESCO”**, ya que es un producto que combina las características de resistencia mecánica del acero y la resistencia a la corrosión generada por el zinc. Unidas a la estructura con tornillo.

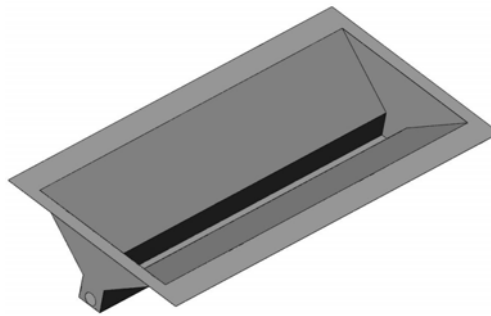
Figura 60. Laminas de acero galvanizadas



Fuente: <http://distrigalltda.com/>

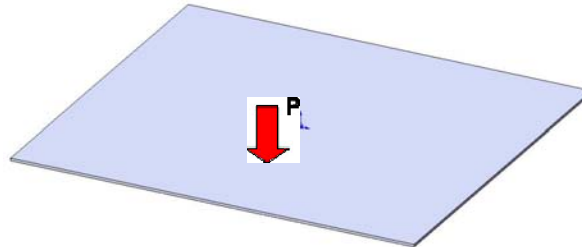
7.3.4 Recolector de pintura. La finalidad de este recolector o tolva, es el de recoger la pintura en polvo que cae del filtro de cartucho, para transferirla de regreso hacia el equipo de pintura. Por este motivo no tendrá carga. También se diseño con ***lámina de acero galvanizada calibre 22 (Espesor: 0.75 mm.)***.

Figura 61. Tolva o recolector de pintura en polvo



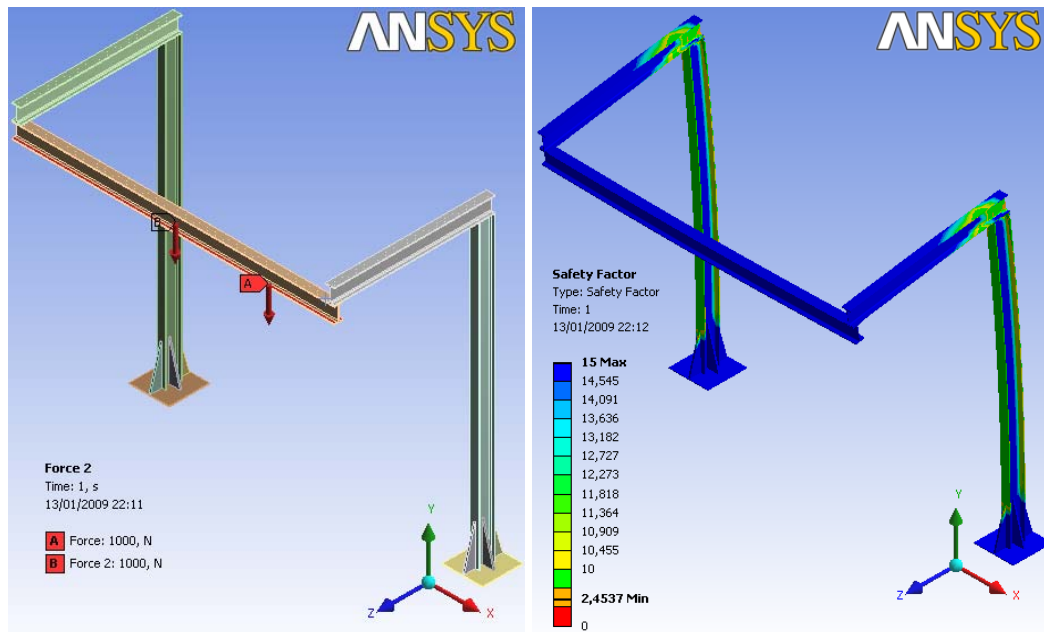
7.3.5 Piso de la cabina. Éste elemento soportara el peso del hidrante, más el peso del operario. Para efectos de diseño la carga se tomará de 200 Kg, ubicada en el centro de éste. Se escoge una lámina laminada en frio, calibre 12 (Espesor: 2.3 mm). Para resistir los impactos.

Figura 62. Lámina CR calibre 12, para el piso de la cabina



7.3.6 Soporte para colgar los hidrantes. Este soporte que no está unido con la cabina es el encargado de sostener el peso del hidrante (60 kg), durante su pintado. Para efectos de diseño se considera una carga de 200 kg, porque el hidrante es levantado y sostenido de las aletas del perfil. Se selecciona un PERFIL EUROPEO TIPO IPE 100, que comercialmente es el más pequeño, económico y fácil de conseguir. Y que a una distancia entre apoyos de 2 metros resiste una carga de 1800 kg, ubicada en el extremo de éste.

Figura 63. Análisis de esfuerzos del soporte de los hidrantes



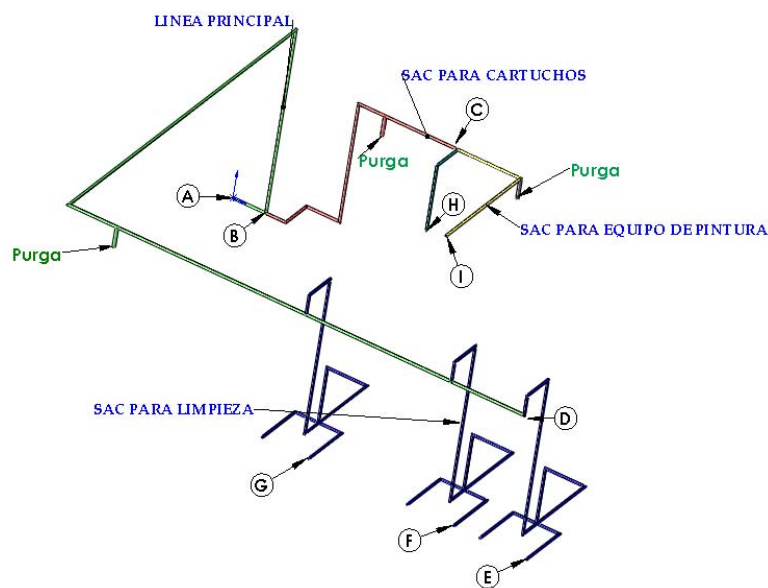
7.4 DISEÑO DE LA TUBERÍA PARA DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

A continuación se analiza una instalación de aire comprimido para el sistema de aplicación de pintura electrostática industrial y el acondicionamiento de superficies, detallando sus elementos básicos y dimensionándolos en función de los consumos y características requeridas.

7.4.1 Dimensionamiento del sistema de aire comprimido para el sistema de pintura electrostática. (SAC-SPE). El diseño de la instalación de aire comprimido sigue una serie de pasos secuenciales básicos. El cual se describe a continuación:

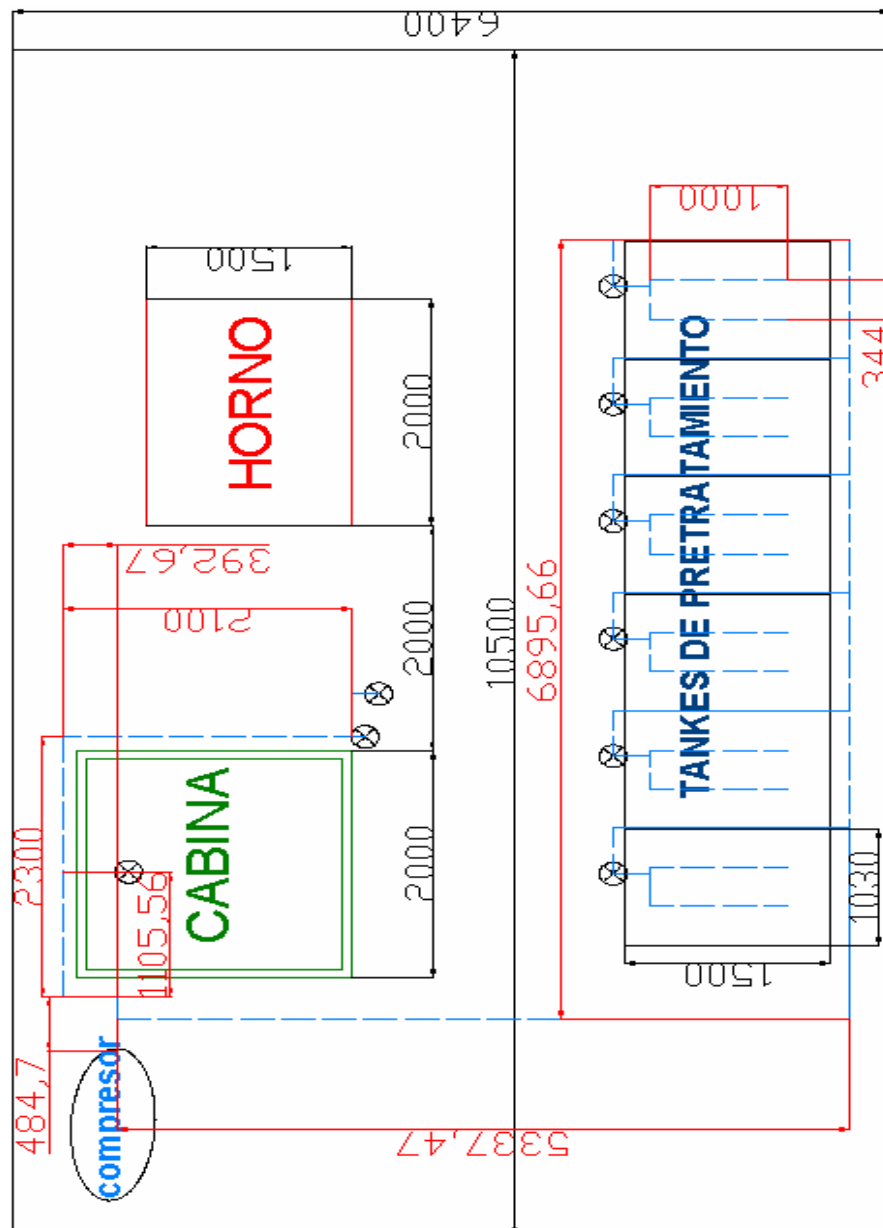
- Identificación de los procesos
- Determinación del consumo de aire en cada uno de los elementos
- Calculo del diámetro de las tuberías

Figura 64. Isométrico del SAC SPE



7.4.2 Identificación de los procesos. Lo primero es realizar una distribución de planta de los puntos de consumo de aire comprimido, para con esto determinar la longitud aproximada de la tubería a instalar y el número total de accesorios.

Figura 65. Distribución de Planta SAC SPE



7.4.3 Determinación del consumo de aire en cada uno de esos elementos. Como puede apreciarse en la figura ## el sistema de aire comprimido para el sistema pintura electrostática en adelante SAC-SPE, debe alimentar:

- Tanques para limpieza de piezas
- Sistema de recuperación de pintura en polvo.
- Equipo de pintura y Pistola o soplete para limpieza

Consumo de tanques de limpieza. En este sitio de trabajo utilizamos el aire comprimido para generar turbulencia en la solución de limpieza que se encuentra dentro de cada tanque, buscando realizar de una forma más eficiente y eficaz el proceso de limpieza, por tal motivo el aire deberá vencer la columna de liquido presente en cada tanque, de tal forma que:

$$P = H_{H_2O} \cdot \rho \cdot g + P_{atm}$$

$$P = 1m \cdot 1,003 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} + 101352,93$$

$$P = 9,84 \frac{N}{m^2} + 101352,93$$

$$P = 9,84 + 101352,93 = 101362,77 = 1,01bar$$

Tenemos seis tanques de los cuales tres son de enjuague y 3 son para reacciones químicas, en cada tanque de enjuague se someterá el fluido a una corriente de aire mayor a 9,84 Pa (0,00143 psi). la longitud de la tubería tramo **DE, DF, DG**, está dada así: de 8,4 m 9 codos, 1Ts un regulador de presión y dos llaves de bola, asumimos un consumo de una pistola de inyección igual a 8 lt/s.

Consumo del sistema de recuperación de pintura en polvo. La unidad de filtros recuperadores de polvo (cartucho), está sometida a una serie de pulsos intermitentes con el fin de que el filtro libere partículas pulverulentas y las deje caer en el piso de la cabina de pintura este pulso está controlado por una válvula solenoide la cual da paso de fluido dependiendo de la señal que

genera un temporizador el cual ha sido previamente programado. Este pulso de aire no es superior a 50 PSI. y para su consumo se asume el consumo de una pistola general que es igual a 8 lt/s, esta dado por el tramo CH, con una longitud de 1,5 metros, una T y 2 codos.

Consumo del equipo de pintura y pistola de limpieza. Los sistemas de aplicación en polvo incluyen un juego de parámetros electrostáticos con los cuales se regula el flujo de polvo y voltaje a la salida de la pistola. La máxima caída de presión necesaria es 100 PSI, el caudal máximo es 3,5 cfm, estos parámetros son sugeridos por nordson e industrias pintuco, la longitud esta dada por el tramo CI 2,75 metros con un codo y una T.

Para una correcta limpieza y en caso de que se presenten impurezas en el sustrato, antes de recubrir las piezas con polvo electroestático es normal soplar las piezas, esto se realiza utilizando una pistola de limpieza la cual vota aire sobre la pieza y retira las partículas de agua o impurezas que la pieza aun posea, este proceso se realiza a una presión y caudal igual al del equipo de pintura, por tanto el punto de consumo se realiza haciendo una derivación de la línea de pintura.

Flujo total en la Tubería principal. La tubería está dada por el tramo **AD** el cual tiene una longitud de 15,7 metros con tres codos una llave de bola y una unidad de mantenimiento, el flujo es la suma de los consumos del SAC de recuperación, de aplicación de pintura y de tanques de limpieza:

$$Q_N = Q_{pintura} + Q_{lim\ pieza} + Q_{cartucho} = (2 \times 0,085) + (3 \times 0,48) + 0,48 = 2,09 \frac{m^3}{min}$$

Este consumo debe ser corregido por posibles ampliaciones, y posibles fugas.

A_r= Reserva para posibles ampliaciones posteriores

Fu= Consideración de posibles Fugas.

$$Q_T = \left[Q_N + \left(Q_N \times \frac{A_r}{100} \right) + \left(Q_N \times \frac{A_r}{100} \times \frac{Fu}{100} \right) \right] \times 2$$

$$Q_T = \left[2,09 + \left(2,09 \times \frac{25}{100} \right) + \left(2,09 \times \frac{25}{100} \times \frac{15}{100} \right) \right] \times 2 = 2,69 \text{ m}^3/\text{min}$$

Línea secundaria. Esta tubería se encarga de transportar el aire comprimido hasta las tuberías del sistema de limpieza, está dada por el tramo **BC** con una longitud de 4,6 metros, tres codos, tres Ts y un consumo igual a la suma del consumo de las tres tuberías de limpieza:

$$Q_{\text{línea_secundaria}} = 3 \times 0,48 = 1,44 \text{ m}^3/\text{min}$$

Tabla 13. Consumos de Aire Comprimido

Unidad consumidora	Consumo de aire en l/s	Unidad consumidora	Consumo de aire en l/s
Taladradora 0,75 Kw	13	Motor neumático 1,4 kW	36
Taladradora 1,0 Kw	18	Motor neumático 2,4 kW	60
Taladradora 1,5 Kw	27	Motor neumático 3,5 kW	84
Taladradora 2,0 Kw	35	Pistola (general)	8
Lijadora 0,75 Kw	17	Maquinas elevadoras <500 kg	33
Lijadora 1,0 Kw	22	Martillo cincelador	8
Lijadora 1,5 Kw	28	Cilindro de avance	16
Destornillador neum. 0,3 Kw	5	Destornillador percusor	15 a 30
Sierra circular para materiales blandos	22	Pistola de inyección	10
		Pistola de inyección	16

Fuente: Festo

Tabla 14. Resumen características de la tubería para SAC SPE

Tramo	L (m)	Accesorios		Q (m ³ /min)	P.(bar)	ΔP(Pa)
		Codo	T			
AD	15,7	3	1	2,09	7,58	0,76
BC	4,6	1	1	1,44	7,58	0,76
DE=DF=DG	8,4	9	1	0,48	1,01	0,10
CI	2,75	2	1	0,078	6,89	0,69
CH	1,5	1	1	0,48	3,45	0,34

Calculo del diámetro de las tuberías. Para determinar el diámetro de las tuberías se deben seguir los siguientes pasos:

- Determinar diámetro nominal
- Hallar longitudes equivalentes
- Determinar diámetro real
- Determinar perdidas.

a. Determinación del diámetro nominal: teniendo en cuenta las características enumeradas y aplicando la siguiente ecuación se calcula el diámetro nominal de los diferentes tramos de tubería:

$$d = \sqrt[5]{1,6 \times 10^3 \cdot Q^{1,85} \cdot \frac{L}{\Delta P \cdot P}}$$

L: longitud (m)

Δp: pérdida de presión en pascales (no debe ser superior a 0,1 bar)

P: Presión de funcionamiento en Pa

Q: Caudal en m³/s



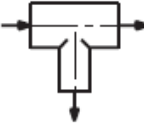
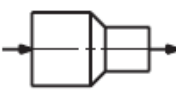
d: diámetro interior del tubo en metros

Tabla 15. Diámetros nominales de tuberías SAC SPE

Tramo	L (m)	Accesorios		Q (m ³ /min)	P.(bar)	ΔP(bar)	d(m) X10 ⁻²
		Codo	T				
AD	15,7	3	3	2,09	7,58	0,10	2,16
BC	4,6	1	1	1,44	7,58	0,10	1,58
DE=DF=DG	8,4	9	1	0,48	1,01	0,10	1,77
CI	2,75	2	1	0,48	6,89	0,10	4,93X10 ⁻¹
CH	1,5	1	1	0,085	3,45	0,10	9,83X10 ⁻¹

b. Determinación de longitudes equivalentes: Tomando como referencia el libro de Danilo Ampudia y sabiendo el diámetro nominal de cada tramo de tubería se calculan las longitudes equivalentes en cada tramo.

Figura 66. Longitudes equivalentes para diferentes accesorios

Denominación	Accesorio	Longitudes equivalentes en metros									
		Diámetro interior d del tubo en milímetros									
		9	12	14	18	23	40	50	80	100	
Válvula esférica		0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	1,0	1,3	
Codo		0,6	0,7	1,0	1,3	1,5	2,5	3,5	4,5	6,5	
Pieza en T		0,7	0,85	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	7,0	10	
Reductor de 2d a d		0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,9	1,0	2,0	2,5	

Fuente: Danilo Ampudia Echeverry

Tabla 16. Longitudes equivalentes para tramo AD con diámetro nominal 26 mm

Accesorio	Cant	Leq (m)	Leq total(m)
Codo	3	2,5	7,5
T	3	3	9
Llave de corte	2	0,5	1
Total	17,5		

Tabla 17. Longitudes equivalentes para tramo BC con diámetro nominal 16 mm

Accesorio	Cant	Leq (m)	Leq total(m)
Codo	4	1,3	5,2
T	2	1,5	3
Llave de corte	1	0,3	0,3
Total	8,5		

Tabla 18. Longitudes equivalentes para tramo DE-DF-DG con diámetro nominal 26 mm

Accesorio	Cant	Leq (m)	Leq total(m)
Codo	7	1,3	9,1
T	1	1,5	1,5
Llave de corte	2	0,3	0,6
Total	11,2		

Tabla 19. Longitudes equivalentes para tramo CI con diámetro nominal 9 mm

Accesorio	Cant	Leq (m)	Leq total (m)
Codo	1	0,6	0,6
T	2	0,7	1,4
Llave de corte	2	0,2	0,4
Total	2,4		

Tabla 20. Longitudes equivalentes para tramo CH con diámetro nominal 9 mm

Accesorio	Cant	Leq (m)	Leq total (m)
Codo	1	0,6	0,6
T	1	0,7	1,4
Llave de corte	-	-	-
Total	2		

c. **Determinación del diámetro real:** teniendo en cuenta las longitudes equivalentes se recalcula el valor del diámetro de cada tramo de tubería:

$$d = \sqrt[5]{1,6 \times 10^3 \cdot Q^{1,85} \cdot \frac{L}{\Delta P \cdot P}}$$

Tabla 21. Resumen de longitudes reales

Tramo	Lreal (m)			Q (m ³ /min)	P.(bar)	d(m) X10 ⁻²
		Ln	Leq			
AD	33,2	15,7	17,5	2,09	7,58	2,69
BC	13,1	4,6	8,5	1,44	7,58	1,95
DE=DF=DG	19,6	8,4	11,2	0,48	1,01	2,1
CI	5,15	2,75	2,4	0,48	6,89	1,09
CH	3,5	1,5	2	0,085	3,45	6,13X10 ⁻¹

d. **Determinación de las pérdidas en cada tramo:** por último se normalizan los diámetros de los diferentes tramos de tubería y se calculan las pérdidas en los tramos de tubería:

$$\Delta P = 1,6 \times 10^3 \cdot Q^{1,85} \cdot \frac{L}{d^5 \cdot P}$$

L: longitud (m)

Δp: pérdidas en pascales

P: Presión de funcionamiento en Pa

Q: Caudal en m³/s

d: diámetro interior del tubo en metros

Tabla 22. Diámetros estándares para tubería de SAC SPE

Tramo	Diámetro(in)	ΔP (bar)
AD	1 ¼	0,044bar
BC	1	0,026
DE=DF=DG	1	0,039
CI	½	0,048
CH	½	0,0026

Con un consumo total en el sistema de aire comprimido de 2,09 m³/min y una presión de 110 psi

7.5 DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE HORNEADO O CURADO DE LA PINTURA EN POLVO

El tercer subsistema consta de un horno y para su diseño se tuvo en cuenta las siguientes necesidades:

Tabla 23. Requerimientos para el diseño del horno

Requerimiento	Cantidad	Unidades
Volumen útil	4,5	M3
Ancho útil (w)	1,5	MI
Altura útil (H)	2,0	MI
Profundidad útil (L)	1,5	MI
Temperatura máxima	225	°C
Tiempo de calentamiento	0,5	Hr

Figura 67. Horno para curado del hidrante



Tabla 24. Tipos de hornos y propiedades

Tipo de horno y propiedades	eléctrico	Gas natural	Gas propano	infrarrojo
Consumo energético	E	R	R	E
Distribución de temperatura homogéneo	B	R	R	B
Impacto ambiental	P	P	E	R
Costo inicial	R	R	R	E
Abastecimiento de combustible	B	B	B	R
Facilidad de construcción	B	R	R	P
Mantenimiento	R	B	B	E

R: Regular

E: Elevado

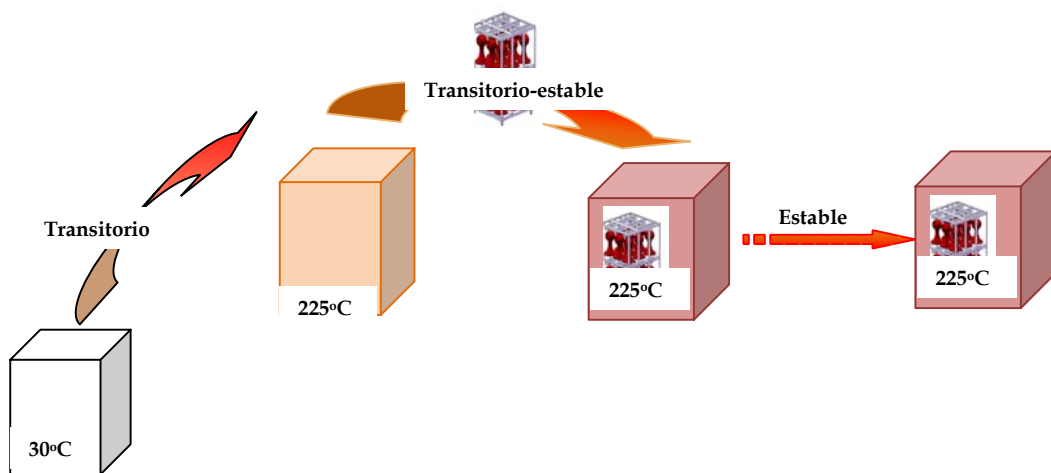
B: Bueno

P: Poco

Para dar solución a esto y teniendo en cuenta lo expuesto en capítulos anteriores y analizando la tabla 24 optamos por el diseño de un horno a gas natural.

7.5.1 Etapas de Calentamiento Para Horneado del producto. Habiendo definido la naturaleza del horno pasamos a mostrar los factores que afectan el diseño del horno para definir las cargas y con esto definir la potencia requerida en el quemador. Para realizar el horneado de las piezas, en el horno se debe generar una serie de cambios y fenómenos térmicos los cuales se analizan en tres etapas:

Tabla 25. Etapas de calentamiento para horneado del producto

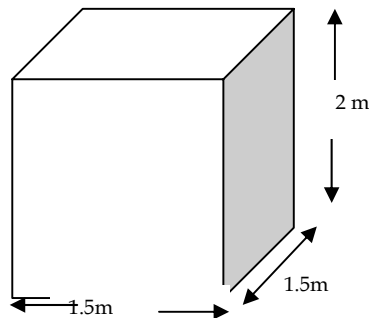


- Etapa de precalentamiento
- Etapa de calentamiento de productos
- Etapa de curado del producto

Etapa de precalentamiento. Lo primero que se debe hacer, es elevar el interior del horno hasta una temperatura de 225 C para esto se tiene en cuenta los siguientes factores:

- Volumen aire interno
- Laminas
- Perdidas por paredes y Gases calientes

a. Energía necesaria para calentar el volumen de aire interno



$$V = 4,5 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen de aire interno}$$

$$Q = m C_p \Delta T$$

$$m_{\text{aire}} = \rho_{\text{aire}} \cdot V_{\text{aire}} = 1,614 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,5 \text{ m}^3 = 5,22 \text{ Kg}$$

$$Q_{\text{aire}} = m_{\text{aire}} C_p \Delta T = 5,22 \text{ Kg} \cdot 1,021 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot (498,15 - 300,15) \text{ K}$$

$$Q_{\text{aire}} = 1055,26 \text{ Kj} = 1000,19 \text{ Btu}$$

b. Energía necesaria para calentamiento de láminas: Analizamos la cantidad de energía que debemos suministrar para aumentar la temperatura de las láminas internas del horno partiendo de que usaremos lamina galvanizada calibre 14 la cual tiene un espesor de 0,0785 pulgadas y tiene un peso de 3,28 lb/pul²

$$Q_{\text{lam}} = m_{\text{lam}} C_p \Delta T$$

El área total de las láminas laterales es:

$$A_1 = L \times H = 4,92 \text{ ft} \times 6,56 \text{ ft} = 32,27 \text{ ft}^2$$

$$A_2 = L \times L = 4,92 \text{ ft} \times 4,92 \text{ ft} = 24,21 \text{ ft}^2$$

$$A_T = 4A_1 \times A_2 = 4 \times 32,27 + 24,21 = 153,29 \text{ ft}^2$$

$$W = 153,29 \text{ ft}^2 \times 3,28 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} = 502,79 \text{ lb} = 2236,52 \text{ N}$$

$$m = \frac{W}{g} = \frac{2236,52 \text{ N}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 227,98 \text{ Kg} = 228 \text{ Kg}$$

De tablas el Cp. del metal

$$C_p = 444 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} \text{ Tomado del libro transferencia de calor Frank P}$$

Incropera.

$$Q_{lam} = m_{lam} C_p \Delta T$$

$$Q_{lam} = 228 \text{Kg} \cdot 444 \text{ J/Kg} \cdot \text{K} \cdot (498,15 - 300,15)$$

$$Q_{lam} = 20043936 \text{J} = 18997,98 \text{Btu}$$

c. Perdidas por paredes y gases calientes: se asume un 30% de la necesaria para calentamiento del aire y de las láminas con lo cual se tiene:

$$Q_{perdidas} = (1000,91 + 18997,98) \times 0,30 = 5999,667 \text{Btu}$$

El precalentamiento se debe efectuar en un tiempo no superior a media hora, con esto y con la energía total requerida hayamos el calor necesario:

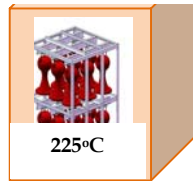
Tabla 26. Calor necesario en la etapa de precalentamiento

Parámetro	Calor (Btu)
Volumen aire interior	1000,91
Laminas internas	18997,98
Perdidas por paredes y gases calientes	5999,67
Total energía requerida	25998,56

$$q_{etapa1} = \frac{25998,56 \text{Btu}}{0,5 \text{hr}} = 51997,12 \text{Btu/hr}$$

Etapas de calentamiento de productos. En este periodo el horno se encuentra a una temperatura de 225 °C, se habré la puerta del horno, se ingresan los hidrantes, por la energía almacenada dentro del horno tiende a caer debido a:

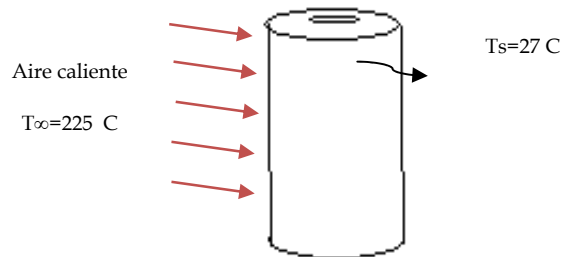
Transitorio-estable



- Calentamiento del producto (hidrantes)
- Perdidas por las paredes del horno Q_p
- Perdida de calor en gases calientes
- Calentamiento del volumen de aire enfriado.

a. Calentamiento del producto (hidrantes): la energía que se debe suministrar para aumentar la temperatura de los hidrantes en hierro fundido teniendo en cuenta que cada hidrante tiene un peso de 60 Kg y son 18 hidrantes es:

Figura 68. Modelo análisis de los hidrantes



$$Q_{Hid} = m_{Hid} C_p \Delta T$$

El C_p del Hierro Gris es 447 J/Kg K Tomado del libro transferencia de calor Frank P Incropera

$$Q_{Hid} = 60\text{Kg} \times 447 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} (225 - 30) = 5229900 \text{ J} = 4956,98 \text{ Btu}$$

Como son 18 hidrantes tendremos:

$$Q_{THid} = 4956,98 \text{ Btu} \times 18 = 89225,79 \text{ Btu}$$

Esta energía dividida en 20 minutos que es el tiempo que deben estar los hidrantes a 225 C nos da a conocer el calor necesario para generar el cambio de temperatura:

$$q_{\text{producto}} = \frac{89225,79 \text{ Btu}}{\frac{1}{3} \text{ hr}} = 267677,37 \text{ Btu/hr}$$

b. Pérdidas por las paredes del horno q_p : las pérdidas de energía en el horno a través de sus paredes, son disminuidas utilizando aislante en fibra de vidrio, el cual se selecciono utilizando la tabla ### este material tiene una conductividad térmica de $0,039 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$, dicho material se uso para diseño por ser de fácil adquisición, además, presenta las mejores características en cuanto aplicación y e instalación.

Para una temperatura de Horneado de $225 \text{ }^\circ\text{C}$ y una temperatura de superficie externa de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ tenemos:

Tabla 27. Espesores Recomendados

Esesor	Ts Tq	1000°F (538°C)	850°F (464°C)	700°F (371°C)	550°F (288°C)	400°F (288°C)	250°F (121°C)
1"	Ts	250	228	204	180	154	125
	Q	203	168	134	100	67	34
2"	Ts	187	173	159	144	128	110
	Q	110	91	73	55	37	19
3"	Ts	161	151	140	129	117	104
	Q	76	63	50	38	25	13
4"	Ts	146	138	129	120	111	-
	Q	58	48	39	29	20	-
5"	Ts	137	130	122	-	-	-
	Q	47	39	31	-	-	-
6"	Ts	130	124	-	-	-	-
	Q	139	33	-	-	-	-

Cálculos realizados para: Velocidad de viento = 0
 Emisividad Exterior = 0.2
 Temperatura ambiente = 86°F (30°C)

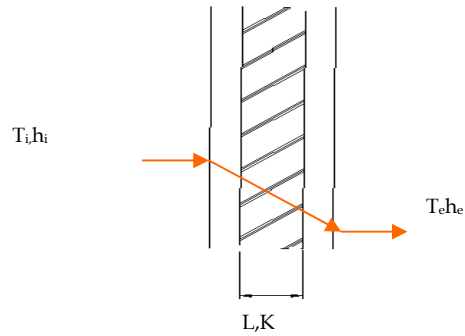
TS = Temperatura Superficial en °F
 Q = Pérdidas de Calor en BTU/h.ft²



Fuente: FiberGlass Colombia SA.

Con lo cual obtenemos un espesor de cuatro pulgadas.

Figura 69. Esquema perdida de Calor



Para evaluar el coeficiente de convección natural promedio para la superficie exterior tenemos.

$$h_a = 0,284 \sqrt{(T_s - T_a)} \text{ Btu} / \text{ft}^2 \text{ h}^\circ \text{ F}$$

T_s y T_a : $^\circ \text{ F}$

Suponiendo una temperatura de superficie de 35° C y teniendo una temperatura ambiente de 30° C tenemos:

$$h_a = 0,284 \sqrt{(104 - 86)} = 0,57 \text{ Btu} / \text{ft}^2 \text{ h}^\circ \text{ F}$$

- Divídase por 0.176 para convertir a $\text{w} / \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{ c}$

$$h_a = 3,238 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{ C}$$

$$Q_p = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_i \cdot A} + \frac{L}{K \cdot A} + \frac{1}{h_e \cdot A}}$$

$$q_p = \frac{(225 - 27)14,24 \text{ m}^2}{\frac{1}{4,22 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{ C}} + \frac{,1 \text{ m}}{0,039 \text{ W} / ^\circ \text{ C} \cdot \text{ m}} + \frac{1}{3,238 \text{ W} / ^\circ \text{ C} \cdot \text{ m}^2}} = 107,66 \text{ W} = 6,12 \text{ Btu} / \text{h}$$

c. Pérdida de calor en gases calientes: estas pérdidas por depender del tiempo en que dure el operario con la puerta abierta, y de que tanto este abierta la compuerta para escape de aire se evalúa como un 30 % del calor necesario para elevar la temperatura de los hidrantes y de las pérdidas por paredes:

$$q_{gases} = (267677,37 + 6,12) \times 0,20 = 53536,698 \text{ Btu/h}$$

d. Calentamiento del volumen de aire enfriado: en el momento en que las puertas se abren la temperatura del aire cae, para evaluar esta necesidad se asume que se debe elevar ésta, en un cuarto del volumen de aire, para que el interior del horno vuelva a la condición de 225 C

$$Q_{aire} = m_{aire} C_p \Delta T = 1,3 \text{ Kg} \cdot 1,021 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot (498,15 - 300,15) \text{ K}$$

$$Q_{aire} = 263,815 \text{ Kj} = 250,05 \text{ Btu}$$

Esta energía debe ser suministrada en 20 minutos con lo cual tenemos:

$$Q_{aire} = \frac{250,05 \text{ Btu}}{\frac{1}{3} \text{ hr}} = 750,14 \text{ Btu/hr}$$

Tabla 28. Calor necesario en la etapa de calentamiento de productos

Parámetro	Calor (Btu/hr)
Calentamiento del producto (hidrantes)	267677,37
Pérdidas por las paredes del horno	6,12
Pérdidas por gases calientes	53536,698
Calentamiento volumen de aire enfriado	750,14
Total calor requerido	321970,33

Etapas de curado de los productos. En esta etapa el quemador debe suministrar la energía necesaria para recuperar el calor que se va por pérdidas en las paredes, con esto se asegura mantener el horno a 225 C, este calor será igual a:

$$q_p = \frac{(225 - 27)14,24m^2}{\frac{1}{4,22W/m^2 \cdot C} + \frac{,1m}{0,039W/^\circ C \cdot m} + \frac{1}{3.238W/^\circ C \cdot m^2}} = 107,66W = 6,12 Btu/h$$

Tabla 29. Resumen calor requerido en etapas de calentamiento

Etapas	Calor (Btu/hr)
Etapas de precalentamiento	59997,67
Etapas de calentamiento de productos	321970,33
Etapas de curado de los productos	6,12

En base a lo anterior y teniendo un requerimiento mayor de calor en la etapa de calentamiento de productos, tomamos este valor y con un factor de diseño de 20% encontramos la capacidad que debe tener el quemador del horno:

$$q_{quemador} = 321970,33 \times 1,20 = 386364,396 Btu/h$$

Estandarizando necesitaríamos un quemador de 400000 Btu/h.

7.5.2 Velocidad del aire durante el proceso de horneado. Pintuco S.A. sugiere una velocidad de 120 fpm con el fin de que no se desprenda el recubrimiento del sustrato, con este dato y partiendo del área horizontal del horno hallamos la capacidad de ventilación necesaria.

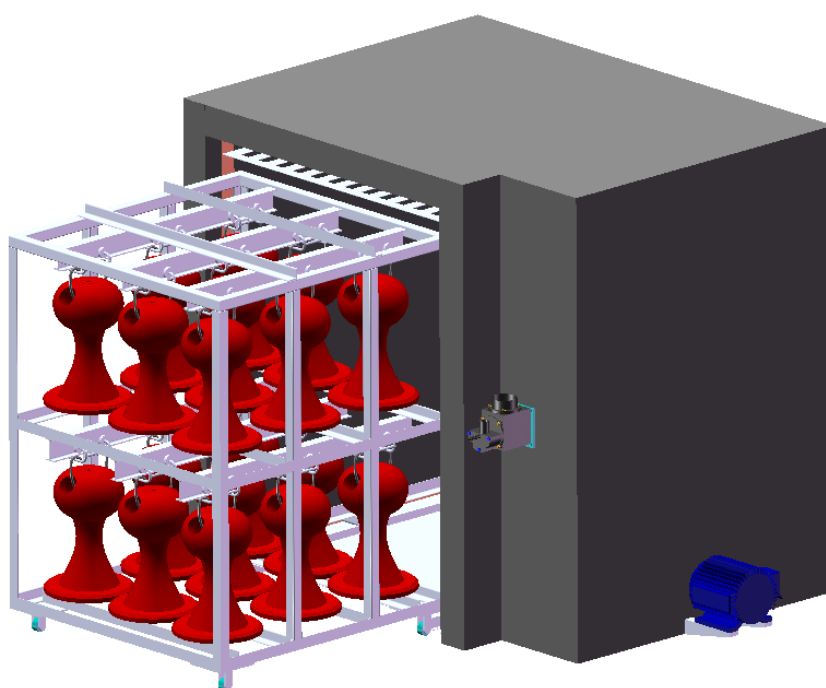
$$\dot{V} = 120 \frac{ft}{min} \times (4.921ft)^2$$

$$\dot{V} = 2906 \frac{ft^3}{min}$$

Tabla 30. Resumen Cálculos Horno Curado

Resumen Cálculos Horno Curado		
Factores	Unidad	Cantidad
Capacidad quemador	BTU/h	400000
VENTILADOR	Ft ³ /min	3000
ESPESOR AISLAMIENTO	in	4

Figura 70. Horno de curado, con los hidrantes pintados



La estructura del horno interna esta fabricada en perfil en u tipo americano C3X4,1 de peso 6,1 Kg/m, la estructura externa diseñada en **perfil cuadrado de acero estructural marca “Colmena” de tamaño nominal 2x2 pulgadas, calibre 16** (Espesor: 1.50 mm), con un esfuerzo de fluencia de 3241 Kg/cm², (42000 PSI) (322 Mpa), cumpliendo con la norma ASTM A 500 grado C, las laminas internas son de Acero galvanizado calibre 12, las laminas externas son en cold roller calibre 22.

7.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE ELEMENTOS PARA EL TRANSPORTE DE LAS PIEZAS

Las piezas deben ser transportadas entre las diferentes etapas del proceso, para estos se diseñaron:

- Canastilla para transporte entre los tanques de limpieza
- Estante para transportar y ubicar las piezas dentro del horno
- Gancho para soportar las piezas a pintar

7.6.1 Canastilla para transporte entre los tanques de limpieza. Esta estructura debe fabricarse en acero estructural, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 31. Parámetros para diseño de canastilla

parámetros	Unid	Cant
Peso hidrantes	Kg	60
Diámetro Hidrantes	MI	0,60
Altura Hidrantes	MI	0,40
Ancho interno tanque	MI	0,98
Largo interno tanque	MI	1,34
Altura útil interna tanque	MI	1,14

Por tal motivo se concluye:

Se pueden introducir 5 hidrantes por ciclo de limpieza, ya que las sustancias utilizadas en el proceso degradan el material debe construirse en un material

económico, se opta por ángulos en acero estructural de $1\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ con refuerzos en platina de $1\frac{1}{4} \times \frac{3}{16}$.

Figura 71. Diseño y construcción de la canastilla

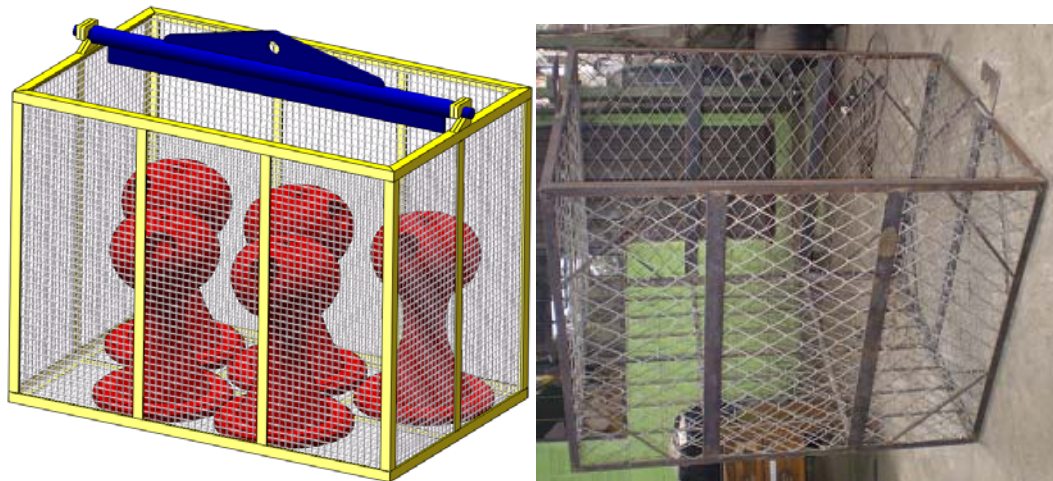
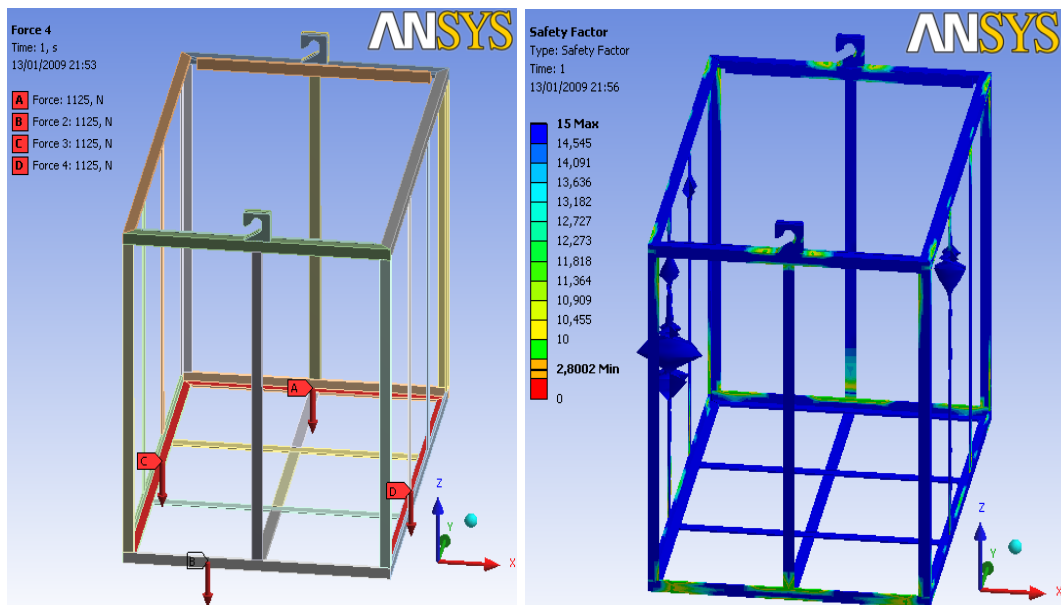


Figura 72. Análisis de esfuerzos de la canastilla



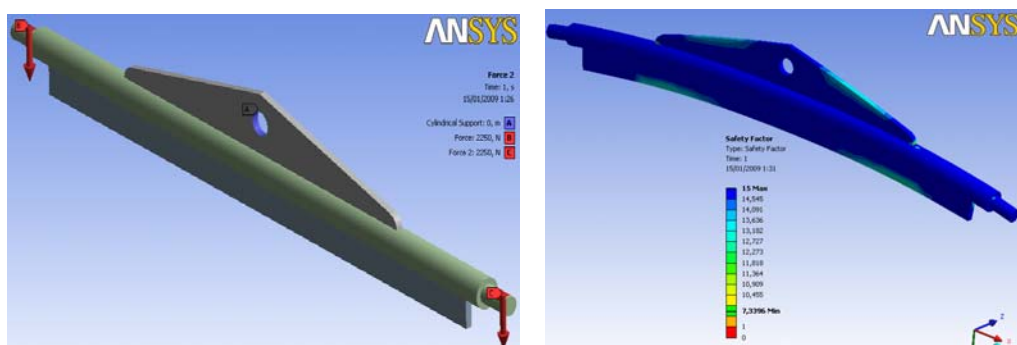
Realizando un análisis estructural mediante el uso del software Ansys, con una carga de 500 Kg, colocada en sus ángulos inferiores posterior y frontal se obtuvo un factor de seguridad de 2.8, con esto y habiendo construido físicamente la canastilla se aprecia una estructura robusta y resistente. La estructura se diseñó en ángulo de $1 \frac{1}{4} \times \frac{3}{4}$ los ganchos se diseñaron en platina de espesor de $\frac{1}{2}$ pulgada, la canastilla se reforzó con platina de $1 \frac{1}{4} \times \frac{3}{4}$

Para el soportar la canastilla y para que esta pase por los diferentes tanques, se debe construir:

- Gancho para elevación de la canastilla
- Estructura para soportar y trasladar la canastilla

7.6.2 Diseño del gancho para elevar la canastilla. Al diseñar el soporte de la canastilla en la cual se han de transportar las piezas durante la etapa de limpieza, se tiene en cuenta el peso de hidrantes, el peso de la canastilla el peso propio y el tanque donde debe ingresar.

Figura 73. Análisis de esfuerzos del soporte de la canastilla

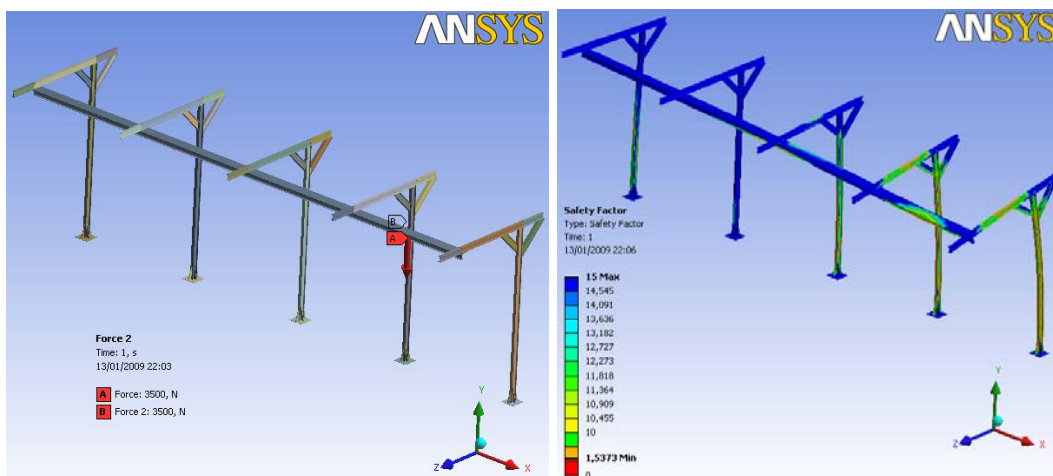


El gancho se construyó utilizando Acero estructural de 2 pulgadas de diámetro en el eje central, una pulgada y media en los extremos y platina de

½ pulgada, esta estructura se simulo utilizando el software ANSYS presentando un factor de seguridad de 7,3 por lo cual se concluye que es resistente.

7.6.3 Diseño de la estructura para transporte de canastillas. Para el diseño de esta estructura se tuvo en cuenta el peso de los hidrantes, el peso de la canastilla y que esta es una carga dinámica, se analizo por medio del software ANSYS presentado un factor de seguridad de 1,5 con lo cual concluimos que es una estructura resistente.

Figura 74. Análisis de esfuerzos de estructura para transporte de canastilla



Para la construcción de esta estructura se selecciono un perfil IPE 100 norma ASTM A36 cuyo límite elástico es de 36000 Psi.

7.7 DISEÑO DE ESTANTE PARA TRANSPORTAR Y UBICAR LAS PIEZAS DENTRO DEL HORNO

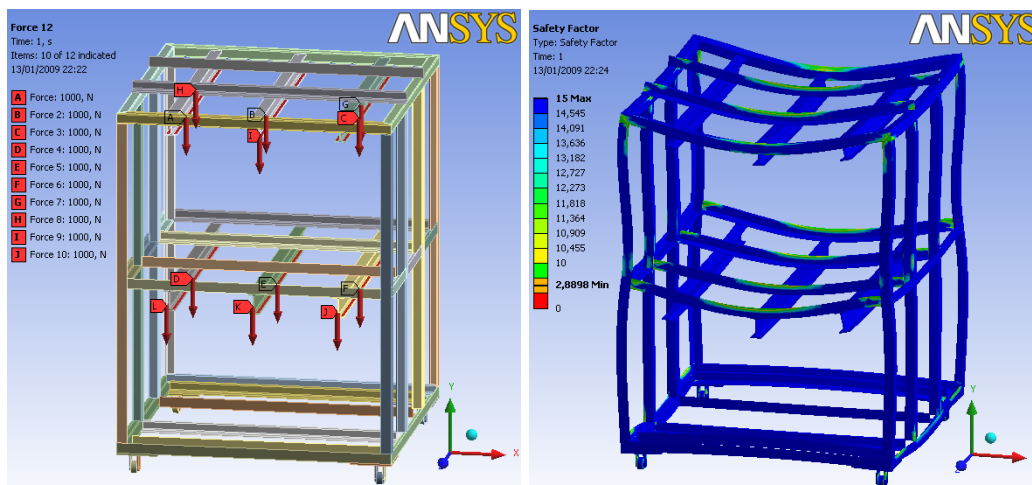
Cuando se termina el proceso de recubrimiento, las piezas deben ser transportadas en forma organizada y segura hacia el interior del horno, para

el transporte de los Hidrantes en el interior del horno se debe contar con un estante que permita curar el mayor número de piezas recubiertas, por tanto para el diseño de esta estructura se tiene en cuenta el peso de cada Hidrante, el volumen útil de trabajo dentro del Horno y la temperatura interna, además debe cumplir los siguientes requerimientos:

- Ser liviano
- Fácil da conducir
- Transportar el mayor numero de hidrantes

Para cumplir con estos requerimientos se construyo un estante con dimensiones externas ancho 1350mm profundidad 1400mm altura 1900 mm

Figura 75. Análisis de esfuerzos de los estantes para proceso de curado



La estructura se construyo en Acero estructural, las vigas de soporte construidas en perfil IPE 100, el marco fue diseñado en ángulo de 2 X ¾ de pulgada.

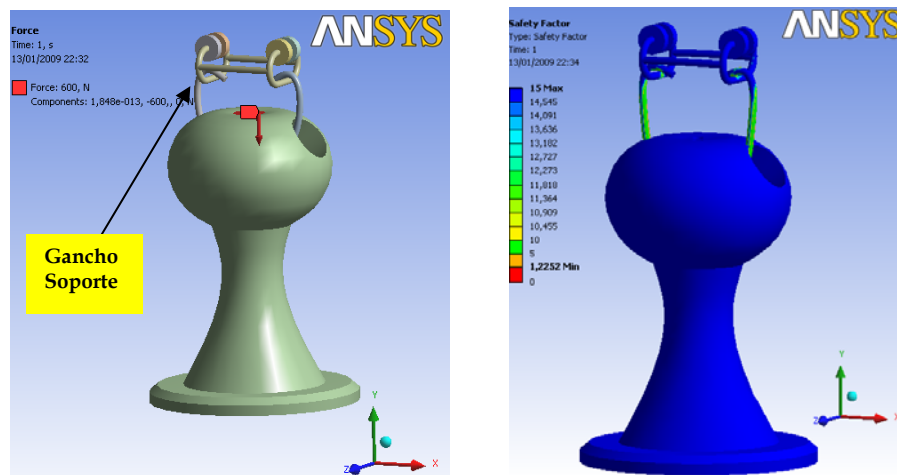
Esta estructura fue analizada aplicando cargas puntuales de 100 Kg con condiciones térmicas igual a 225 °C mediante el uso de ASYS, presentando

un factor de seguridad de 2,8 por lo cual concluimos que es una estructura resistente.

7.8 GANCHO PARA SOPORTAR LAS PIEZAS A PINTAR

Para soportar los hidrantes en el sistema de recubrimiento se plantea el uso de ganchos fabricados en acero estructural de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, estos se analizaron con el uso del software ANSYS presentando un factor de seguridad de 1,72 y presentando una deformación despreciable por lo cual concluimos que es seguro.

Figura 76. Análisis de esfuerzos de los ganchos



8. SELECCIÓN DE LAS PARTES DEL SISTEMA

A continuación se lista la **selección** de las partes y materias primas que conforman el sistema de pintado:

- **Selección de las partes del subsistema de la preparación de la superficie de piezas.**

- ❖ Productos químicos para la preparación de la superficie de piezas.
- ❖ Quemadores para el calentamiento de los productos químicos.
- ❖ Aislante térmico para los tanques.

- **Selección de las partes del subsistema cabina de aplicación de pintura en polvo y sistema de recuperación.**

- ❖ Pintura en polvo
- ❖ Equipo de pintura
- ❖ Filtro para la recuperación.
- ❖ Filtro de aire comprimido.

8.1 SELECCIÓN DE LAS PARTES DE LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE PIEZAS

8.1.1 Selección de los productos químicos para el pretratamiento. Un accesorio producto de la fundición, tendrá impurezas tales como arenas, virutas de disco de pulidoras, grasas, carbono sobrante, mugre, aceites de manipulación, polvo entre otros contaminantes, desperfectos de los sustratos

como poros y grietas etc. Partiendo de esto y basados en la investigación realizada, asesorados por Henkel colombiana SA. Tenemos:

En un sistema para la limpieza de piezas producto de la fundición de hierro gris, las etapas de proceso dependen de:

- La calidad del material procesado.
- Variedad y tamaño de las piezas.
- Volúmenes de producción.
- Temperatura.
- Requisitos de calidad.
- Presupuestos de inversión considerados para la planta.

A continuación se presenta un esquema sugerido de proceso para el tratamiento de las piezas antes de pintura:

Tabla 32. Tratamiento de limpieza de piezas

No.	Descripción	Producto(s)	Concentración (g/l)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
a	Desengrase	PARCO CLEANER 617	50 – 60	55 – 60	5 a 10
b	Enjuague	Agua de red con rebose constante		ambiente	1 a 2
c	Enjuague Activado	FIXODINE A	2 a 3	Ambiente	1 a 2
d	Fosfatizado	BONDERITE 68 TONER 131	BONDERITE 68 23 – 25 TONER 131 2 - 4	46 a 52	5 a 10
e	Enjuague	Agua de red con rebose constante		ambiente	1 a 2
f	Sello	DEOXYLYTE NC-10	1 - 2	55 – 60	1 a 2

Fuente: Henkel Colombia S.A.

a. **PARCO CLEANER 617** es un desengrase alcalino, especialmente diseñado para la remoción de grasas pesadas y carboncillo, es un producto sólido que se disuelve en agua.

b. Es muy importante asegurar un excelente enjuague después de la aplicación del **PARCO CLEANER 617**, esta operación garantiza la eliminación de la contaminación a los pasos siguientes.

c. El **FIXODINE A**, es un producto a base de sales de titanio, cuya función consiste en activar la superficie metálica para la deposición del fosfato de zinc.

d. **EI BONDERITE 68**, es un fosfato de Zinc-Níquel-Manganeso, microcristalino, que proporciona una excelente base para la adherencia de la pintura. Este fosfato garantiza una resistencia a cámara salina superior a las 700 horas.

e. El **TONER 131**, es un producto a base de nitrito de sodio que se adiciona al tanque de fosfato para acelerar la reacción de formación del cristal de fosfato.

f. El **DEOXYLYTE NC-10**, es un producto sellador que garantiza una mayor resistencia a corrosión, puede ser aplicado a temperatura ambiente o en caliente.

8.1.2 Selección quemadores para calentamiento de los tanques. Para potenciar o conservar la calidad de los procesos de desengrase, fosfatado y sellado de la superficie de las piezas se recomienda que la temperatura de la solución durante el proceso este a 60 °C, por esto se requiere utilizar una

batería de quemadores en la parte inferior externa de cada tanque que contenga dicha solución, estos quemadores deben:

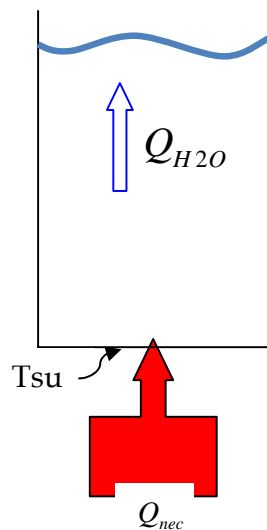
- Elevar la temperatura de un volumen de agua igual a $1,5 \text{ m}^3$
- El tiempo que demore en aumentar la temperatura no debe ser superior a una (1) hora.
- El área de transferencia de calor está determinada por el fondo del tanque el cual es de $1,12 \text{ m}^2$.
- El combustible a utilizar es gas natural.
- El tanque es hecho en cold rolle calibre 12.

Energía requerida para elevar la temperatura de la solución. Partiendo de los datos conocidos y analizando el fenómeno como un proceso estable tenemos:

$$Q_{nec} = mC_p \Delta T$$

$$Q_{nec} = mC_p (T_f - T_i) = \rho V_{H_2O} C_p (T_f - T_i)$$

Figura 77. Esquema de calentamiento tanque.



$$Q_{nec} = 1000 \frac{Kg}{m^3} \cdot 1.5m^3 \cdot 4,180 \frac{Kj}{Kg \cdot K} (60 - 30)$$

$$Q_{nec} = 188100Kj = 1778284,4Btu$$

Potencia teórica para calentar la solución. Se estima que el calentamiento debe suceder en un tiempo no mayor a una hora por tanto la potencia neta requerida es:

$$q_{nec} = \frac{Q_{nec}}{t}$$

$$q_{nec} = \frac{188100Kj}{1hr}$$

$$q_{nec} = 188100 \frac{Kj}{hr} = 52250W = 178284,4 \frac{Btu}{hr}$$

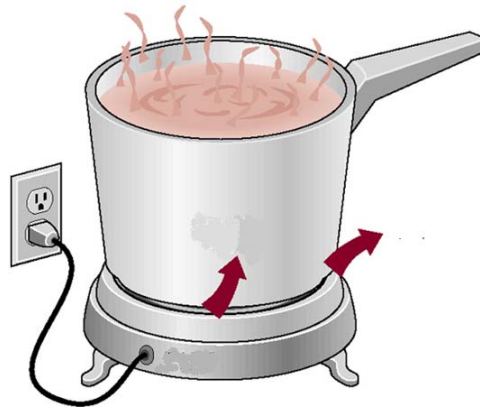
Potencia real Requerida. Considerando que el flujo de calor suministrado está sometido a pérdidas utilizamos un factor de 25 % con el fin de hallar la potencia del quemador a usar:

$$q_{quemador} = \left(178284,4 \frac{Btu}{hr}\right) \cdot 1.25$$

$$q_{quemador} = 222855,5 \frac{Btu}{hr}$$

Temperatura de la lámina horizontal inferior. El calor producido por la llama del quemador, calienta la lámina en el fondo del tanque y esta a su vez calienta la solución, esta transferencia de calor depende del coeficiente de transferencia de calor y de la diferencia de temperatura entre la superficie de la lamina y la temperatura de la solución, realizando un experimento en el cual calentamos agua en una olla, analizamos como la diferencia de temperatura es pequeña, por tanto el coeficiente de temperatura es alto, basados en información encontrada en el libro de transferencia de calor de Yunus A Cengel tomamos este fenómeno como un proceso de ebullición nucleada, con lo cual tenemos:

Figura 78. Calentamiento de agua



Fuente: Termodinámica Yunus A Cengel

$$\dot{q}_{nucleada} = \mu_l h_{fg} \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{1/2} \left[\frac{C_p (T_s - T_{sat})}{C_{sf} h_{fg} Pr_l^n} \right]^3$$

$$T_s = \left[\sqrt[3]{\frac{\dot{q}_{nucleada}}{\mu_l h_{fg} \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{1/2}} \times \frac{C_{sf} h_{fg} Pr_l^n}{C_p}} \right] + T_{sat}$$

μ_l = Viscosidad del liquido Kg/m.s

h_{fg} = entalpia de vaporización, J/Kg

ρ_l = densidad del liquido Kg/m³

ρ_v = densidad del vapor Kg/m³

g = aceleración gravitacional m/s²

σ = Tensión superficial de la interface liquido-vapor N/m

C_{pl} = Calor específico del liquido J/Kg °C

T_s = temperatura superficial del calentador, °C

T_{sat} = temperatura de saturación del fluido, °C

C_{sf} = constante experimental dependiente de la combinación superficie-fluido

Pr_l = número de Prandtl del líquido.

n = constante experimental que depende del fluido.

De tablas del libro de transferencia de Yunus a Cengel tenemos

$$\mu_l = 0,467 \times 10^{-3} \text{ Kg/m.s}$$

$$h_{fg} = 2359000 \text{ J/Kg}$$

$$\rho_l = 983,3 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_v = 0,1304 \text{ Kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\sigma = 0,0662 \text{ N/m}$$

$$C_{pl} = 4185 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_s = ? ^\circ\text{C}$$

$$T_{sat} = 60 ^\circ\text{C}$$

$$C_{sf} = 0,0130$$

$$Pr_l = 2,99.$$

$$n = 1$$

$$T_s = \left[\sqrt[3]{\frac{188100000 / 1,12}{0,467 \cdot 10^{-3} \times 2359000 \left[\frac{9,8(983,3 - 0,1304)}{0,0662} \right]^{1/2}}}} \times \frac{0,0130 \times 2359000 \times 2,99^1}{4185} \right] + 60$$

$$T_s = 221,38 ^\circ\text{C}$$

Luego de visitar las empresas del sector Bucaramanga se encontró que el quemador adecuado es el tipo hornilla en forma de u, el cual genera una potencia de 150000 Btu/hr si colocamos 2 quemadores tendremos 300000 Btu/hr asumiendo una pérdida de calor del 25% tendremos 225000 Btu/hr cumpliendo con esto la necesidad;

Figura 79. Quemador en U

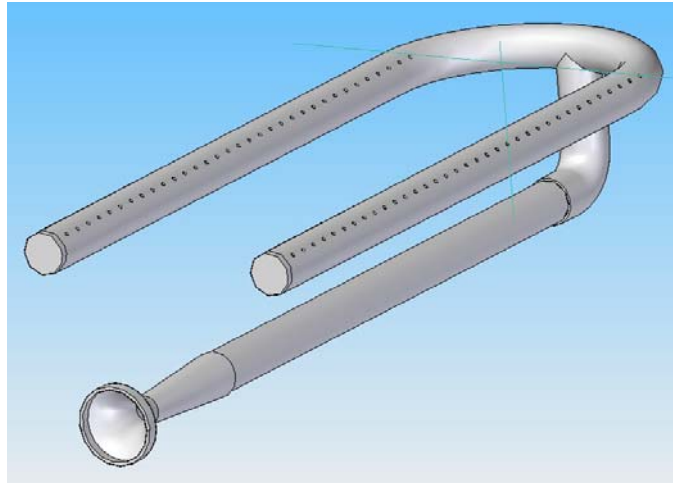


Tabla 33. Valores típicos del coeficiente de calor por convección

Tipo de convección	h, W/m ² .oC
Convección libre de gases	2-25
Convección libre de líquidos	10-1000

* Multiplíquese por 0.176 para convertir a Btu/h.ft².°F

Fuente: Transferencia de calor Yunus A, Çengel Pág. 26

8.1.3 Selección del aislante térmico para los tanques. Para conservar la temperatura que se desea es preciso utilizar material aislante que impida la disipación de calor, al seleccionar el aislante térmico se tomo en cuenta los siguientes factores:

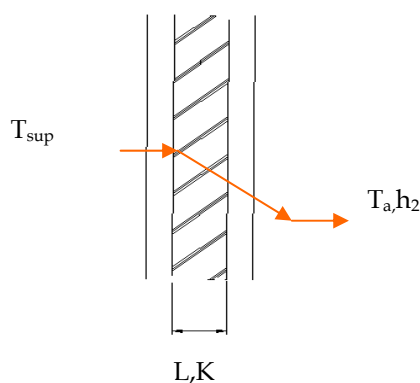
- Excelente funcionamiento térmico
- Peso liviano

- Elasticidad
- Rápido y fácil de instalar
- Incombustible
- Inorgánico
- No genere corrosión sobre el acero o el hierro
- No absorba humedad ambiental

Con esto y partiendo de que la temperatura máxima que alcanzara las láminas laterales de acero es de 60 °C y la temperatura ambiente es de 28 °C, asesorados de una entidad distribuidora de aislantes, tenemos las siguientes especificaciones técnicas:

- Conductividad térmica: $0.039 \frac{W}{^{\circ}C \cdot m^2}$ Valor típico $0,27 \frac{BTU \cdot in}{^{\circ}F \cdot ft^2}$
- Características de quemado superficial: ASTM E84 Propagación de llama 25
- Temperatura de aplicación máx. $540^{\circ}C(1000^{\circ}F)$

Figura 80. Distribución de temperatura a través de un aislante



$$q = \frac{A \cdot (T_1 - T_a)}{\frac{L}{K} + \frac{1}{h_2}}$$

Donde:

$q = q_{\text{perd}} =$ flujo de calor

$T_1 =$ Temperatura interna

$T_a =$ Temperatura ambiente

$T_s =$ Temperatura de superficie

$L =$ Espesor del aislamiento

$K =$ conductividad térmica

$R_s =$ Resistencia de película del aire

$A =$ área de transferencia

$$T_1 = 158^{\circ}F$$

$$T_a = 86^{\circ}F$$

Cuando hablamos del área de transferencia nos referimos a la sumatoria del área de las láminas verticales que rodean el tanque.

$$\textit{Ancho} = 98\textit{cm} = 3,21\textit{ft}$$

$$\textit{altura} = 114\textit{cm} = 3,74\textit{ft}$$

$$\textit{profundida} = 134\textit{cm} = 4,39\textit{ft}$$

$$A_1 = 2(0,98 \times 1,34) = 2,62\textit{m}^2$$

$$A_2 = 2(1,14 + 1,34)3,055\textit{m}^2$$

$$A_T = A_1 + A_2 = 5,68\textit{m}^2$$

Para aire tranquilo el coeficiente de convección natural esta dado:

$$h_a = 0.284 \sqrt{T_{\text{sup}2} - T_a} \quad \text{Btu} / \text{ft}^2 \text{h}^\circ \text{F}$$

$$h_a = 0.284 \sqrt{40 - 30} = 0,5$$

$$h_a = \frac{0,5}{0,176} = 2,84 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ c}$$

Conductividad térmica K de tabla 0,267 BTU · in / h · ft² · °F lana AW fiber glass.

$$\frac{q}{A} = \frac{(T_1 - T_a)}{\frac{L}{K} + \frac{1}{h_2}}$$

$$L = \left[(T_1 - T_a) - \frac{Ah}{qA} \right] \times \frac{KA}{q/A}$$

$$L = \left[(221,38 - 30) - \frac{5,68^2 \cdot 2,84}{52250} \right] \times \frac{0,039 \times 5,68^2}{52250} = 4,6 \times 10^3 \text{ m} = 0,18 \text{ in}$$

Por tanto utilizamos un aislante de 1 in de espesor ya que es el de menor espesor que se consigue en el mercado.

8.2 SELECCIÓN DE LAS PARTES DEL SUBSISTEMA DE APLICACIÓN

Teniendo en cuenta la investigación hecha en capítulos anteriores y analizando las ventajas y desventajas que presentan algunos proveedores tenemos:

8.2.1 Selección pintura en polvo

Tabla 34. Parámetros para selección distribuidor de pintura en polvo

PARÁMETRO	PROVEEDOR		
	Dupont	Pintuco	Bler
COSTO	N	N	A
SOPORTE TÉCNICO	R	B	D
ABASTECIMIENTO	D	B	D
DIVERSIDAD EN TONOS	B	B	D
CALIDAD	B	B	B

N: normal

A: aceptable

R: regular

D: deficiente

B: bueno

Con esto seleccionamos a industrias pintuco como proveedor, el tipo de pintura a utilizar es el **Tipo Poliéster** esto se hizo teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 35. Parámetros para selección de pintura en polvo.

Propiedad	Pintura tipo		
	Epóxy	Poliéster	Hibrido
Niebla salina	P	P	P
Cámara de húmeda	P	P	P
Resistencia a intemperie	N	S	N
Resistencia a rayos UV	N	S	N

P: pasa

N. no sirve

S: sirve

8.2.2 Selección del equipo de aplicación. Para realizar un cubrimiento con desempeño óptimo, las partes planas requieren unos parámetros

electrostáticos diferentes que el recubrimiento en el interior de cavidades. Y las necesidades electrostáticas para operaciones de retoque son diferentes de aquellas para el recubrimiento de partes pintadas.

Por estos motivos y el respaldo de la marca NORDSON, se selecciona el sistema:

Nordson sure coat con pistola tipo corona el cual provee una solución a estos problemas con la patentada tecnología de selección de carga, esta permite seleccionar los parámetros electrostáticos ideales para su aplicación particular. Con ello, se mejora el nivel de la calidad del cubrimiento, la eficiencia y la consistencia.

Figura 81. Equipo de pintura



Fuente: <http://www.nordson.com>

Con estas especificaciones:

Figura 82. Especificaciones del equipo de pintura sistema sure coat



Fuente: <http://www.nordson.com>

En este sistema se pueden seleccionar cuatro modos avanzados de recubrimiento, cada uno optimizado para aplicaciones difíciles tales como:

Modo 1 – Reproceso o repintado.

Modo 2 – Pintado de piezas de geometría variada.

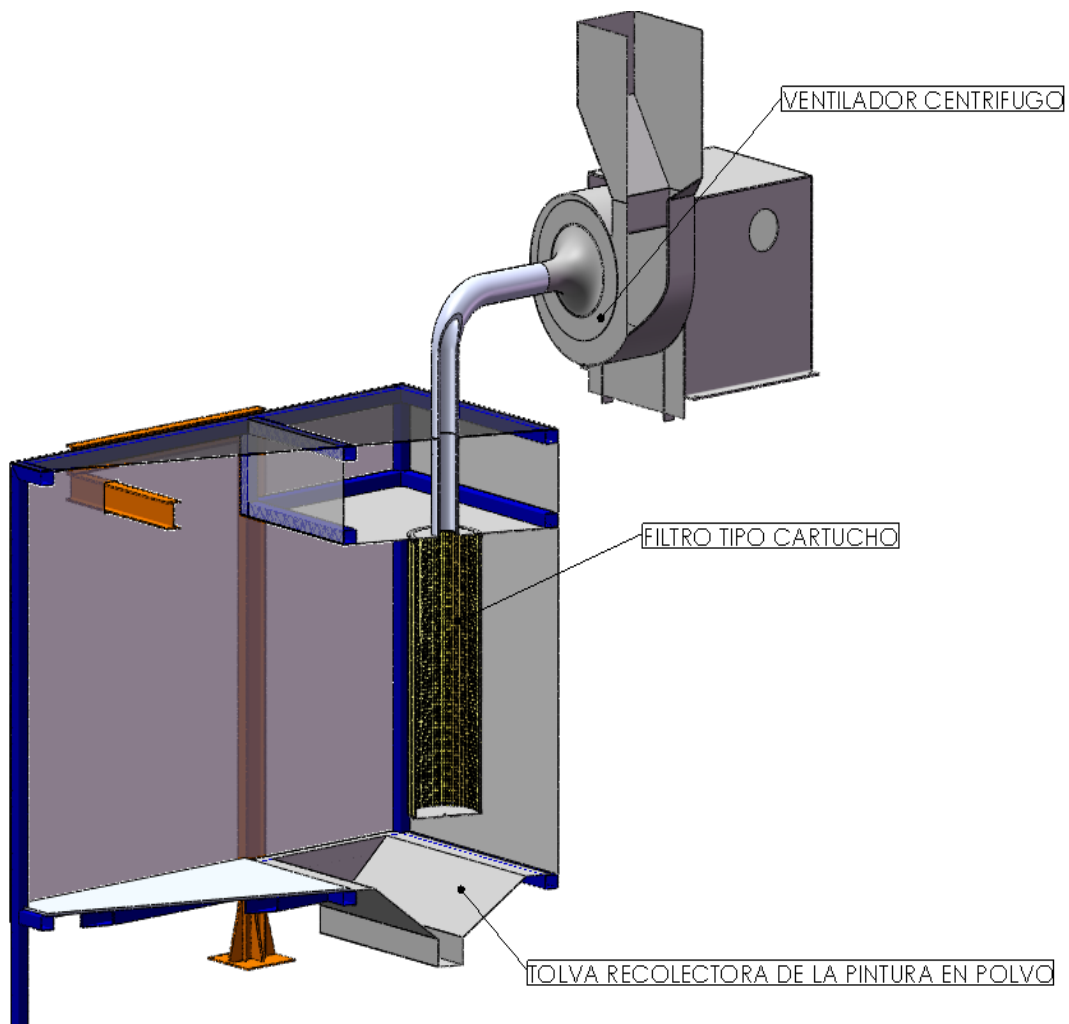
Modo 3 – Pintado de piezas con cavidades profundas.

Modo 4 – Para uso especial de pintura metalizada.

Estas características aportan un elemento más para dicha decisión ya que el operario no necesita de una alta capacitación para poder operar dicho equipo.

8.3 SELECCIÓN DE LAS PARTES DEL SUBSISTEMA DE RECUPERACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO

Figura 83. Partes del subsistema de recuperación de la pintura en polvo



8.3.1 Selección del filtro para la recuperación de la pintura en polvo.

Este tipo de sistema utiliza filtros de cartuchos reemplazables para la separación de la pintura en polvo. Estos elementos de cartucho están hechos de material corrugado (celulosa o poliéster) para la filtración con un diámetro del poro de 25 micras, con una caída de presión de 10 mm de columna de

agua. Como ya se menciona las partículas finas de la pintura en polvo tienen un tamaño de 38 micras, pero por los golpes debidos al transporte neumático pueden llegar a tener hasta 26 micras, y es éste el parámetro el utilizado para la selección del filtro.

Hay muchas marcas y modelos de filtros en el mercado, pero por economía, y funcionalidad, garantizando la recolección del polvo se selecciona un filtro de iguales características al importado por NORDSON. El filtro seleccionado marca BALWDWIN con # de referencia PA2312 que es el utiliza una tractomula marca Kenworth, como filtro de aire de aspiración contraria, pero en Bucaramanga se consigue en AGRO-FILTER DEL ORIENTE adquiriéndose con la referencia AG 1581 con las siguientes especificaciones:

Figura 84. Esquema filtro de aspiración contraria

Product Guide **PA2312**



Descriptions: Air Element

Notes: Inside-Out Flow Direction

Fits: Kenworth, Mack, R.V.I. Trucks

Replaces: GMC 15586905; Kenworth
KW853M; Mack 2MD2147

O.D.: 10 3/8 (263.5)

I.D.: 6 1/32 (153.2) One End

Length: 22 13/16 (579.4)

A. Gskt.: [2] Attached

F. Gskt.: G21-AF

O. Gskt.: G499-AF

UPC: 7 91440 01748 1

Fuente: Baldwin Filters

8.3.2 Selección del ventilador de succión del aire. Para lograr un óptimo pintado sin desperdiciar pintura se sigue la recomendación de pintuco, donde la velocidad del aire de succión, a través de todas las aberturas debe estar entre 100 y 120 pies lineales por minuto (L.F.M.). Donde la fórmula del tamaño del ventilador es:

Vel. lineal aire (L.F.M) X área de aberturas (ft^2) = tamaño del ventilador (CFM)

Como la cabina tiene una sola abertura que es de 1.6 m de ancho, por 1.5 m de alto, obteniéndose un área de:

$$2.4 \text{ m}^2 = 25.83 \text{ ft}^2.$$

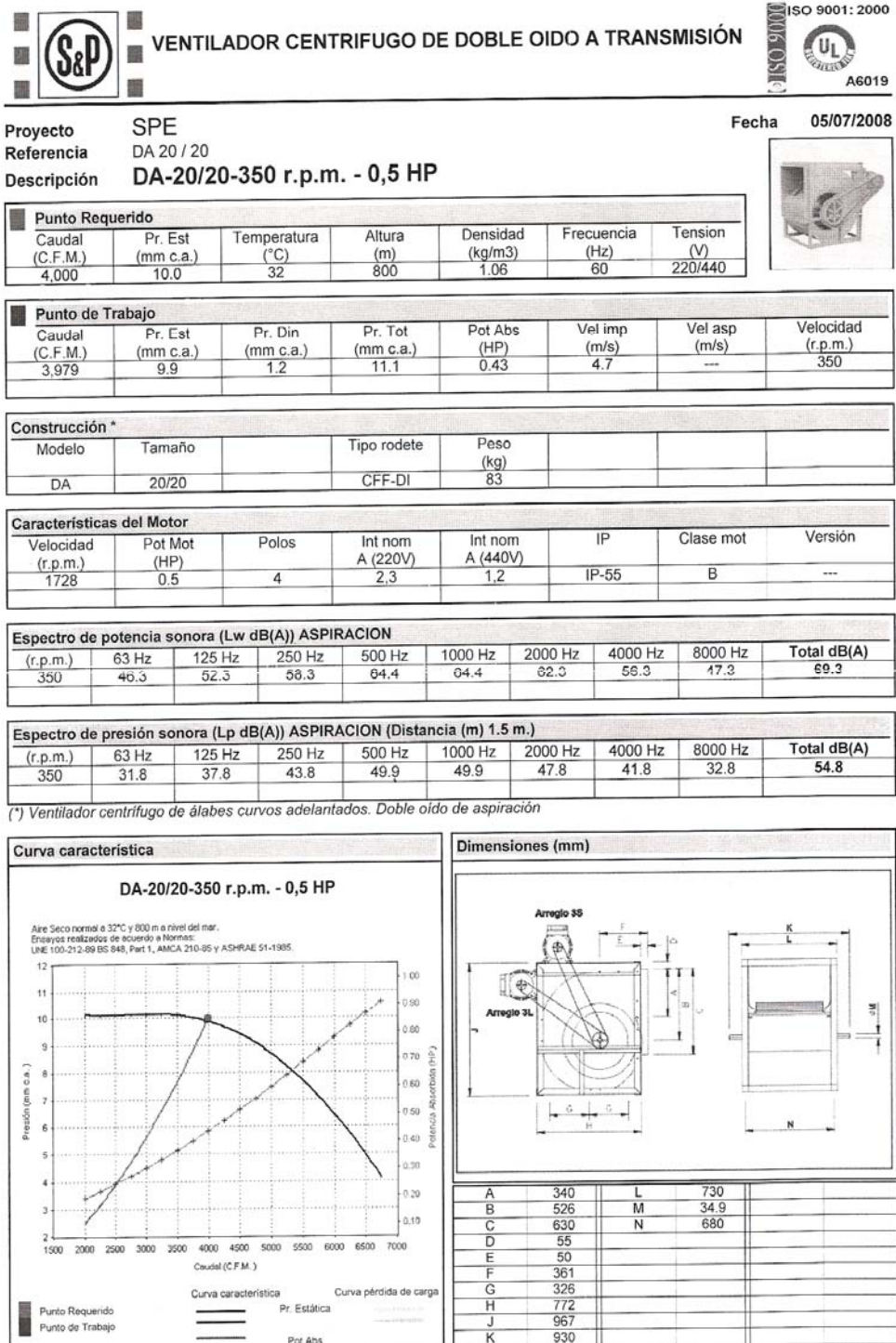
El caudal hallado es:

$$120(\text{L.F.M}) * 25.83 \text{ ft}^2 = 3100 \text{ CFM}$$

Con este caudal, la caída de presión del filtro anteriormente seleccionado de 10 mm de C.A. y con el software de SOLER & PALAU, se selecciona un VENTILADOR CENTRIFUGO DE ALABES CURVOS ADELANTADOS CON DOBLE OÍDO DE ASPIRACIÓN de 0.5 HP a 350 rpm.

Con estas especificaciones técnicas: (ver siguiente figura)

Figura 85. Especificaciones del ventilador centrifugo.



Fuente: Friocol Ltda.

8.3.3 Selección de la conexión de puesta a tierra. Para posibilitar el fenómeno electrostático, la estructura que soporta las piezas o la misma pieza a pintar deben estar aterrizada eléctricamente el proveedor del equipo de pintura sugiere utilizar un polo a tierra de capacidad igual a un máximo de 0,7 ohmios.

8.3.4 Selección de los filtros y regulador de presión de aire comprimido

Figura 86. Filtros de Aire y Regulador



Fuente: Festo

Está estimado que el aire que nosotros respiramos contiene más de cerca de medio millón de partículas de polvo por pulgada cúbica. La alta concentración y altas velocidades de estas partículas pueden ser perjudiciales ya que taponan orificios aparte de causar daños en diferentes partes del sistema, por otro lado debido a ser comprimido y enfriado, algunas partículas de vapor de agua se condensan causando daños al sistema, para esto y con la ayuda de ingenieros de FESTO y siguiendo las recomendaciones de “NORDSON” se selecciono para los sistemas de recuperación de polvo y equipo de pintura:

- Filtro de cinco (5) micras con purga automática.
- Filtro de cuarenta (40) micras con purga automática.

Estas unidades de filtro deben utilizarse en cada sistema de la cabina con el fin de no contaminar el material pulverulento, en el sistema de limpieza no es necesario filtrar el aire.

CONCLUSIONES

Se diseñó un sistema de pintura electrostática que puede ser empleado en una empresa la cual se dedique a la fabricación de accesorios en hierro gris, el flujo de piezas a pintar debe ser no superior a 600 Kg por ciclo en el sistema de limpieza, 100 Kg por ciclo en el sistema de recubrimiento y 1080 Kg por ciclo en el sistema de curado.

El proceso de aplicación de pintura electrostática, a pesar de ser un proceso antiguo en la ciudad de Bucaramanga, no se aplica con las normas de calidad que exige dicho proceso, esto es apreciable en desperdicio de material y acabados defectuosos, lo cual se evidencia en pérdidas económicas.

Un buen proceso de recubrimiento de piezas con pintura electrostática tiene tres subsistemas como son: la limpieza, el recubrimiento y el curado de las piezas. Los tres subsistemas tienen igual importancia, el sistema será deficiente si se le resta valor a cualquiera de estos.

Un buen diseño debe ser planeado de acuerdo a las posibles formas de procesos de fabricación, manejo y adquisición de materiales, ya que estos factores miden el grado del éxito del diseño realizado.

Uno de los grandes problemas, por el cual alguna de las empresas del sector no ha podido surgir, y por el contrario tienden a desaparecer, es el hecho de la negación a modernizarse e invertir dinero en equipos y maquinaria construida con un nivel de tecnología apropiado.

RECOMENDACIONES

Al implementar un sistema de pintura electrostática deberá tenerse en cuenta:

- Accesorios a pintar.
- Flujo de material.
- Colores a utilizar.
- Lugar donde será instalado el sistema.
- Capacidad de inversión de los interesados.

Es necesario encontrar mecanismos que conlleven al fortalecimiento de las relaciones universidad empresa para con esto obtener adelantos que puedan beneficiar a las dos partes mencionadas.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO BAQUERO, Arnaldo. Las propiedades de fundición. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 1998, 366 p.

ASKELAND, Donald. Ciencia e ingeniería de los materiales. Internacional Tomsosn Editorial.

CENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. Termodinámica. Tomo II. Segunda Edición. Mc Graw Hill. Impreso D'Vinni Editorial Limitada. Colombia, 1997

DUBBEL, H. Manual del constructor de máquinas. Barcelona: Editorial Labor, 1965. v.2, 1040 p.

HIBBELER, Rusell C. Mecánica de materiales. Ed Continental, S.A. 1994

HOLAMN, J. P. Heat Transfer. Singapore: Mc. Graw Hill. 1992. 736 p.

INCROPERA, Frank P. y DeWitt, David P. Fundamentos de Transferencia de Calor. México: Prentice Hall. 1999. 912 p.

LOTHERS, John E. Diseño de estructuras metálicas. Englewood Cliffs, NJ. : PRENTICE-HALL Internacional, 1973. 454 p.

MEGYESY, F. Eugene. Manual de Recipientes a Presión. México: Editorial Limusa, S.A. 1992. 482 p.

NORMAS TECNICAS ASME UG SECCIÓN VIII DIVISIÓN 1 Recipientes sujetos a presión.

PINTUCO. Manual de pintura en polvo. 2003.

SHIGLEY, Joseph E. Manual de Diseño Mecánico. McGraw Hill. 2003. 987 p

Internet:

<http://www.articulosmetalicos.com>

<http://www.baldwinfilter.com>

<http://www.itwgema.org>

<http://www.maquinaria.cl>

<http://www.nadema.es/>

<http://www.nordson.com>

<http://www.venezolanadepinturas.com/>

ANEXOS

ANEXOS A. VISTA GENERAL DEL SISTEMA DE PINTURA EN POLVO

