TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

"DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATICO PARA BARNIZAR TUBOS DE ACERO DE ACUEDUCTOS, OLEODUCTOS Y GASODUCTOS"

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Castillo Hernández, Douglas A
Díaz Delgado, Nayarit Elizabeth

Para Optar por el Título de
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2003

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

"DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATICO PARA BARNIZAR TUBOS DE ACERO DE ACUEDUCTOS, OLEODUCTOS Y GASODUCTOS"

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ing. Pedro Cadenas

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Castillo Hernández, Douglas A
Díaz Delgado, Nayarit Elizabeth

Para Optar por el Título de
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2003

Caracas, Octubre de 2003

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Douglas Castillo y Nayarit Díaz, titulado:

"DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA BARNIZAR TUBOS DE ACERO PARA ACUEDUCTO, OLEODUCTO Y GASODUCTO"

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

Prof. (Fausto Carpentiero)
Jurado

Prof. (Pedro Lecue)
Jurado

Prof. (Pedro Cadenas)
Tutor Académico

Caracas, 29 de octubre de 2003.

Ciudadano:
Prof. Jesús Hernández
Jefe de División de Control de Estudios
Presente.-

Quienes suscriben profesores miembro del Jurado Examinador, designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica, nos dirigimos a usted, con la finalidad de informarle la decisión de otorgar a los alumnos: NAYARIT DIAZ Y DOUGLAS CASTILLO.

MENCION HONORIFICA

Por la excelencia demostrada en la realización de Trabajo Especial de Grado intitulado:

"DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA BARNIZAR TUBOS DE ACERO PARA ACUEDUCTOS, OLEODUCTOS Y GASODUCTOS"

Sin otro particular a que hacer referencia, quedamos de Ud.,

Atentamente,

Prof. Pedro Lecue
Jurado

Prof. Fausto Carpentiero
Jurado

Prof. Pedro Cadenas
Coordinador del Jurado

DEDICATORIA

A Rafaela Y Alirio que me han dado
todo el apoyo y la confianza…
para su culminación.

A la Sra. Naida y a toda familia
la familia Díaz por brindarme
su apoyo….

A Elena Castillo (tía) por haberme
brindado todo su apoyo ….

A Nayarit que juntos pudimos
culminar una de las mejores
etapas de nuestras vidas….

Douglas Castillo

A Dios por darme la vida y ser día a día mi guía…

A mis padres, hermanos, tíos y primos (marternos) por su apoyo y amor incondicional… En especial a mi madre, Naida por siempre estar conmigo en todo momento..

A Douglas por su paciencia, apoyo y ayudarme culminar juntos una de nuestras metas.

Nayarit Diaz

AGRADECIMIENTOS

Al ***Prof. Pedro Cadenas*** y al ***Ing. Díaz Reyes*** por su asesoramiento y orientación durante el desarrollo de este trabajo.

A los **Profs. Fausto Carpentiero** y ***Pedro Lecue*** por la ayuda brindada.

Al ***Prof. Rodolfo Grullon*** y al ***Prof. José Barrila*** por su valiosa colaboración y asesoramiento para la culminación de este proyecto.

Al ***Sr. Guilermo Rivas***, Gerente de Ventas de la empresa Venezolana de Pintura C.A., y a sus técnicos por su gran colaboración para la realización de los ensayos necesarios.

Al ***Ing. Eddy Pitta***, Gerente de la empresa Sagola, por los conocimientos, asesoría y colaboración brindados durante el desarrollo de este trabajo.

Un agradecimiento muy especial al ***Ing. Rafael Pérez*** de la Casa del Quemador, por su valiosa colaboración para la realización de las pruebas necesarias, sus consejos profesionales y ayuda prestada.

A ***nuestros familiares*** por su apoyo incondicional.

A TODOS MUCHAS GRACIAS

ÍNDICE GENERAL

	Pág
Dedicatorias	i
Agradecimientos	ii
Índice general	iii
Índice de figuras	ix
Índice de tablas	xii
Resumen	xiv
Simbología	xv
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	4
1.3 Planteamiento del problema	6
1.4 Objetivos	7
	9
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Barnices	9
2.2 Aplicación de la pintura	11
2.2.1 Espesor	11
2.2.2 Métodos de aplicación	11
2.3 Sistema de ventilación	16
2.3.1 Ventilación general	17
2.3.2 Pérdida por carga en los ductos	17
2.3.3 Forma de los ductos	20
2.4 Chimeneas	20

Pág

2.4.1 Tiro teórico 20

2.4.2 Pérdida del sistema 21

2.5 Ventiladores 22

2.5.1 Selección de los ventiladores 25

2.6 Plenum de una cámara de pintura 26

2.7 Campanas para temperaturas elevadas 26

2.8 Transferencia de calor 28

2.8.1 Radiación 28

2.8.2 Conducción 29

2.8.3 Convección 32

2.9 Quemadores 36

2.9.1 Quemadores atmosféricos 36

2.9.2 Quemadores mecánicos 37

2.10 Motores eléctricos 38

2.10.1 Motores eléctricos de corriente directa 39

2.10.2 Motores eléctricos de corriente alterna 39

2.11 Leyes de Newton 42

2.12 Rozamiento al deslizamiento 45

2.13 Diseño de impulsadores de cadena 47

2.14 Reductores de velocidad 48

CAPITULO III. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

3.1 Proceso de diseño 52

3.1.1 Formulación del problema 52

Pág

3.1.2 Análisis del problema 53

3.1.3 Búsqueda de soluciones 54

3.1.4 Fase de decisión 55

3.1.5 Especificación de la solución 56

3.2 Aplicación del proceso del diseño 57

3.2.1 Formulación del problema 57

3.2.2 Análisis del problema 57

3.2.3 Búsqueda de soluciones 58

3.2.4 Fase de decisión 70

3.2.4.1 Selección del diseño a desarrollar 70

3.2.4.2 Selección del sistema de extracción de la cabina de barnizado 74

CAPITULO IV. CALCULOS Y SELECCIONES

4.1 Selección del barniz 75

4.2 Selección de los equipos para el barnizado 77

4.2.1 Cálculo del caudal 77

4.2.2 Selección de las pistolas 78

4.2.3 Selección del sistema de suministro del barniz 78

4.2.4 Selección del regulador de presión y filtro 79

4.2.5 Selección del equipo de limpieza y mangueras 79

4.3 Tren de alimentación 80

4.3.1 Parámetros del tren de alimentación 80

4.3.2 Diagrama de cuerpo libre y las ecuaciones de equilibrio 83

Pág

4.3.3 Aceleración lineal y aceleración tangencial 89

4.3.4 Condición de volcamiento 90

4.3.5 Condición de no deslizamiento 93

4.3.6 Selección de los elementos 94

4.3.7 Especificaciones técnicas para cada tubo a barnizar 99

4.4 Precalentamiento de la superficie del tubo 100

4.4.1 Pruebas experimentales y selección de la temperatura 100

4.4.2 Requerimiento de calor debido a la sección del tubo que se calienta 103

4.4.3 Selección del aislante térmico 105

4.4.4 Pérdidas de calor a través de paredes y piso 105

4.4.5 Transferencia de calor total 107

4.4.6 Selección del quemador 108

4.4.7 Selección del ducto de suministro 108

4.4.8 Sistema de extracción 108

4.5 Cabina de barnizado 111

4.5.1 Dimensiinamiento 111

4.5.2 Extracción de la cabina de barnizado 112

4.5.3 Cálculo del caudal 113

4.5.4 Dimensionamiento de los ductos 113

4.5.5 Selección de filtros 114

4.5.6 Plenum 115

4.5.7 Pérdidas del sistema de extracción 116

4.5.8 Presión estática del ventilador 117

Pág

4.5.9 Selección de los ventiladores 118

4.6 Análisis estructural 118

4.6.1 Selección de la estructura de la cabina de precalentado 119

4.6.2 Selección de la estructura de la cabina de barnizado 123

4.6.3 Modelo estructural de la cabina de precalentamiento y la cabina de barnizado 125

CAPITULO V. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

5.1 Automatización 126

5.2 Objetivos de la automatización 126

5.3 Realización de un automatismo 127

5.4 Detectores y captadores 128

5.5 Accionadores y preaccionadores 129

5.6 Tecnologías cableadas 130

5.7 Tecnologías programadas 131

5.8 La programación 131

5.8.1 Introducción PLC 132

5.8.2 Campos de aplicación 133

5.8.3 Ventajas e inconvenientes 134

5.8.4 Funciones básicas de un PLC 136

5.9 Narrativa del sistema 137

5.9.1 Puesta a punto 132

5.9.2 Narrativa 132

5.9.3 Selección de equipos 134

Pág

CAPITULO VI. COSTOS DEL SISTEMA

6.1 Costos del sistema 141

6.2 Mantenimiento 143

6.2.1 Mantenimiento en la cabina de barnizado 143

6.2.2 Mantenimiento en la cabina de precalentamiento 144

6.2.3 Mantenimiento en el tren de alimentación 144

6.3 Higiene y seguridad 145

6.3.1 Inhalación de vapores y polvos 145

6.3.2 Contacto con la piel o los ojos 146

6.3.3 Ingestión de barnices, ajustadores o thinners 146

6.3.4 Caída del personal 146

6.3.5 Incendio y explosiones 147

CONCLUSIONES 149

RECOMENDACIONES 153

BIBLIOGRAFÍA 153

APÉNDICES

ANEXOS

Anexo 1 Pistola V-5 HVPL

Anexo 2.a Sistema de suministro del barniz

Anexo 2.b Equipo de limpieza y mangueras

Anexo 3 Sistema para la regulación de presión y filtro de línea

Anexo 4 CD Simulación

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Figura 1.1 Flujograma de producción 3

Figura 1.2 Esquema del sistema automático de granallado y pintura 4

Figura 1.3 Cabina de pintura estándar tipo cortina de agua 6

Figura 1.4 Cabina de pintura estándar tipo cortina seca 6

Figura 2.1 Aplicación de la pintura electrostática 16

Figura 2.2 Ventiladores axiales 23

Figura 2.3 Flujo de aire de un ventilador axial 24

Figura 2.4 Ventiladores centrífugos 25

Figura 2.5 Transferencia de calor a través de una pared plana 30

Figura 2.6 Círculo térmico equivalente para una pared compuesta en serie 31

Figura 2.7 Esquema de funcionamiento de un quemador atmosférico (SEDIGAS) 37

Figura 2.8 Motor asincrónico tipo jaula de ardilla 41

Figura 2.9 Rozamiento al deslizamiento 46

Figura 3.1 Bosquejo del diseño I 60

Figura 3.2 Bosquejo del diseño II 62

Figura 3.3 Bosquejo del diseño III 64

Figura 3.4.a Bosquejo del diseño IV 66

Figura 3.4.b Bosquejo del diseño IV 67

Figura 3.5 Bosquejo del diseño V 69

Figura 4.1 Esquema del recorrido 81

Pág

Figura 4.2 Vista frontal del sistema de alimentación 83

Figura 4.3 Vista isométrica del sistema de alimentación 84

Figura 4.4 Vista espacial 85

Figura 4.5 Diagrama de fuerzas en el plano X-Y 86

Figura 4.6 Diagrama de fuerzas en el plano Y-Z 87

Figura 4.7 Distribución de fuerzas a lo largo del tubo 92

Figura 4.8 Distribución de fuerzas a lo largo del tubo en voladizo 100

Figura 4.9 Montaje experimental para la obtención de la temperatura del medio para el precalentamiento de la superficie del tubo 94

Figura 4.10 Esquema de la pared compuesta de la cámara de precalentamiento 106

Figura 4.11 Área efectiva de la cámara de barnizado 112

Figura 4.12 Dimensiones del "plenum" 115

Figura 4.13 Diagrama de fuerza en la estructura de la cabina de Precalentamiento 120

Figura 4.14 Diagrama de momento en la estructura de la cabina de Precalentamiento 121

Figura 4.15 Resultado de la capacidad última de las vigas de la cabina de precalentamiento 122

Figura 4.16 Diagrama de fuerza y momento de la cabina de barnizado 124

Pág

GRAFICAS

4.1 Resultado de los diferentes tipos de barniz 76

4.2 Resultado de las pruebas para obtener la temperatura del medio para el precalentamiento de la superficie del tubo 102

4.3 Resultado de las pruebas para obtener la temperatura del medio para el precalentamiento de la superficie del tubo 102

ÍNDICE DE TABLAS

Pág

Tabla 2.1 Característica de los reductores de velocidad 49

Tabla 3.1 Cuadro de resultado de la matriz de decisión I 73

Tabla 3.2 Cuadro de resultado de la matriz de decisión II 74

Tabla 4.1 Resultado de las pruebas para la selección del barniz 75

Tabla 4.2 Especificaciones técnicas del barniz 77

Tabla 4.3 Resultado de la condición de volcamiento para el tubo de 30" 91

Tabla 4.4 Datos y condiciones para el tubo de 30" 94

Tabla 4.5 Especificaciones del motor del tren de alimentación y tren de despacho 95

Tabla 4.6 Especificaciones de las dimensiones de las cadenas y ruedas dentadas 97

Tabla 4.7 Especificaciones técnicas para cada diámetro de tubo 99

Tabla 4.8 Resultado de las pruebas para obtener la temperatura del ambiente a controlar 101

Tabla 4.9 Constantes para el número de Nusselt debida a Hilpert para cilindro circular en flujo cruzado 104

Tabla 4.10 Características del quemador para la cabina de precalentamiento 108

Tabla 4.11 Especificaciones de los filtros para el sistema de ventilación de la cabina de barnizado 114

Tabla 4.12 Ventiladores para el sistema de ventilación de la cabina de barnizado 118

Tabla 4.13 Datos para la selección de la estructura de la cabina de precalentamiento 119

Pág

Tabla 4.14 Datos para la selección de la estructura de la cabina de barnizado 123

Tabla 5.1 Especificaciones técnicas para cada tubo 138

Tabla 5.2 Tabla de señales de entrada y salida 140

Castillo Hernández, Douglas A.
Díaz Delgado, Nayarit E.

"DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATICO PARA BARNIZAR TUBOS DE ACERO DE ACUEDUCTOS, OLEODUCTOS Y GASODUCTOS"

Tutor Académico: Prof. Ing. Pedro Cadenas, Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Año 2003, 152 p

Palabras claves: sistemas de barnizado, diseño, automatización

Para el estudio de uniformidad que presenta la empresa IMOSA Tubo Acero Fabricación se evaluaron diversas posibles soluciones, y se llego al desarrollo del diseño de una sistema continuo que consta de dos etapas; la primera es una cabina de precalentamiento de la superficie del tubo y la segunda una cabina de aplicación de barniz por medio de aspersión, la alimentación del tubo a las mismas se realiza con un movimiento de rotación y traslación simultaneo, el cual fue simulado usando un software (inventor 7).

Para aumentar la eficiencia en el diseño realizado y disminuir el costo de hombre-máquina, se seleccionó un PLC, que se encargue de accionar o detener el funcionamiento del sistema según sea el caso y controlar los cambios referentes a cada diámetro de tubo.

SIMBOLOGÍA

a	Aceleración tangencial del tubo, (m/s)
a_L	Aceleración lineal del tubo, (m/s)
A_p	Área de pérdidas por paredes y piso, (m^2)
B	Presión barométrica, (mmHg)
C	Distancia central entre las ruedas dentadas, (m)
D	Distancia de la superficie del tubo a la salida del ventura, (mm)
D_1	Tiro teórico, (Pa)
d_a	Distancia en voladizo, (m)
d_b	Distancia apoyada, (m)
d_{c1}	Distancia entre el peso voladizo y la reacción 1, (m)
d_{c2}	Distancia entre el peso de soporte y la reacción 1, (m)
dm	Diámetro medio del tubo, (m)
D_g	Diámetro de paso de la rueda dentada grande, (m)
D_p	Diámetro de paso de la rueda dentada pequeña, (m)
d_{rueda}	Distancie entre ruedas, (m)
Fr	Fuerza de roce, (N)
Fr_1	Fuerza de roce que se produce en la ruda motriz, (N)
Fr_1'	Fuerza de roce que se produce en el espacio por la rueda motriz, (N)
Fr_{1x}	Fuerza de roce que se produce en la ruda motriz en el eje X , (N)
Fr_{1x}''	Fuerza de roce que se produce en el plan Y-Z, (N)
Fr_{1y}	Fuerza de roce que se produce en la ruda motriz en el eje Y, (N)
Fr_2	Fuerza de roce que se produce en la ruda loca, (N)
Fr_2'	Fuerza de roce que se produce en el espacio por la rueda loca, (N)
Fr_{2x}''	Fuerza de roce que se produce en la ruda loca en el eje X, (N)

Fr_{2y}	Fuerza de roce que se produce en la ruda loca en el plano Y, (N)
FS	Factor de servicio
I	Momento de inercia, (J)
H	Altura efectiva de la chimenea, (m)
H_r	Humedad relativa, (%)
h	Coeficiente de convección, (w/m^2k)
L	Longitud de la cadena, (m)
L_e	Longitud del tubo expuesta al precalentamiento, (m)
L_{tubo}	Longitud total del tubo, (m)
m	Masa del tubo, (kg)
M_A	Momento en el lado A, (J)
M_B	Momento en el lado B, (J)
η_e	r.p.m. de entrada
N_g	Número de dientes de la rueda dentada grande
N_p	Número de dientes de la rueda dentada pequeña
η_{rueda}	r.p.m. de la rueda
η_s	r.p.m. de salida
η_{tubo}	r.p.m. del tubo
N_{UD}	Número de Nusselt
P	Peso total del tubo, (N)
p	Paso de la cadena de la caja reductora
$paso$	Avance del tubo por vuelta
$P_{diseño}$	Potencia de diseño, (hp)
$paso$	Avance del tubo por vuelta
P_e	Perdidas total en el ducto de extracción

Pe_s	Perdidas estática del ventilador de suministro (Pa)
Pe_e	Perdidas estática del ventilador de extracción (Pa)
$P_{otencia}$	Potencia del motor, (hp)
P_r	Número de Prandtl
P_v	Peso en voladizo, (N)
P_r	Peso en soporte, (N)
P_s	Perdidas total en el ducto de suministro, (Pa)
q	Transferencia de calor por convección en la cabina de precalentamiento, (kw)
Q_P	Caudal requerido en las boquillas de aplicación del barniz, (m^3/s)
q_{total}	Transferencia de calor total, (kw)
q_x	Pérdida de calor en paredes y piso, (w)
R_{eD}	Número de Reynolds
$r_{exterior}$	Radio exterior del tubo, (m)
$r_{interior}$	Radio interior del tubo, (m)
r_m	Radio medio del tubo, (m)
r_{rueda}	Radio de la rueda, (m)
R_t	Resistencia eléctrica, (k/w)
R_1	Reacción en la rueda motriz en plano X-Y, (N)
R_1'	Reacción en la rueda motriz en el espacio, (N)
R_{1x}	Reacción en la rueda motriz en el eje X, (N)
R_{1y}	Reacción en la rueda motriz en el eje Y, (N)
R_2	Reacción en la rueda loca en plano X-Y, (N)
R_2'	Reacción en la rueda loca en el espacio, (N)
R_{2x}	Reacción en la rueda loca en el eje X, (N)

R_{2y}	Reacción en la rueda loca en el eje Y, (N)
T_a	Temperatura del aire a la salida del ventura, (ºC)
$T_{ambiente}$	Temperatura del ambiente, (ºC)
$T_{arranque}$	Tiempo que tarda el motor en arrancar, (s)
T_c	Temperatura de convección, (ºC)
t_e	Tiempo de exposición del aire caliente sobre el tubo, (s)
t_f	Temperatura de película, (k)
T_m	Temperatura media de la chimenea, (ºC)
T_o	Temperatura exterior , (ºC)
T_{total}	Tiempo que tarda el sistema en barniz todo el tubo, (min)
T_s	Temperatura en la superficie del tubo, (ºC)
t_{sec}	Tiempo de secado del barniz, (s)
T_{vuelta}	Tiempo que tarda el tubo en dar una vuelta, (min)
U	Fuerza ejercida por la rueda motriz al tubo, (N)
U'	Fuerza ejercida por la rueda motriz al tubo en el plano X-Y, (N)
U_x'	Fuerza ejercida por la rueda motriz al tubo en el eje X, (N)
U_x''	Fuerza ejercida por la rueda motriz al tubo en el eje X, (N)
U_y	Fuerza ejercida por la rueda motriz al tubo en el eje Y, (N)
V_{barniz}	Volumen necesario para el recubrimiento del tubo en una vuelta, (m^3)
V_d	Velocidad del barnizado, (m/min)
V_l	Velocidad lineal del tubo, (m/min)
ω_{rueda}	Velocidad angular de la rueda, (m/min)
ω_{tubo}	Velocidad angular del tubo, (m/min)
ΔT	Diferencia de temperatura, (‘C)
α	Ángulo entre R`$_2$ y R`$_1$ con en eje Y

β	Ángulo entre $Fr`_2$ , $Fr`_1$ y U` con en eje Y
λ	Ángulo del tren de alimentación
ψ	Ángulo entre $R`_2$ y R_2
δ	Ángulo entre Fr_2 ,Fr_1 y U con en eje X
ω	Ángulo entre R_2 y R_1 con en eje Y
σ	Ángulo entre R_2 y R_1 con en eje X
ϕ	Ángulo de la proyección del radio del tubo en plano Y-Z con el eje Z
η	Ángulo entre Fr_2 , Fr_1 y U con en eje X

Capitulo I

1.1 INTRODUCCIÓN

La empresa IMOSA Tubo Acero Fabricación C.A., industria privada venezolana fundada en el año 1.960, ubicada en Puerto Cabello, Estado Carabobo, con amplia experiencia en la fabricación de tuberías de acero con costura longitudinal y helicoidal mediante el procedimiento de soldadura eléctrica por arco sumergido, procesados estos a partir de planchas o bobinas adquiridas a reconocidas acerías, de acuerdo a los requerimientos del cliente y las especificaciones aplicables al destino para el cual se utilizarán. Consta de un área total de 330.000 m^2 y un área de construcción de 40.000 m^2. Posee una capacidad de producción entre 60.000 y 75.000 ton/año. Fabrican tubos con diámetros entre 20 pulgadas (0.508 m.) y 60 pulgadas (1.524 m.), con espesores entre ¼" hasta 1" y con una longitud de 12 m/tubo.

Su secuencia de producción empieza por el almacenamiento de planchas (costura helicoidal) de acero, seguido por el proceso de doblado de los extremos y esmerilados de bisel, por el doblado de la lámina, y luego el doblado automático tanto interno como externo del tubo, una vez terminado este proceso se realizan las inspecciones pertinentes, posteriormente se trasladan hacia el área de barnizado y finalmente a la zona de almacenado y despacho. El detalle del proceso de producción se puede apreciar en la *figura 1.1*.

Actualmente el proceso de barnizado presenta un problema en la protección de los tubos en cuanto a que la técnica empleada no es totalmente efectiva debido a que no se obtiene un cubrimiento uniforme en el barniz de los mismos, exponiéndolos al medio ambiente o a cualquier sustancia, ocasionando que la calidad del producto se vea afectada.

Por otra parte, el método utilizado arriesga la integridad física de los trabajadores en la zona de barnizado, debido a que no cumplen con las normas de seguridad industrial durante el proceso, y como este se elabora al aire libre usando la técnica de rociado con pistola industrial, las sustancias químicas que contiene el barniz resultan altamente perjudiciales tanto para la salud en general de los empleados que se encuentran en el área como los que están ubicados en las adyacencias del lugar, y al mismo tiempo ocasionando daños al medio ambiente.

Por los motivos antes mencionados la empresa se ve en la necesidad de estudiar la posibilidad de construir un diseño automático para el barnizado de tubos de acero que le proporcione un recubrimiento total del barniz en su producto para asegurar que el producto no se vea afectado por agentes externos que dañe su integridad logrando aumentar su calidad de producto para la satisfacción del cliente y que elimine los solventes y residuos de polvillos que se dispersan en el lugar durante el barnizado, para disminuir la contaminación en el ambiente.

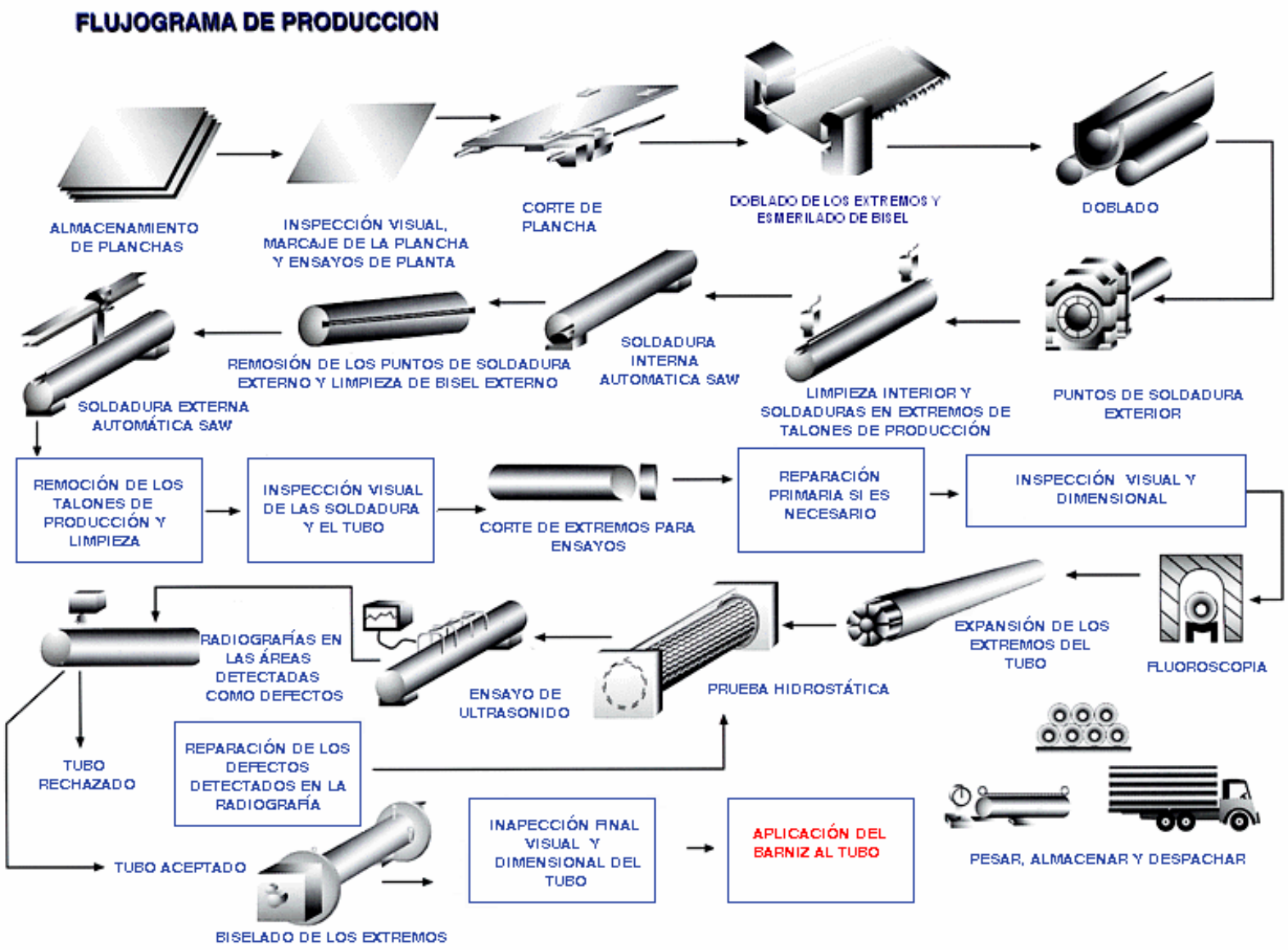


Figura 1.1.- Flujograma de producción de la empresa IMOSA Tubo Acero Fabricación

1.2 ANTECEDENTES

En el área industrial existen empresas con diversos sistemas para la aplicación de pintura sobre superficie entre las que se encuentran:

La empresa **Costa Norte Construcciones C.A**, cuenta con un sistema automatizado de granallado y pintura compuesto por una planta portátil que permite pintar elementos metálicos; tuberías de diámetro desde 2 pulgadas hasta 60 pulgadas; planchas hasta 8 pulgadas de ancho; perfiles metálicos estructurales y piezas especiales, a una velocidad de 8 m/min. Adicionalmente ofrece alto rendimiento, portabilidad y un ambiente de trabajo de máximo respeto al equilibrio ecológico (*ver figura 1.2*).

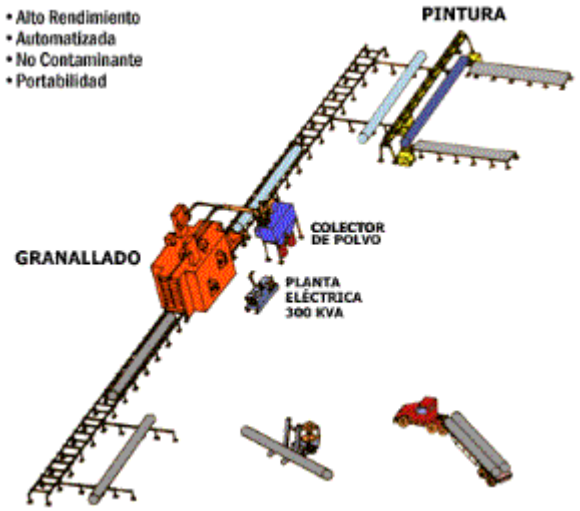


Figura 1.2- Esquema del Sistema Automatizado de Granallado y Pintura

La empresa **General Motors Venezolana (GM),** está dotada por un proceso de pinturas de 5 fases. Las primeras dos etapas el vehículo se sumerge totalmente en un tanque, seguido por una capa pulverizadora de "primer" o pintura base, que garantiza la protección contra la corrosión. Se aplica entonces otra base de capa pulverizada, de pintura de color antes de aplicar la capa transparente final que proporciona un atractivo acabado brillante, que también protege al vehículo de la intemperie, que es

particularmente importante en un clima como el de Venezuela. El proceso incluye la protección anticorrosivo mediante el fosfatizado y la electrodeposición por inmersión en ocho tanques, la aplicación de fondo para sellado de garantía antioxidante, la base de color y el acabado de brillo final. Mediante el sistema de filtrado de aire, al mismo tiempo se controlan los vapores generados por la planta, de tal manera que el aire que se expele al exterior está libre de partículas y gases nocivos.

El **Grupo Termoindustrial ECA, S.A**., utiliza en sus industrias dos tipos de cabinas para el pintado, una tipo húmedo, que es de aplicación de pintura líquida con medio de filtración tipo húmedo, son fabricadas en acero galvanizado e integran un sistema doble de captación de "overspray" (gotas esparcidas fuera de la pieza a pintar), mediante una cortina frontal de agua y una cascada posterior. Estas cabinas son ideales para la aplicación convencional o electrostática de pintura. El sistema de extracción de aire de estás cabinas, permite que las partículas de pintura no se adhieran ("overspray") a las piezas a procesar, serán arrastradas hacia las cortinas de agua, después a la zona posterior de los eliminadores en cascada, el "oversplray" será entonces arrastrado hasta el tanque de retención de agua donde se acumulará y se recolectará manualmente o en forma automática mediante un micro separador centrífugo de lados de pintura, (*ver figura 1.3*).

La otra, es tipo seco con aplicación de pintura líquida y con un medio de filtración tipo "overspray" tipo seco. Son fabricadas en acero galvanizado e incluyen un sistema de eliminación "overspray" mediante un "plenum" de filtro de alta eficiencia. El sistema de extracción de aire de estas cabinas permite que las partículas de pintura que no se adhieran ("overspray") a las piezas a procesar, serán arrastradas a través del

"plenum" posterior de filtrado, el cual está formado por capas de filtrado diseñadas para captar en las zonas iniciales las partículas de pintura de mayor tamaño y en las zonas finales las partículas de pinturas más finas, permitiendo la salida del aire limpio al medio ambiente, (*ver figura 1.4*).

Figura 1.3- Cabina de pintura estándar tipo estándar cortina de agua

Figura 1.4- Cabina de pintura tipo seco

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al observar el sistema manual utilizado actualmente en la empresa IMOSA Tubo Acero Fabricación para lograr la protección de los tubos contra la corrosión o daños sobre la superficie del mismo ocasionados sobre el medio ambiente o cualquier otra sustancia. También se puede apreciar que es un proceso lento y no cumple con el recubrimiento total de los tubos, además estos son embarcados antes que la pintura seque completamente ocasionando que el barniz se deteriore o se caiga y los tubos queden sin recubrimiento o protección, haciendo que la calidad de los mismos disminuya.

Por otra parte la técnica empleada para el barnizado de los tubos resulta perjudicial para la salud de los obreros del área y personal que trabajan a los alrededores de la zona ya que los químicos utilizados en el barniz son bastante fuertes y dañinos para la integridad de los trabajadores y a su vez produce alta contaminación al medio ambiente.

Por estas razones, surge la necesidad de diseñar un sistema de barnizado para los tubos que la empresa produce, con el objetivo de ofrecerle a la empresa una alternativa de mejora en la entrega de su producción y en la calidad de su producto y al mismo tiempo brindarle a los trabajadores del área un lugar higiénico y seguro disminuyendo en lo posible la contaminación en el medio ambiente.

1.4 OBJETIVOS

Objetivo General

Diseño de un sistema automatizado para barnizar tubos de acero para acueductos, gasoductos y oleoductos con un rango entre 20” y 60” diámetros para la empresa IMOSA Tubo Acero Fabricación.

Objetivos Específicos

- Estudiar lo métodos existentes para barnizar tubos o que cumplan con el mismo principio.
- Estudiar los elementos necesarios para la selección de los equipos a utilizar en el sistema de barnizado automático.
- Diseñar un sistema de barnizado automático que cumpla con los requisitos.

- Diseñar un sistema de extracción de partículas óptimo para las condiciones dadas.
- Elaboración de los planos necesarios y suficientes para definir los elementos y funcionamiento del sistema.
- Optimizar la movilización del producto a la salida del sistema.
- Optimizar el proceso de secado de los tubos barnizados.
- Implementar las normas de higiene y seguridad industrial que deben regir durante el proceso de barnizado.
- Seleccionar los instrumentos de control.

2.1 BARNICES

El barniz es el producto destinado a ser aplicado sobre una superficie para formar una película dura, transparente, dotada de cualidades protectoras, decorativas o propiedades técnicas decorativas.

Se denomina barniz, al producto constituido solamente por ligantes (resinas o aceites) y disolventes, mientras que la pintura consta de ligantes, pigmentos y disolventes. Por tanto, las consideraciones siguientes, sobre ligantes y disolventes, se aplican a los barnices; pero conviene recordar que para que un barniz se convierta en pintura sólo es necesario añadirle un pigmento (normas ASTM D 16-47).

En relación con los componentes fundamentales de una pintura hay que indicar que *el ligante* es el elemento no volátil, constituido por una resina y aceites naturales o sintéticos, mientras que *el pigmento* es la materia pulverulenta insoluble (dispersa en el ligante) que confiere color, poder cubriente y de relleno, y *los disolventes y diluyentes* (orgánicos y volátiles) constituyen el vehículo que facilita la aplicación y formación de la película de pintura. El ligante y los pigmentos representan la parte seca y constituyen la película definitiva (que permanece después de la evaporación de los disolventes y diluyentes) y, por tanto, la parte activa y útil de las pinturas. El ligante protege los pigmentos de los ataques de los agentes externos, mientras que éstos detienen la penetración de la luz e impiden su acción perjudicial sobre el estrato superficial. Los disolventes y diluyentes tienen la función transitoria de hacer más fluida la pintura, para poder aplicarla convenientemente; no obstante, en algunos casos, como en las pinturas al aceite (donde éste realiza a la vez las funciones de diluyente y ligante) no son necesarios. Las pinturas en polvo, más modernas, constituyen un caso similar.

Aunque en el lenguaje práctico industrial, se agrupan todos los productos mencionados bajo la denominación genérica de pinturas, éstas pueden distinguirse, según su función específica, en 3 categorías: antioxidantes, de fondo o imprimación, y de acabado o esmaltes.

La función de las *pinturas antioxidantes* consiste en dotar al objeto pintado de un poder anticorrosivo adecuado, por la presencia de productos inhibidores (cromato de zinc, óxidos de hierro, etc.) o por formación de películas impermeables, como las que se consiguen utilizando resinas epoxídicas. *Las pinturas de fondo* tienen por objetivo dotar la superficie del objeto pintado de una película lo más lisa posible, al objeto de lograr el máximo rendimiento del esmalte que se aplique posteriormente; muchas veces realizan también función anticorrosiva. El paso de la pintura al estado definitivo de película adherente y continua puede realizarse mediante procesos físicos o químicos. En el primer caso, la pintura aplicada sobre el objeto se endurece por simple evaporación de los disolventes y diluyentes, sin que el ligante sufra modificaciones de carácter químico. En el segundo, el endurecimiento es debido a reacciones químicas, favorecidas por el calor o por catalizadores. En este tipo de reacciones puede intervenir también el oxígeno contenido en el aire: es el caso de las pinturas grasas o al aceite, que contienen como ligante un aceite secante, el cual reacciona con el oxígeno y resulta endurecido.

2.2 APLICACIÓN DE LA PINTURA

El objetivo de aplicar un recubrimiento es proporcionar una película de protección y/o decoración para la superficie que se pinta. El éxito de toda aplicación de pintura depende de varios parámetros (Manual Pinturas Internacional. 2000), entre los factores más importantes figuran los siguientes:

- Espesor de la película aplicada
- Métodos de aplicación

2.2.1 Espesor de la película aplicada

Para el éxito de todo sistema de recubrimiento es esencial que se aplique una película de espesor adecuado. Una aplicación insuficiente dará lugar, en general, a un fallo prematuro, por razones obvia. Sin embargo, una sobreaplicación exagerada de recubrimientos modernos de alta tecnología puede provocar que el disolvente quede atrapado, con la consiguiente pérdida de adherencia, o que se dividan las capas de primario. El espesor de película seca recomendado para una superficie determinada dependerá del tipo de sistema de recubrimiento que se utilice y de la naturaleza de la superficie.

2.2.2 Métodos de aplicación

Rodillo

En superficies grandes y uniformes, la aplicación con rodillos es rápida, sin embargo, el control de espesor de la película no se consigue con facilidad. Se debe procurar elegir un rodillo con la longitud de pelo adecuado, dependiendo del tipo de pintura y del grado de rugosidad de la misma. Típicamente, deberán utilizarse rodillos de núcleo fenólico, que cuenten con una cubierta lisa con pelo de longitud media y deberá prelavarse la cubierta del mismo para eliminar todas las fibras sueltas, antes de usarlo.

Pistola de aire

La pistola de aplicación con aire se compone de:

- ***La boquilla de aire*** Que sirve para pulverizar la pintura y en forma de abanico el tamaño graduable la dirige hacia el objeto que se quiere pintar.
- ***El pico de fluido*** colocado detrás de la boquilla de aire regula el paso de la pintura para que salga siempre la misma cantidad, también aumenta o disminuye la alimentación y dirige la pintura hacia el aire para conseguir la atomización.
- ***La aguja de fluido*** se mueve hacia atrás al apretar el gatillo destapando el agujero del pico de fluido para que salga la pintura. Al suspender la presión sobre el gatillo, la punta de la aguja penetra en el orificio de la boquilla de aire evitando así que se obstruya con la pintura. El pico de fluido y la boquilla de aire forman un juego y deben coincidir entre sí con la máxima exactitud.
- ***El gatillo*** abre y cierra las válvulas que dan paso al aire comprimido y la pintura. Al suspender la aplicación, un resorte en la válvula de aire hace regresar el gatillo a su posición original cerrando las válvulas.
- ***La perilla de control de fluido*** sirve para aumentar o disminuir la cantidad de pintura que debe pasar por el pico de fluido.
- ***La válvula de aire*** colocada en el cuerpo de la pistola carece de graduación y se abre al apretar el gatillo para dar paso al aire que viene del compresor.
- ***La perilla de control de aire*** con ella se controla la cantidad y la presión del aire que se dirige a los cuernos o alas de la boquilla de aire para atomizar la pintura y ajustar el tamaño del abanico de aplicación.
- ***El cuerpo de la pistola*** forjado de una aleación de aluminio es liviano, compacto y resistente.

Convencional

Se trata de un método rápido de pintura de gran aceptación en el cual la pintura se pulveriza mediante un corriente de aire a baja presión. El equipo es relativamente sencillo y económico, pero es esencial utilizar la combinación correcta de volumen de aire, presión del aire y flujo de líquido, para lograr una buena atomización y una capa de pintura exenta de defectos. Si la aplicación mediante pistola convencional no se aplica correctamente, se pueden producir grandes pérdidas de pintura por sobrepulverización y rebote en la superficie, además de otros problemas como escaso flujo, derrames y salpicaduras. El principal inconveniente es que no se pueden aplicar en general en recubrimientos de gran espesor, ya que, la mayoría de las pinturas se deben diluir para alcanzar una viscosidad que permita una atomatización satisfactoria, con lo cual se pierden sus propiedades de espesor.

Recipiente a presión

Los depósitos de alimentación a presión o "recipientes de presión" se utilizan generalmente en combinación con las pistolas (convencionales) de corriente de aire a baja presión, para proporcionar un medio de aplicación de la pintura a una presión regulada desde un depósito, a través de una manguera de fluido a una pistola de pulverización. Estas pistolas funcionan de la siguiente manera:

Un trozo de manguera de aire se conecta desde el suministro de aire comprimido a un regulador de presión del aire situado en la tapa del depósito. Cierta cantidad de aire pasa a través del regulador a una presión ajustada al interior del depósito, pero la mayor

parte del aire atraviesa el regulador y llega a la pistola de pulverización a través de otro trozo de manguera que atomiza la pintura a medida que se pulveriza. El aire que ha entrado en el depósito expulsa la pintura desde éste a la pistola a través de un trozo de manguera de fluido. Para evitar que la pintura se asiente en el depósito se utiliza un agitador de accionamiento manual o un motor de aire comprimido.

Esta pistola está recomendada cuando es necesario aplicar grandes cantidades de pintura, mientras que su uso, en lugar de una copa de alimentación por aspiración o por gravedad unida a la pistola, reduce significativamente el tiempo perdido en recargar constantemente y también permite girar la pistola en cualquier ángulo para recubrir los objetos eficazmente sin derramar la pintura. Se pueden utilizar depósitos de alimentación con capacidad de hasta 20 litros para una mayor libertad de movimiento en el lugar de trabajo.

Pistola airless

A diferencia de las pistolas de aire, en la formación de la atomatización no se mezcla el aire con la pintura, de donde le viene el nombre de pintura sin aire. La pulverización se consigue obligando a la pintura a pasar por difusores o boquillas especialmente diseñadas, mediante presión hidráulica. La presión hidráulica suele generarse en una bomba accionada por aire con una elevada relación presión de flujo/presión de aire de entrada. Hay bombas disponibles con relaciones comprendidas entre 20:1 y 60:1. El “abanico” de pintura atomatizada se produce por una ranura abierta en la cara del orificio.

Las principales ventajas de la pistola airless son:

- Se pueden aplicar recubrimientos de gran espesor sin tener que diluir la pintura.
- Es posible una aplicación muy rápida, lo que supone una ventaja económica.
- En comparación con la pistola convencional, se reduce la sobrepulverización y el rebote, lo cual se traduce a una pérdida menor del material y una reducción de los peligros de polvos y vapores.

Sistema electrostático

Este sistema consiste en la carga de la pintura con altísima tensión (100.000 Volts) con polaridad negativa. Las piezas a pintar se conectan a tierra, positivo (mediante un cable de masa) por lo que se genera un campo eléctrico entre la pistola, la pieza y la pintura que provoca una gran atracción de la pieza a la pintura (con un consiguiente ahorro de pintura). El equipo está compuesto por un trafo y una pistola especial que posee la cascada generadora de alta tensión incorporada adentro (única en el mercado). Este sistema se puede aplicar tanto para pinturas liquidas como pinturas en polvo.

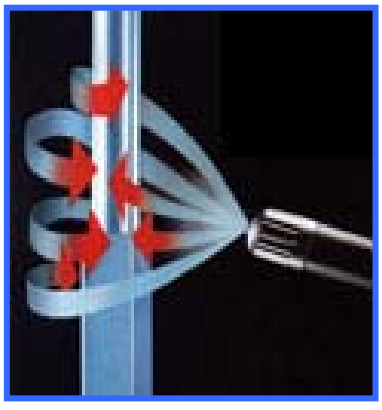
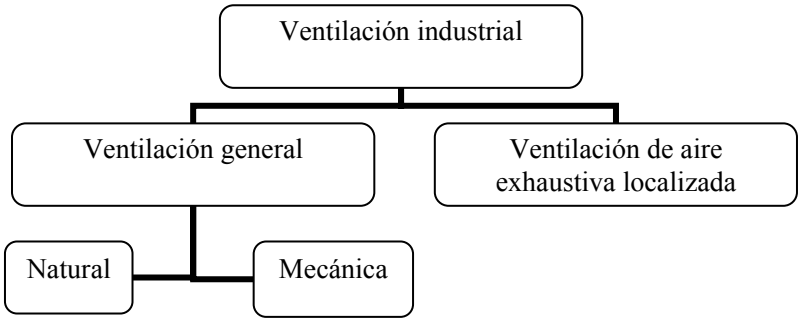


Figura 2.1.- Aplicación de la pintura electrostática

2.3 SISTEMA DE VENTILACIÓN

La ventilación se puede definir como aquella técnica que permite sustituir el aire ambiental interior de un local, considerado inconveniente por su falta de pureza, temperatura inadecuada o humedad excesiva, por otro exterior de mejores características (Manual Práctico de Ventilación. 1995).

La ventilación industrial está se divide de la siguiente manera:



2.3.1 Ventilación general

Es el intercambio constante (suministro o extracción) de aire en un área o lugar determinado. Este suministro o extracción de aire tiene como propósito generar comodidad y reducir la concentración de los contaminantes por disolución de aire contaminado con aire limpio.

Ventilación mecánica

Es aquella en la cual el flujo de aire es producido por ventiladores. Si el ventilador da aire a un espacio se llama “sistema de suministro”, si el ventilador está quitando aire de un espacio se llama “sistema de extracción”

2.3.2 Pérdidas por carga en los ductos

Cuando el aire se mueve en el interior de un ducto, lo hace en régimen turbulento, por lo tanto, encuentra resistencia debido a la fricción que se produce por el roce del aire contra las paredes del ducto y las pérdidas dinámicas que se originan por la turbulencia del aire por cambios bruscos de dirección y velocidad (AMEZQUITA, Uxmal. 1993).

Aplicando el teorema de Bernoulli se tiene la siguiente trasformación:

$$\frac{V_1^{\,2}}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^{\,2}}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \qquad (2.1)$$

sabiendo: $\gamma = g\,\rho$ y flujo incompresible

$$\frac{\rho V_1^{\,2}}{2} + P_1 + Z_1\, g\, \rho = \frac{\rho V_2^{\,2}}{2} + P_2 + Z_2 g\, \rho \qquad (2.2)$$

donde: γ es el peso específico, g la gravedad, ρ es la densidad, P la presión que marcaría un manómetro colocado en la pared de conducción.

En general cuando se trata de gases el término $Z*g*\rho$ puede despreciarse ante los demás, quedando:

$$\frac{\rho V_1^{\,2}}{2} + P_1 = \frac{\rho V_2^{\,2}}{2} + P_2 \qquad (2.3)$$

En ventilación, el término $\rho*V^2/2$ se denomina presión de velocidad o presión dinámica, el término P presión estática (PE).

El teorema de Bernoulli dice que las sumas de las presiones estáticas y dinámicas en un punto flujo arriba es igual a la suma de las presiones estáticas y dinámicas más las pérdidas por fricción y dinámica (h_f) en un punto flujo abajo. Esta perdida de de carga (h_f) es energía que se disipa en forma de calor, y además viene a ser prácticamente pérdida de presión estática. La presión estática se presenta por fricción en codos, entradas de ramales, descarga de conductos, entrada a conductos de expansión,

contracciones, entrada y salida del ventilador y otras pérdidas por fricción o turbulencia del sistema.

El cálculo de un sistema de ducto está basado en la determinación de la velocidad en los ramales, los diámetros y las pérdidas de los sistemas.

Por lo tanto las pérdidas por carga son tomadas en cuenta en tramo recto de ductos y en accesorios.

Pérdidas en tramos rectos

Por lo general en ventilación la superficie interna de los ductos varían muy poco, por ende es factible utilizar gráficos en donde se puede hallar las pérdidas en función de tres variables: diámetro caudal y velocidad. Estos gráficos fueron diseñados para aire en condiciones normales (densidad 0,075 libras por pie cúbico (1,2 Kg por metros cúbico)) que fluye en ductos limpios, circulares, hechos de lámina de acero galvanizado con una rugosidad del orden de 0,0005 pie (0,02 mm).

Las ecuaciones equivalentes a realizar son:

$$H_f = 0{,}037 \frac{V^{0{,}533}}{Q^{0{,}612}} = \frac{0{,}4937}{Q^{0{,}079} * D^{1{,}066}} = \frac{0{,}74514}{V^{0{,}079} * D^{1{,}224}} \qquad (2.4)$$

donde: H_f son las pérdidas por fricción en número de *PD* (presión dinámica) por pie del ducto, *V* la velocidad de transporte en pie por minuto, Diámetro del ducto en pulgadas, *Q* caudal en pie cúbico por minuto.

Para obtener las pérdidas total en el ducto recto se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_{td} = H_f PD\, L_{total} \qquad (2.5)$$

donde: L_{total} es la longitud total del ducto.

Pérdida por accesorios

Las pérdidas en accesorio o localizada se pueden expresar de dos maneras:

a) Por expresión matemática en función del PD.

b) Por expresión matemática en función de su longitud equivalente.

En función de PD, o presión dinámica: la expresión matemática que la rige es:

$$h_f = n * PD$$

$$PD = \left(\frac{V_m}{4005} \right)^2 \qquad (2.6), (2.7)$$

En donde "n" es el factor que al multiplicarlo por la presión dinámica que pasa por un punto, nos da la pérdida localizada. El valor de "n" va a depender del tipo de accesorio por la cual va ha pasar aire, y este valor puede ser obtenido para cada caso en el *apéndice B.20*.

2.3.3 Formas de los ductos

En ventilación por lo general, las ducterías, son circulares, y se usan rectangulares o cuadradas cuando existen problemas de espacio físico o cuando sólo transporta aire limpio después del colector. Se han desarrollado tablas en las cuales teniendo un diámetro de ductería se puede encontrar su equivalente (en referencia a su pérdida de fricción y su capacidad) en ducterías cuadradas y rectangulares.

Este cambio de una u otra formas de ducto se logra por medio de la siguiente ecuación:

$$D_{equiv} = 1{,}3 * \frac{(A * B)^{0{,}625}}{(A + B)^{0{,}25}} \qquad (2.8)$$

donde: A y B lados del ducto rectangular en pulgadas.

2.4 CHIMENEAS

El siguiente procedimiento para el dimensionamiento de chimenea es un compendio de "Chimneys, Gas Vent and Fireplace System" del manual ASHRAE Equipment Handbook (NILS, R y Rosales, R. 1996)

2.4.1 Tiro teórico

El diseño en chimenea incluye las fuerzas equilibradotes que tienden a producir flujo (tiro) contra aquellas que tienden a retrasar el flujo (rozamiento). La fuerza que produce el flujo por gravedad o chimenea de tiro natural se denomina "tiro teórico", definido como la presión estática que resulta de la diferencia de densidad entre una columna estancada de gases de combustión caliente y una columna equivalente de aire ambiente. El tiro teórico se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$D_1 = C_1 B H\left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_m}\right) \qquad (2.9)$$

donde: D_1 es el tiro teórico en Pa, C_1 es una constante de proporcionalidad cuyo valor es 0,03413, B es la presión barométrica en mmHg, H es la altura efectiva de la chimenea en m, T_o es la temperatura exterior ºC, T_m es la temperatura media de la chimenea ºC.

2.4.2 Pérdida del sistema

Las pérdidas de flujo debidas al rozamiento se pueden estimar de varios modos utilizando las fórmulas de caudal para baterías o conductos. Estas incluyen el método de longitud equivalente y el método de coeficiente de pérdida o de altura dinámica. Este

apartado trata principalmente del método del coeficiente de pérdida porque, en los sistemas de chimenea, los accesorios suelen causar la mayor parte de las pérdidas de carga del sistema y los coeficientes conservadores (que son prácticamente independientes del tamaño de la tubería) ofrecen una base adecuada para el diseño del sistema.

Una vez evaluados los coeficientes de pérdida para el sistema, la pérdida del sistema se calcula con la fórmula:

$$\Delta P = \frac{\kappa \rho_m V^2}{5{,}2\ (2g)} \qquad (2.10)$$

donde: ΔP es la pérdida del sistema en Pa, k es el coeficiente de pérdida adimensional, ρ_m es la densidad del gas de combustión en kg/m^3, V es la velocidad en la chimenea m/s, y g la constante gravitacional cuyo valor es de 9,8 kg/m^2 .

Si la pérdida del sistema sobrepasa el tiro requerido el sistema no evacuará adecuadamente los productos de combustión. En este punto mediante un proceso iterativo (aproximaciones sucesivas), se deberá aumentar o reducir los diámetros de la chimenea. Otra solución para un sistema subdimensionado es aumentar la altura de la chimenea o incluir un inductor de tiro en el sistema de chimenea.

2.5 VENTILADORES

Para mover el aire a través de sistemas de ventilación, o de extracción localizada, es necesario aportar energías para vencer las cargas del sistema. Esta energía se puede aportar en forma de convección natural o forzada. Sin embargo, en la mayoría

de los sistemas se precisa de una máquina, tal como un ventilador o un eyector, para mantener el movimiento del aire (Manual de Ventilación Industrial. 1998).

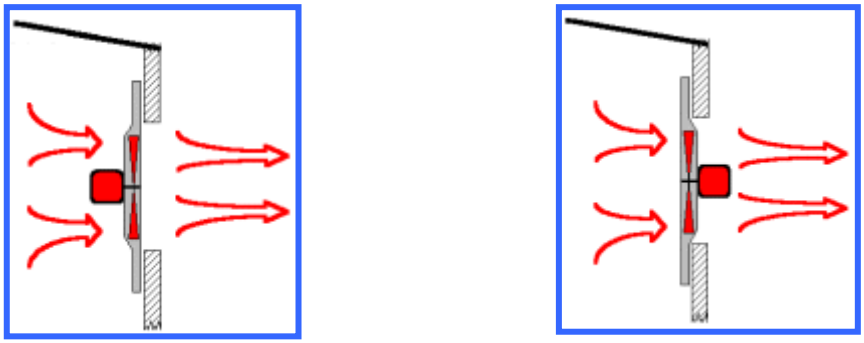
Los ***eyectores*** se utilizan cuando no es conveniente que el aire contaminado circule a través del equipo que genera el movimiento del aire.

Los ***ventiladores*** se pueden clasificar en:

Ventiladores axiales

Los ventiladores axiales están compuestos básicamente de un rotor con dos o más paletas, solidario a un eje propulsor movido por un motor que impulsa aire en una trayectoria recta, con salida de flujo helicoidal. Se clasifican en tres grupos: *helicoidales* que se emplean para mover aire de poca pérdida de carga, y su aplicación más común es la ventilación general; *tubulares* dispone de una hélice de palas estrechas de sección constante o con perfil aerodinámico montada en una carcasa cilíndrica, y generalmente no disponen de ningún mecanismo para enderezar el flujo de aire, pueden mover aire venciendo resistencias moderas(menor de 50 mmcda); y los *tubulares con directrices* en comparación con los otros ventiladores axiales tienen un rendimiento superior y pueden desarrollar presiones superiores (hasta 200 mmcda), están limitados en los casos en los que se trabaja con aire limpio.

Figura 2.2.- Ventiladores axial



Flujo del aire de hélice a motor *Flujo del aire de motor a hélice*

Figura 2.3.- Flujo de aire de un ventilador axial

Ventiladores centrífugos

Son los ventiladores cuya trayectoria del aire sigue una dirección axial a la entrada y paralela a un plano radial a la salida.

Estos ventiladores se dividen en: *ventiladores de palas curvas hacia delante* estos ventiladores requieren de poco espacio, baja velocidad periférica (800 rpm)y son silenciosos, se utilizan cuando la presión estática necesaria es de baja (menos de 70 Pa) a media (entre 70 y 3.000 Pa) tal como los que se encuentran en los sistemas de calefacción, aire acondicionado o renovación de aire, no es recomendable usarlo con aire polvoriento, ya que las partículas se adhieren a las pequeñas palas curvadas y provocan el desequilibrado del rodete.

Ventiladores centrífugos radiales es comúnmente utilizado en las instalaciones de extracción localizada en las que el aire contaminado con partículas debe circular a través del ventilador, en este tipo de ventiladores la velocidad periférica es media (entre 800 y 3600 rpm) y se utilizan en muchos sistemas de ventilación localizada que ventila aire sucio y limpio.

Ventiladores centrífugos de palas cuervas hacia atrás inclinada hacia delante, es el de mayor velocidad periférica (3600 rpm) y es el de mayor rendimiento con un nivel sonoro relativamente bajo y una característica de consumo de energía del tipo "no sobrecargable", es decir, el consumo máximo de energía se produce en un punto próximo al rendimiento óptimo de forma que cualquier cambio a partir de este punto debido a cambios de la resistencia del sistema resultará en un consumo de menor energía.

Figura 2.4.- Ventilador centrífugo

2.5.1 Selección de los ventiladores

La selección del ventilador adecuado deberá realizarse en función de criterios tales como:

- El tipo de local (industrial, comercial, vivienda ,etc.)

- La clase de fluido a transportar y sus características (aire limpio, aire + polvo, grasa, transporte de materiales, fluidos especiales, etc.
- La configuración de la instalación (local con exceso o falta de presión, ventilador en pared, en techo en conducto, posición de entradas o salidas del aire, condiciones especiales de temperatura y/o humedad)
- Caudal y presión necesarios
- Tipo de alimentación eléctrica (monofásica, trifásica, tensión, frecuencia, etc).
- Existen otros parámetros a considerar en la elección:

  Características dimencionales del ventilador

  Aptitud para la variación de velocidad

  Accesorios disponibles

2.6 PLENUM DE UNA CÁMARA DE PINTURA

El aire entra a la cámara de pintura a través de un plenum de suministro, el cual sirve de alojamiento de los filtros de difusión, los cuales deben ser acomodados en una formas tal, que el aire se distribuya uniformemente, a través de todo lo largo y ancho de la cámara de pintura (ELIAS, H.1975).

2.7 CAMPANAS PARA TEMPERATURAS ELEVADAS

El diseño de campana para procesos de temperatura elevada exige consideraciones diferentes de las empleadas en los procesos fríos. Cuando por conducción y convección, se transfiere el aire situado encina y alrededor de un proceso, cantidades significativas de calor, se producen corrientes de aire ascendente de origen térmico. El diseño de la campana y el cálculo del caudal deben tener en cuenta estas corrientes de aire de origen térmico.

Existe una pequeña calificación de campanas con estas características:

- Campanas circulares elevadas
- Campanas rectangulares elevadas
- Campanas de baja altura

Campanas de baja altura

Si la distancia entre la boca de la campana y el foco caliente no es superior al diámetro del foco, la campana puede ser considerada de baja altura. En tales condiciones el diámetro o sección recta de la columna de aire caliente tendrá aproximadamente el mismo valor que el diámetro del foco.

El caudal total para una campana circular a baja altura es:

$$Q_t = 0{,}04516\left(D_f\right)^{2{,}33}\left(\Delta T\right)^{0{,}42} \qquad (2.11)$$

donde: Q_t es el caudal total de aire en m^3/sg, D_f es el diámetro de la campana en mts. y ΔT es la diferencia de temperatura entre el foco caliente y el aire ambiente en ºC.

El caudal total para una campana rectangular es:

$$Q_t = 0{,}06\left(b\right)^{1{,}33}\left(\Delta T\right)^{0{,}42} L \qquad (2.12)$$

donde: Q_t es caudal total de aire en m^3/sg, ΔT es la diferencia de temperatura entre el foco caliente y el aire ambiente en ºC, b el ancho de la campana rectangular en mts. y L la longitud de la campana rectangular en mts.

2.8 TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es la energía de tránsito debido a una diferencia de temperatura y se puede producir por conducción, convección y/o radiación (Incropera, F. 1996).

2.8.1 Radiación

Todos los cuerpos desprenden calor en forma de energía radiante la cual se propaga en todas las direcciones en todas las direcciones como un movimiento ondulatorio en el éter aparentemente sin la intervención de las partículas materiales. (Manual del Ingeniero Mecánico de Marks. 1967).

La radiación que incide sobre un cuerpo es absorbida por él ya sea totalmente o en parte. Si dos cuerpos, uno más caliente que el otro, son colocados dentro de un reciento, se produce un intercambio de energía entre ellos. El cuerpo caliente radia más energía que la que recibe, el cuerpo más frío absorbe más que la que radia. El proceso continua aún cuando se haya establecido el equilibrio de temperatura, y cada uno de los cuerpos continua absorbiendo y radiando energía (Manual del Ingeniero Mecánico de Marks. 1967).

2.8.2 Conducción

Por conducción se dice que el calor que pasa de un cuerpo a otro que está en contacto con él o de una parte a otra de uno mismo, *sin desplazamiento de las partículas del cuerpo*. La Ley básica de la conducción de Fourier es:

$$d\,q = -\kappa\, d\,A\left[\frac{d\,t}{d\,x}\right] \qquad (2.13)$$

la cual establece que es gasto elemental *dq* de calor es proporcional al área de la sección transversal, *dA*, normal a la dirección del flujo de calor y al gradiente o caída de temperatura, *dt/dx* a lo largo de la trayectoria del flujo por conducción. En esta expresión se le llama al número κ conductibilidad térmica verdadera del material de la placa. El signo menos es necesario puesto que el calor siempre se transfiere en la dirección de la temperatura decreciente (Manual del Ingeniero Mecánico de Marks. 1967).

Pared plana

Para la conducción unidimensional en una pared plana, la temperatura es sólo función de la coordenada *x*, y el calor se transfiere exclusivamente en esta dirección. En la *figura 2.4*, una pared plana separa dos fluidos con temperaturas diferentes. La transferencia de calor ocurre por convección del fluido caliente - hacia una superficie de la pared a Ts_1, por conducción a través de la pared y por convección de la otra superficie de la pared a Ts_2 , al fluido frío $T\infty_2$ (Incropera, F. 1996).

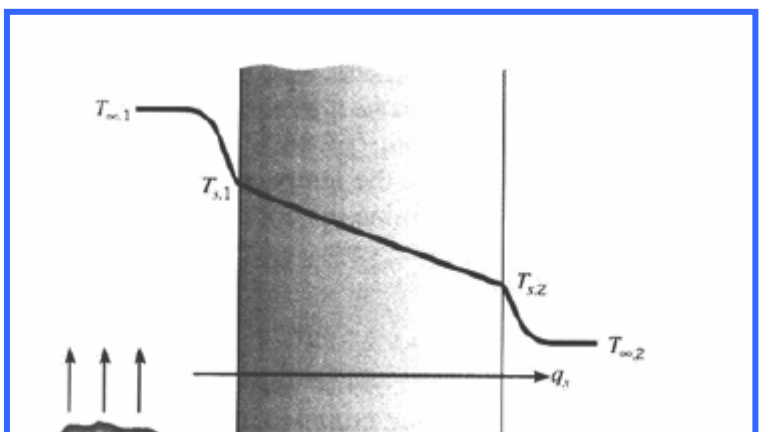


Figura 2.5.- Transferencia de calor a través de una pared plana
(Incropera, F. 1996)

Pared compuesta

Los circuitos térmicos sirven para sistemas complejos, como las *paredes compuestas*. Estas paredes incluyen cualquier número de resistencias térmicas en serie y en paralelo debido a capas de diferente material. Considere la pared compuesta en serie de la *figura 2.5*. La transferencia unidimensional de calor para este sistema se expresa como:

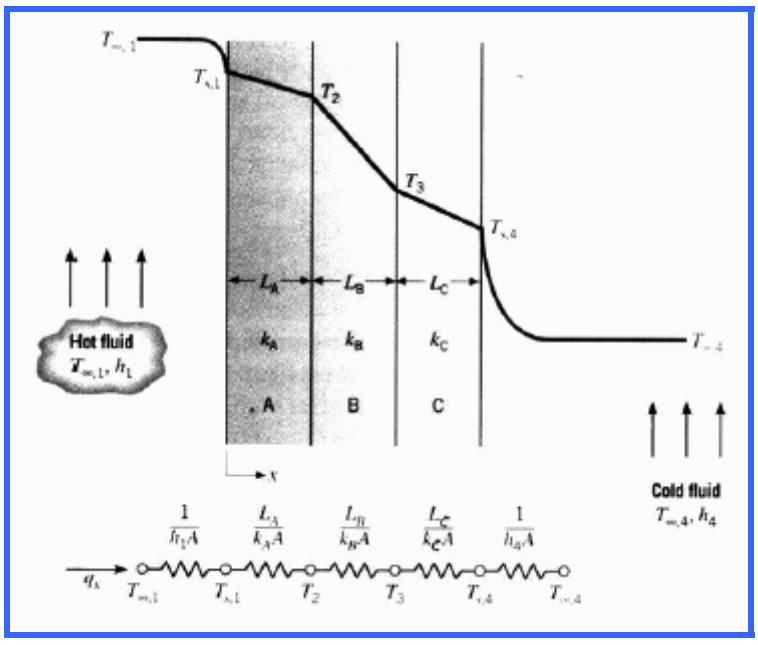


Figura 2.6.- Círculo térmico equivalente para una pared compuesta en serie (Incropera, F. 1996)

$$q_x = \frac{T\infty_1 - T\infty_4}{\sum R_t} \qquad (2.14)$$

donde $T\infty_1$ - $T\infty_2$ es la diferencia total de temperatura, y la suma incluye todas las resistencias térmicas. Por lo tanto,

$$q_x = \frac{T\infty_1 - T\infty_4}{\left[\left(\frac{1}{h_1 A}\right)+\left(\frac{L_A}{\kappa_A A}\right)+\left(\frac{L_B}{\kappa_B A}\right)+\left(\frac{L_C}{\kappa_C A}\right)+\left(\frac{1}{h_4 A}\right)\right]} \quad (2.16)$$

De manera alternativa, la transferencia de calor se relaciona con la diferencia de temperatura y la resistencia asociadas con cada elemento. Por ejemplo:

$$q_x = \frac{T\infty_1 - Ts_1}{\frac{1}{h_1 A}} = \frac{Ts_1 - T_2}{\frac{L_A}{\kappa_A A}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{L_B}{\kappa_B A}} = \cdots \quad (2.17)$$

Con sistemas compuestos conviene trabajar con un coeficiente global de transferencia de calor, U, que se define con una expresión análoga a la Ley de enfriamiento de Newton. En consecuencia.

$$q_x \equiv U\, A\, \Delta T \quad (2.18)$$

donde ΔT es la diferencia total de temperatura. El coeficiente global de transferencia de calor se relaciona con la resistencia térmica total, y de las ecuaciones *2.16* y *2.17* vemos que $UA = 1/R_{total}$ A. de aquí que la pared compuesta de la figura anterior:

$$U = \frac{1}{R_{total} A} = \frac{1}{\left[(1/h_A)+(L_A/\kappa_A)+(L_B/\kappa_A)+(L_C/\kappa_C)+(1/h_A)\right]} \qquad (2.19)$$

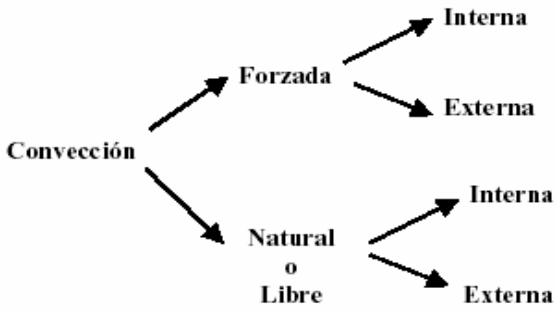
En general, se puede escribir

$$R_{total} = \sum R_t = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{UA} \qquad (2.20)$$

2.8.3 Convección

Es el proceso de propagación de energía en medio sólido, liquido o gaseoso, mediante comunicación molecular directa o entre cuerpos sujeta a una diferencia de temperatura (Incropera, F. 1996).

La transferencia de calor por convección se presenta en el diagrama esquemático que se presenta a continuación:



Clasificación de la convección

En la *convección natural* la fuerza motriz procede de la variación de densidad en el fluido como consecuencia del contacto con una superficie a diferente temperatura, lo que da lugar a unas fuerzas ascensionales; el flujo próximo a la superficie adquiere una velocidad debida únicamente a esta diferencia de densidades.

La *convección forzada* tiene lugar cuando una fuerza motriz exterior mueve un fluido con una velocidad U_f sobre una superficie que se encuentra sobre una temperatura T_s, mayor o menor que la del fluido T_c. Con la velocidad de fluido U_f es mayor que en la convección natural, se transfiere, por lo tanto, una mayor cantidad de calor para una determinada temperatura.

Independientemente de que la convección sea natural o forzada, la cantidad de transferencia de calor q_c se puede escribir (Ley de Newton):

$$q_c = h_c\, A\left(T_c - T_s\right) \qquad (2.21)$$

donde:

h_c …. Conductancia convectiva térmica unitaria o el coeficiente de transferencia de calor por convección, $W/m^{2\,\circ}K$.

A …. Área superficial en contacto con el fluido, m^2

T_s …. Temperatura de la superficie, K.

T_c …. Temperatura del fluido no perturbado, K

Correlaciones Empíricas

Número de Nusselt

$$Nu = \frac{h\,L}{\kappa_f} = + \frac{\partial T^*}{\partial y^*} \Big/ y^* \qquad (2.22)$$

Éste parámetro es igual al gradiente de temperatura adimensional en la superficie y proporciona una medida de la transferencia de calor por convección que ocurre en la superficie. Entonces se tiene que para una geometría establecida,

$$Nu = f\left(x^*, R_{eL}, P_r\right) \qquad (2.23)$$

La ecuación anterior implica que para una geometría dada, el número de Nusselt debe ser alguna función de x^*, R_{eL} y P_r. Si se conociera esa función, serviría para calcular el valor de Nu para diferentes fluidos y para diferentes valores de V y L. del conocimiento de Nu se puede encontrar el coeficiente de convección local h y entonces se calcula el flujo de calor local a partir de la ecuación 1.1. (Incropera, 1.996).

Número de Nusselt para cilindros circulares y flujo cruzado

Correlación empírica debida a Hilpert

$$Nu = \frac{h\,D}{\kappa} = C\,R_{eD}{}^{m}\,P_r{}^{1/3} \qquad para\ P_r \geq 0{,}6 \qquad (2.24)$$

La ecuación anterior también es útil para el flujo de gas sobre cilindros de sección trasversal no circular. Todas las propiedades se evalúan a la temperatura de película (T_f) que es la temperatura madia de la capa límite: $T_f = \frac{T_c + T_s}{2}$ *(2.25)*

Correlación empírica debida a Zhukauskas

$$Nu = C\,R_{eD}{}^{m}\,P_r{}^{n}\left(\frac{P_r}{P_{rs}}\right)^{1/4} \qquad para:\ 0{,}7 \leq P_r \leq 500 \qquad (2.26)$$

$$1 \leq R_{eD} \leq 10^6$$

Todas las propiedades se evalúan en T_c excepto P_{rs} que se evalúa en T_s

Correlación empírica debida a Churchill y Bernstein

$$Nu = 0{,}3 + \frac{0{,}62\, R_{eD}^{1/2}\, P_r^{1/3}}{\left[1+(0{,}4/P_r)^{2/3}\right]}\left[1+\left(\frac{R_{eD}}{282.000}\right)^{5/8}\right]^{4/5} \qquad (2.27)$$

$$\text{para}: \quad P_r \le 10, \quad n = 0{,}37$$
$$P_r \ge 10, \quad n = 0{,}36$$
$$P_r\, R_{eD} \ge 0{,}2$$

Todas las propiedades se evalúan a la temperatura de película (T_f).

2.9 QUEMADORES

Son los equipos donde se realiza la combustión, por lo tanto deben contener las tres vértices del triángulo de combustión es decir, que deben lograr la mezcla íntima del combustible con el aire y además proporcionar la energía de activación (manual de gas y sus aplicaciones. 1991). Por la forma en que toma el aire de combustión se divide en:

- Quemadores atmosféricos
- Quemadores mecánicos

2.9.1 Quemadores atmosféricos

Únicamente se emplean en combustible gaseoso. Una parte del aire necesario para la combustión (aire primario) se induce en el propio quemador por el chorro de gas sólido de un inyector (efecto ventura); el aire restante (aire secundario) se obtiene por

difusión del aire ambiente alrededor de la llama. En este tipo de quemadores se tiene combustiones de altos índices de exceso de aire.

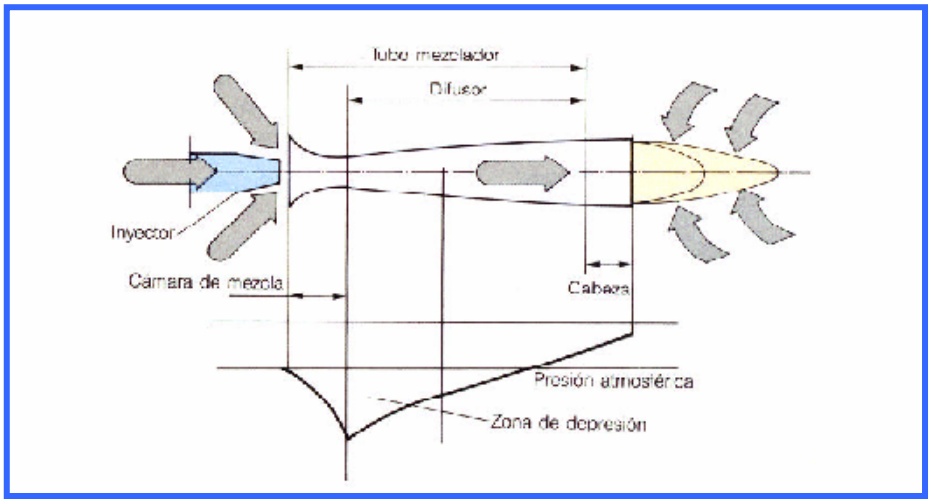


Figura 2.7.- Esquema de funcionamiento de un quemador atmosférico (SEDIGAS)

La principal ventaja de este sistema es su simplicidad y bajo costo.

La energía de activación se logra mediante llama piloto, que debe estar encendida permanentemente, o con encendidos automáticos (electrónicos, tren de chispas, etc.). la regulación del gas se obtiene por variación de la presión en el inyector (abriendo y cerrando progresivamente la válvula de gas); esto permite que el quemador pueda ser modulante con relativa facilidad.

2.9.2 Quemadores mecánicos

En estos quemadores el aire de combustión es introducido mediante un ventilador, existen diversos sistemas para lograr la mezcla del aire con el combustible. En el caso del gas, el combustible se introduce mediante los inyectores, aprovechando la propia presión de suministro. En los combustibles líquidos se utilizan diversos sistemas para su pulverización, de modo que se formen microgotas de combustible que facilitan su mezcla con el aire. El tipo màs extendido es el de pulverización mecànica.

Estos quemadores se fabrican desde pequeñas hasta muy altas potencias. La combustión puede ajustarse actuando sobre el gasto de combustible, sobre la cantidad de aire a impulsar y sobre los elementos que producen la mezcla; por lo que es posible obtener rendimiento de combustión muy altos.

Por el número de escalones de potencia, se distinguen los siguientes tipos de quemadores: *de una mecha* (bajas potencias), *de varias mechas* (potencias intermedias o altas) y *mudulantes* (amplia gamas de potencia y rendimiento elevado).

2.10 MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos son máquinas utilizadas para transformar energía eléctrica en mecánica. Son los motores utilizados en la industria, pues combinan las ventajas del uso de la energía eléctrica (bajo, costo, facilidad de transporte, limpieza y simplicidad de la puesta en marcha, etc.) con una construcción relativamente simple, costo reducido y buena adaptación a los mas diversos tipos de carga. De acuerdo a la fuente de tensión que alimente al motor, podemos realizar la siguiente clasificación:

- Motores de corriente directa (DC)

- Motores de corriente alterna (AC)

2.10.1 Motores de Corriente Directa (DC)

Se utilizan en casos en los que es de importancia el poder regular continuamente la velocidad del eje y en aquellos casos en los que se necesita de un torque de arranque elevado. Entre las los casos que es imprescindible utilizar corriente continua, se encuentran los trenes y automóviles eléctricos, los motores para utilizar en el arranque y en los controles de automóviles, los motores accionados a pilas o baterías, etc.

2.10.2 Motores de Corriente Alterna (AC)

Bajo el título de motores de corriente alterna podemos reunir a los siguientes tipos de motor.

- Motor Sincrono
- El Motor Asíncrono o de Inducción

El Motor Sincrono

Este motor tiene la característica de que su velocidad de giro es directamente proporcional a la frecuencia de la red de corriente alterna que lo alimenta. Por ejemplo si la fuente es de 60Hz, si el motor es de dos polos, gira a 3600 RPM; si es de cuatro polos gira a 1800 RPM y así sucesivamente. Este motor o gira a la velocidad constante dada por la fuente o, si la carga es excesiva, se detiene.

El motor sincrono es utilizado en aquellos casos en que los que se desea velocidad constante. En nuestro medio sus aplicaciones son mínimas y casi siempre están relacionadas con sistemas de regulación y control mas no con la transmisión de potencias elevadas.

El Motor Asincrónico o de Inducción

Son los más utilizados a nivel industrial. Estos motores tienen la peculiaridad de que no precisan de un campo magnético alimentado con corriente continua como en los casos del motor de corriente directa o del motor síncronico.

Una fuente de corriente alterna (trifásica o monofásica) alimenta a un estator. La corriente en las bobinas del estator induce corriente alterna en el circuito eléctrico del rotor (de manera algo similar a un transformador) y el rotor es obligado a girar. De acuerdo a la forma de construcción del rotor, los motores asíncronicos se clasifican en:

- Motor Asincrónico de Rotor Bobinado
- Motor Asincrónico tipo Jaula de Ardilla

Motor Asincrónico de Rotor Bobinado

Se utiliza en aquellos casos en los que la transmisión de potencia es demasiado elevada (a partir de 200 kW) y es necesario reducir las corrientes de arranque. También se utiliza en aquellos casos en los que se desea regular la velocidad del eje.

Su característica principal es que el rotor se aloja un conjunto de bobinas que además se pueden conectar al exterior a través de anillos rozantes. Colocando resistencias variables en serie a los bobinados del rotor se consigue suavizar las corrientes de arranque . De la misma manera, gracias a un conjunto de resistencias conectadas a los bobinados del rotor, se consigue regular la velocidad del eje. Un detalle interesante es que la velocidad del eje nunca podrá ser superior a la velocidad correspondiente de un motor síncrono.

Motor Asincrónico tipo Jaula de Ardilla

Es el motor más utilizado a nivel industrial por ser relativamente más barato, eficiente, compacto y de fácil construcción y mantenimiento.

Siempre que sea necesario utilizar un motor eléctrico, se debe procurar seleccionar un motor asíncronico tipo jaula de ardilla y si es trifásico mejor.

Por otro lado, la única razón para utilizar un motor monofásico tipo jaula de ardilla en lugar de uno trifásico será porque la fuente de tensión a utilizar sea también monofásica. Esto sucede en aplicaciones de baja potencia.

La diferencia con el motor de rotor bobinado consiste en que el rotor esta formado por un grupo de barras de aluminio o de cobre en formas similar al de una jaula de ardilla.

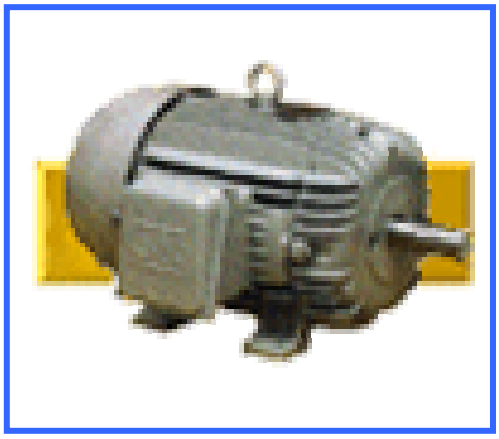


Figura 2.8.- Motor Asincrónico tipo jaula de ardilla

2.12 LEYES DE NEWTON

Primera Ley o Ley de Inercia

La primera ley de Newton, conocida también como Ley de inercia, nos dice que si sobre un cuerpo no actúa ningún otro, este permanecerá indefinidamente moviéndose en línea recta con velocidad constante (incluido el estado de reposo, que equivale a velocidad cero) (Alcaraz, J.M. 1999).

Como sabemos, el movimiento es relativo, es decir, depende de cual sea el observador que describa el movimiento. Así, para un pasajero de un tren, el interventor viene caminando lentamente por el pasillo del tren, mientras que para alguien que ve pasar el tren desde el andén de una estación, el interventor se está moviendo a una gran velocidad. Se necesita, por tanto, un *sistema de referencia* al cual referir el movimiento. La primera ley de Newton sirve para definir un tipo especial de sistemas de referencia conocidos como **Sistemas de referencia inerciales**, que son aquellos sistemas de referencia desde los que se observa que un cuerpo sobre el que no actúa ninguna fuerza neta se mueve con velocidad constante.

En realidad, es imposible encontrar un sistema de referencia inercial, puesto que siempre hay algún tipo de fuerzas actuando sobre los cuerpos, pero siempre es posible encontrar un sistema de referencia en el que el problema que estemos estudiando se pueda tratar como si estuviésemos en un sistema inercial. En muchos casos, suponer a un observador fijo en la Tierra es una buena aproximación de sistema inercial.

Segunda Ley o Principio Fundamental de la Dinámica

La primara Ley nos dice que para que un cuerpo altere su movimiento es necesario que exista *algo* que provoque dicho cambio. Ese *algo* es lo que conocemos

como ***fuerzas***. Estas son el resultado de la acción de unos cuerpos sobre otros (Alcaraz, J.M. 1999).

La Segunda ley de Newton se encarga de cuantificar el concepto de fuerza. Nos dice que *la fuerza neta aplicada sobre un cuerpo es proporcional a la aceleración que adquiere dicho cuerpo*. La constante de proporcionalidad es la *masa del cuerpo*, de manera que podemos expresar la relación de la siguiente manera: $F = m\,a$ *(2.28)*

Tanto la fuerza como la aceleración son magnitudes vectoriales, es decir, tienen, además de un valor, una dirección y un sentido. De esta manera, la Segunda ley de Newton debe expresarse como: $\mathbf{F} = m\,\mathbf{a}$

La expresión de la Segunda ley de Newton que hemos dado es válida para cuerpos cuya masa sea constante. Si la masa varia, como por ejemplo un cohete que va quemando combustible, no es válida la relación $\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$. Vamos a generalizar la Segunda ley de Newton para que incluya el caso de sistemas en los que pueda variar la masa.

Para ello primero vamos a definir una magnitud física nueva. Esta magnitud física es la **cantidad de movimiento** que se representa por la letra **p** y que se define como el producto de la *masa de un cuerpo por su velocidad*, es decir: $\mathbf{p} = m \cdot \mathbf{v}$ *(2.29)*

La cantidad de movimiento también se conoce como *momento lineal*. Es una magnitud vectorial y, en el *Sistema Internacional* se mide en **Kg·m/s** . En términos de

esta nueva magnitud física, la Segunda ley de Newton se expresa de la siguiente manera:

La Fuerza que actúa sobre un cuerpo es igual a la variación temporal de la cantidad de movimiento de dicho cuerpo, es decir, $\mathbf{F} = d\mathbf{p}/dt$ *(2.30)*

De esta forma incluimos también el caso de cuerpos cuya masa no sea constante. Para el caso de que la masa sea constante, recordando la definición de cantidad de movimiento y que como se deriva un producto tenemos:

$$\mathbf{F} = d(m\cdot\mathbf{v})/dt = m\cdot d\mathbf{v}/dt + dm/dt\cdot\mathbf{v} \qquad (2.31)$$

Como la masa es constante : $dm/dt = 0$ y recordando la definición de aceleración, nos queda $\boldsymbol{F} = m\,\boldsymbol{a}$, tal y como habíamos visto anteriormente.

Otra consecuencia de expresar la segunda Ley usando la cantidad de movimiento es lo que se conoce como **Principio de conservación de la cantidad de movimiento**. Si la fuerza total que actúa sobre un cuerpo es cero, la Segunda ley de Newton nos dice que:

$$0 = d\mathbf{p}/dt \qquad (2.32)$$

es decir, que la derivada de la cantidad de movimiento con respecto al tiempo es cero. Esto significa que la cantidad de movimiento debe ser constante en el tiempo (*la derivada de una constante es cero*). Esto es el **Principio de conservación de la cantidad de movimiento**: *si la fuerza total que actúa sobre un cuerpo es nula, la cantidad de movimiento del cuerpo permanece constante en el tiempo*.

Tercera Ley o Principio de acción-reacción

Tal como comentamos en al principio de la Segunda Ley de Newton las fuerzas son el resultado de la acción de unos cuerpos sobre otros (Alcaraz, J.M. 1999).

La *tercera ley*, también conocida como **Principio de acción y reacción** nos dice que *si un cuerpo A ejerce una acción sobre otro cuerpo B, éste realiza sobre A otra acción igual y de sentido contrario*.

Hay que destacar que, aunque los pares de acción y reacción tenga el mismo valor y sentidos contrarios, **no se anulan** entre si, puesto que **actúan sobre cuerpos distintos**.

2.13 ROZAMIENTO AL DESLIZAMIENTO

Una rueda circular de masa *m* y radio *R* se apoya sobre un plano inclinado respecto al plano horizontal y el coeficiente de rozamiento entre la rueda y el plano es de μ.. Se trata de un caso dinámico del sólido rígido con movimiento plano, por lo tanto hay que aplicar las ecuaciones que se derivan de los teoremas de la cantidad de movimiento y del momento cinético àxico:

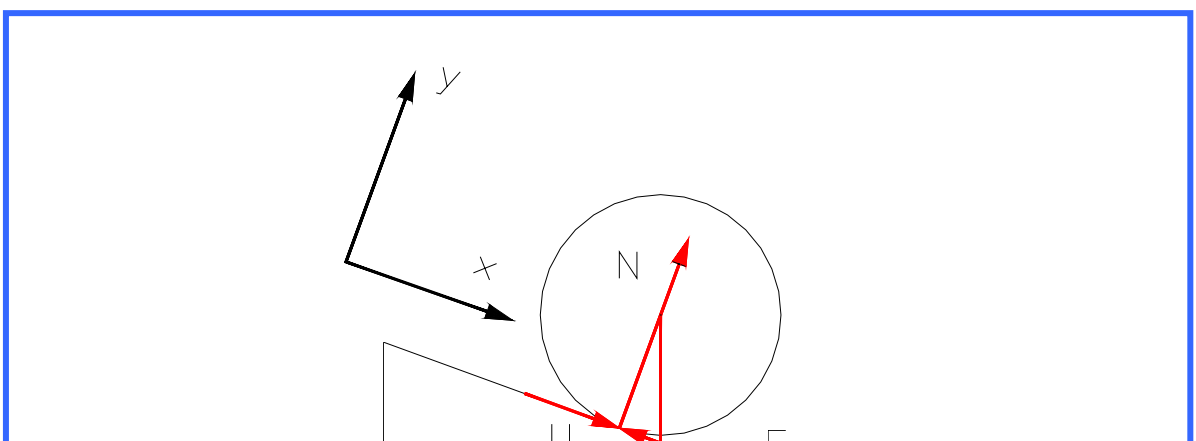


Figura 2.9.- Rozamiento al deslizamiento.

$$\sum Fx = m\, a_x$$
$$U - F_r + P\, sen\left(\phi\right) = m\, a_x \qquad (2.33)$$

$$\sum Fy = 0$$
$$N - \cos\left(\phi\right) P = 0 \qquad (2.34)$$

$$\sum M_z = I\, \alpha$$
$$R\left(U - F_r\right) = I\alpha \qquad (2.35)$$

donde *x, y* representan un par de ejes perpendiculares sobre el plano; *U, P* las componentes de la resultante de las fuerzas aplicadas; *N, F_r* las componentes de la resultante de las fuerzas de reacción (*N* es la componente normal y F_r es la fuerza de rozamiento); *I* el momento de inercia respecto al eje perpendicular al plano desde C (centro de la rueda) y M_z el momento áxico de las fuerzas aplicadas.

2.14 DISEÑO DE IMPULSORES DE CADENA

Los pasos para realizar el diseño de un impulsador de cadena son (MOTT, R. 1992):

1) Especificar el factor de servicio (SF) que depende del tipo impulsador y del tipo de carga y calcular la potencia de diseño:

$$Potencia\ de\ diseño = SF * Potencia \qquad (2.34)$$

2) calcular la relación de velocidades que se desea:

$$\text{Re}\,lación = \frac{n_{entrada}}{n_{salida}} \qquad (2.35)$$

3) Consultar las tablas correspondientes a capacidad de potencia, seleccionar el paso de la cadena, los tramos que se van a usar y con la velocidad de entrada (n_{salida}) se obtiene el número de dientes de la rueda dentada pequeña (N_1) y el tipo de lubricación que debe realizar.

4) Calcular el número de dientes que se requieren en la rueda dentada grande (N_2):

$$N_2 = N_1 * relación \qquad (2.36)$$

5) Calcular los diámetros de paso de las ruedas dentadas con N dientes para una cadena con un paso *p*:

$$D = \frac{p}{sen\left(\frac{180}{N}\right)} \qquad (2.37)$$

6) Especifique la longitud de la cadena que debe ser un múltiplo completo del paso y se recomienda que sea un número par de pasos:

$$L = 2C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 + N_1)^2}{4\pi^2 C} \qquad (2.38)$$

7) Calcular la distancia central teóricamente exacta para una longitud particular de cadena, en pasos:

$$C = \frac{1}{4}\left[L - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{\left[l - \frac{N_2 + N_1}{2} \right]^2 - \frac{8(N_2 + N_1)^2}{4\pi^2 C}} \right] \qquad (2.39)$$

3.1 PROCESO DE DISEÑO

El proceso de diseño abarca las actividades y eventos que transcurren entre el conocimiento de un problema y la especificación de una solución del mismo, que sea funcional, económica y satisfactoria de algún modo (Krick, E. 1982).

El proceso según el cual el ingeniero aplica sus conocimientos, aptitudes y puntos de vista a la creación de dispositivos, estructuras y procesos se rige a través de los siguientes pasos:

- Formulación del problema
- Análisis del problema
- Búsqueda de soluciones
- Fase decisión
- Especificación de una solución

3.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los objetivos principales de la formulación de un problema, son definir en términos generales en que consiste, determinar si merece nuestra atención y obtener una buena perspectiva del problema, cuando sea más oportuna y fácil de resolver.

En esta primera fase, el diseñador debe establecer un enunciado breve y carente de detalles del problema que se desea resolver, tanto como las circunstancias lo permitan, para obtener así una vista panorámica y poder buscar soluciones de forma productiva y directa.

3.1.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

El análisis nos permite conocer más de cerca el problema, aclarar lo que se conoce y obtener una definición del mismo en detalle, porque aunque pueda parecer una etapa fastidiosa y árida en el proceso de diseño, es donde se produce la mayor parte del aprendizaje.

Para la realización del análisis se debe definir claramente:

- La información que se tiene disponible.
- Los alcances esperados.
- Las limitaciones y restricciones que tiene de antemano el problema a solucionar, es decir, las impuestas por el cliente, superiores y el público.
- Las restricciones ficticias producidas por el punto de vista y prejuicios del diseñador.
- Los parámetros que el diseñador puede variar para obtener una solución óptima, tales como: costos, facilidad de mantenimiento, operabilidad de la solución, entre otros.
- Los parámetros que considerará el diseñador para la búsqueda de soluciones.

Se debe evitar pensar en mejoras al método actual, evadiendo así una definición del problema y que en el análisis de algunas soluciones se invierta demasiado tiempo.

3.1.3 BÚSQUEDA DE SOLUCIONES

En esta fase del proceso del diseño se buscan activamente las soluciones posibles y se inicia una verdadera búsqueda o información en la mente y en el mundo que nos rodea.

El diseñador debe en esta etapa, generar la mayor cantidad de alternativas posibles de solución para el sistema, sin importar las sugerencias en apariencias tontas, ya que pueden hacer surgir nuevas perspectivas y poner otras soluciones más prácticas y realistas.

Hay dos formas de buscar soluciones, la primera consiste en explorar la memoria del ingeniero, consultar libros, informes técnicos y aplicar prácticas existentes. La segunda son las ideas propias que son producto del proceso mental llamado invención que es la facultad de una persona para idear o crear soluciones valiosas.

Se debe tratar de obtener la mayor cantidad y variedad de posibles soluciones entre las que se pueda seleccionar la búsqueda de la más satisfactoria.

Hay algunos métodos para acentuar o inspirar la resolución creativa del problema (Dixon, J. 1970), que pueden ayudar muchas veces a obtener soluciones originales, entre los que se encuentran:

- **Concentración en las variables de solución**, que consiste en considerar todas esas variables por separado y tratar de encontrar muchas posibilidades por cada una, combinándolas después para encontrar así la solución más conveniente.
- **Las analogías**, consiste en intentar establecer similitudes entre el problema en cuestión y otros contextos físicos.

- **Lluvia de ideas**, en este método se necesita un grupo entre 6 y 15 personas, donde cada participante debe aportar una idea, en la cual va a registrar y examinar todas las sugerencias, sin importar que tan impropias puedan parecer, al culminar se obtendrán un grupo de ideas y se apoyan entre sí.
- **Sinónimos**, consiste en definir el verbo de acción en el enunciado del problema y luego enunciar tantos sinónimos de ese verbo como sea posible.

3.1.4 FASE DE DECISIÓN

En esta parte se busca reducir las alternativas de solución, eliminando las opciones deficientes o de menos calidad a través de procedimientos relativamente rápidos y sencillos, se añaden más detalles a las posibilidades restantes, las que se evaluarán mediante métodos más refinados para encontrar la solución óptima (Krick, E. 1982).

Existen cuatro pasos para llegar a una inteligente decisión del diseño:

- Seleccionar los criterios y seleccionar su importancia relativa.
- Predecir el funcionamiento de las soluciones alternativas con respecto a tales criterios.
- Comparar las opciones sobre la base de los funcionamientos antes mencionados.
- Hacer una elección.

Método de la matriz de decisión

Para la selección de la solución "ideal" generalmente se aplica un análisis comparativo entre los diseños disponibles. Una matriz de decisión (Dixon, J. 1970) es de gran ayuda ya que descompone el problema en elementos más tratables y obliga al ingeniero a considerar el valor relativo de cada diseño en muchas categorías, se puede entonces, tomar una decisión más informada en lo referente al "mejor" diseño.

Éste método consiste en considerar los parámetros más importantes del problema. A cada parámetro se le asigna un Factor de Ponderación que mide su importancia relativa, luego con números que jerarquizan cada diseño del *1* al *5* (5 excelente, 4 muy bien, 3 bien, 2 desfavorable, 1 muy desfavorable), se realiza una multiplicación y los productos obtenidos se suman para cada caso, el resultado es la valorización de cada sistema.

3.1.5 ESPECIFICACIÓN DE UNA SOLUCIÓN

En esta fase se determina las características físicas exactas de la solución seleccionada, tales como medidas, materiales, etc; características del funcionamiento, presentándolos de forma clara y de fácil comprensión para las personas que deberán construirlas y operarlas (Krick, E. 1982).

Este paso incluye usualmente:

- Los planos, que son dibujos de la solución cuidadosamente realizados, detallados y acotados.

- El informe técnico, que describe las características físicas exactas de la solución seleccionada, tales como medidas, materiales, etc; características del funcionamiento y proporciona una evaluación cabal de ella, así como también describe la propuesta con palabras, diagramas y croquis.

3.2 APLICACIÓN DEL PROCESO DEL DISEÑO

3.2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el proceso de barnizado de la empresa Tubo Acero Fabricación C.A., se presenta una problemática en la protección de los tubos ya que la técnica empleada no es totalmente efectiva debido a que no se obtiene un total recubrimiento de barniz en los mismos, además el porcentaje de pérdidas del producto es muy elevado. Por lo antes mencionado la empresa se ve en la necesidad de optimizar el proceso de barnizado de los tubos que ellos producen, para asegurar que este no se vea perjudicado por agentes externos que dañen su integridad logrando aumentar la calidad de los tubos para la satisfacción del cliente.

3.2.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Para el diseño del sistema de barnizado para tubos de acero, se tienen las siguientes limitaciones y/o restricciones impuestas por la empresa y el espacio físico disponible:

- El sistema debe permitir barnizar tubos de acero con diámetros entre 20” y 60”.

- Debe barnizar un tubo a la vez.
- Debe existir un total recubrimiento de los tubos al salir de la zona de barnizado.
- Debe aplicarse el barniz solo en la parte exterior del tubo.
- Debe mantener las propiedades físicas y mecánica de los tubos.
- Debe ser de fácil operación y mantenimiento, así como su instalación.
- Debe ser de aplicación rápida, para evitar el retraso en la línea de producción.
- Debe absorber los polvos disueltos en el aire durante la aplicación del barniz.
- Dimensiones del área de trabajo:

  Ancho: 7.0 metros

  Largo: 16.5 metros

  Altura: 6.5 metros

- El sistema debe ser automatizado.
- El barniz aplicado debe ser económico.

3.2.3 BÚSQUEDA DE SOLUCIONES

Los diseños obtenidos como posibles soluciones del problema, después de terminado el proceso de evaluación y comparación, combinación y recombinación de todas las ideas generadas utilizando el Método de Lluvia de ideas, son los siguientes:

DISEÑO I

El sistema es alimentado por rodillos, los tubos son trasladados, uno a la vez, en forma horizontal al área de barnizado. La aplicación del barniz se realiza utilizando el método de rociado a través de una pistola de aire con recipiente a presión, conectada a un carro guía junto con un sistema de secado de aire caliente, la cual se trasporta por una carrilera a lo largo del tubo para aplicarle el barniz a medida que este se encuentra sobre un conjunto de giratubos permitiendo que el tubo gire sobre su eje. Al terminar la aplicación el tubo es reubicado por medio de volcadores a la zona de carga.

En el carro guía junto con el sistema de barnizado se encuentra una campana localizada, que permite la extracción de los polvos y sustancias que se producen durante la aplicación del barniz (ver figura 3.1).

Ventajas

- Los costos de inversión y mantenimiento del sistema no son elevados.
- Permite disminuir la contaminación ambiental en el área de trabajo por los gases, polvos y demás sustancias disueltas al momento de la aplicación del barniz.
- Es de fácil mantenimiento y operación.

Desventajas

- El tiempo de aplicación y secado del barniz es lento provocando retraso a la línea de producción de la planta.

- El tiempo de secado del barniz no es suficiente, lo que afectará la uniformidad del recubrimiento exponiendo a los tubos a agentes externos que lo puedan perjudicar.
- Dimensiones del área de aplicación del barniz.
- No se tiene un ambiente controlado para la aplicación y el secado del barniz.
- Pérdidas de barniz elevada por pulverización del sistema de aplicación.

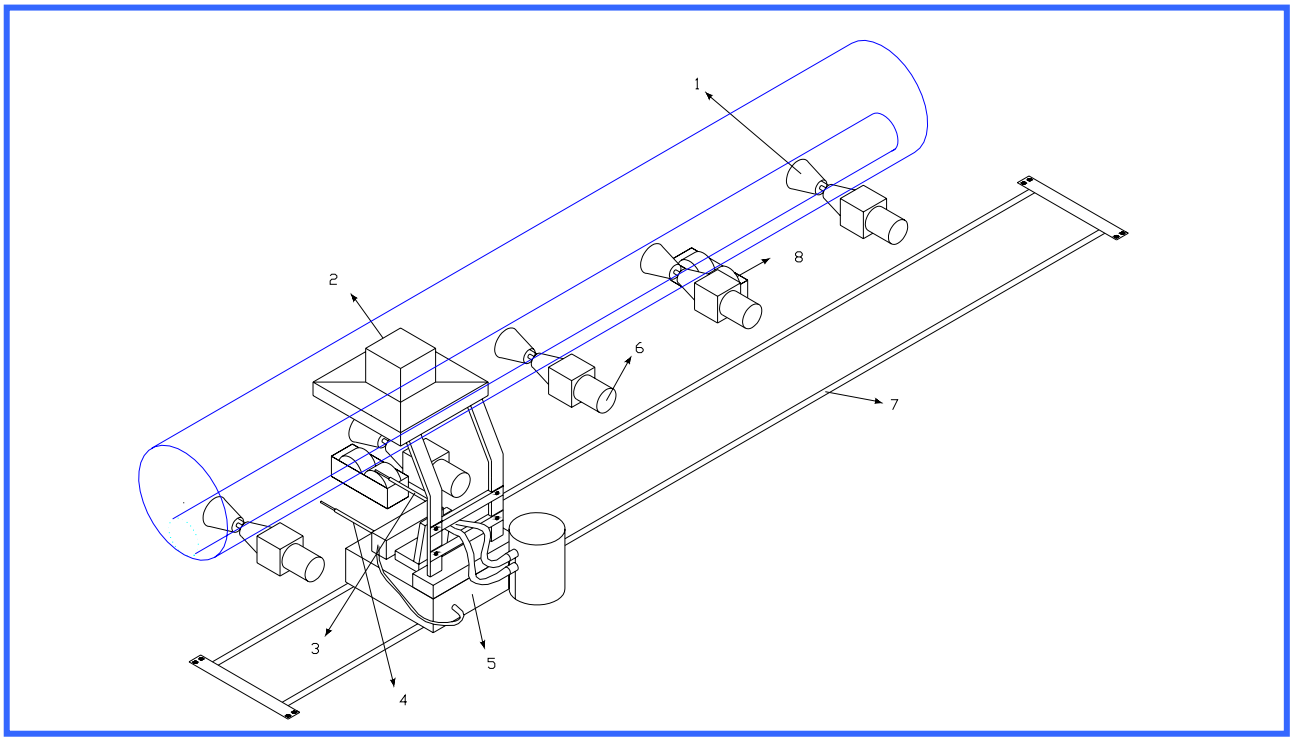


Figura 3.1.- Bosquejo del diseño I

1… Rodillos cónicos

2… Sistema de extracción

3… Boquilla para la aplicación del barniz

4… Boquilla de aire caliente

5… Carro móvil

6… Motor

7… Carrillera

8… Gira tubo

DISEÑO II

El sistema es alimentado por un mecanismo de ruedas, los tubos son trasladados en posición horizontal girando y trasladándose al mismo tiempo, uno a la vez, hacia la zona de barnizado donde es trabajado de forma continua. Al culminar el recubrimiento del tubo, éste es transportado a los rieles de la zona de carga a través de un mecanismo de volcadores.

El diseño se divide en dos cabinas; en la primera se realiza un precalentamiento del tubo con un ambiente controlado en base a la combustión de gas natural como combustible primario. Cuenta con un sistema de recirculación de aire y uno de extracción de gases, polvos, etc.

En la segunda cabina; se realiza la aplicación del barniz por medio de aspersión a través de un sistema de boquillas airless, el tubo entra al compartimiento girando sobre su propio eje y trasladándose axialmente a la vez para garantizar el total recubrimiento del mismo; cuenta con un sistema de extracción y uno de suministro, para evitar la dispersión de los gases y polvos en la zona (*ver figura 3.2*).

Ventajas

- El costo del sistema no es elevado.
- El combustible utilizado para la zona de calentamiento es económico.
- Por ser un sistema continuo y poseer un sistema de aplicación muy rápido, permite acelerar la línea de producción.
- Permite la uniformidad del recubrimiento en todo el tubo al finalizar el proceso.
- Disminuye en un alto porcentaje la contaminación en el área de trabajo, por tratarse de cámaras y por el sistema airless utilizado.
- Es de fácil operación.

- Dimensiones del área de aplicación del barniz.
- Pequeñas pérdidas de barniz durante la aplicación del mismo.

Desventajas

- El mantenimiento del sistema es más exigente.

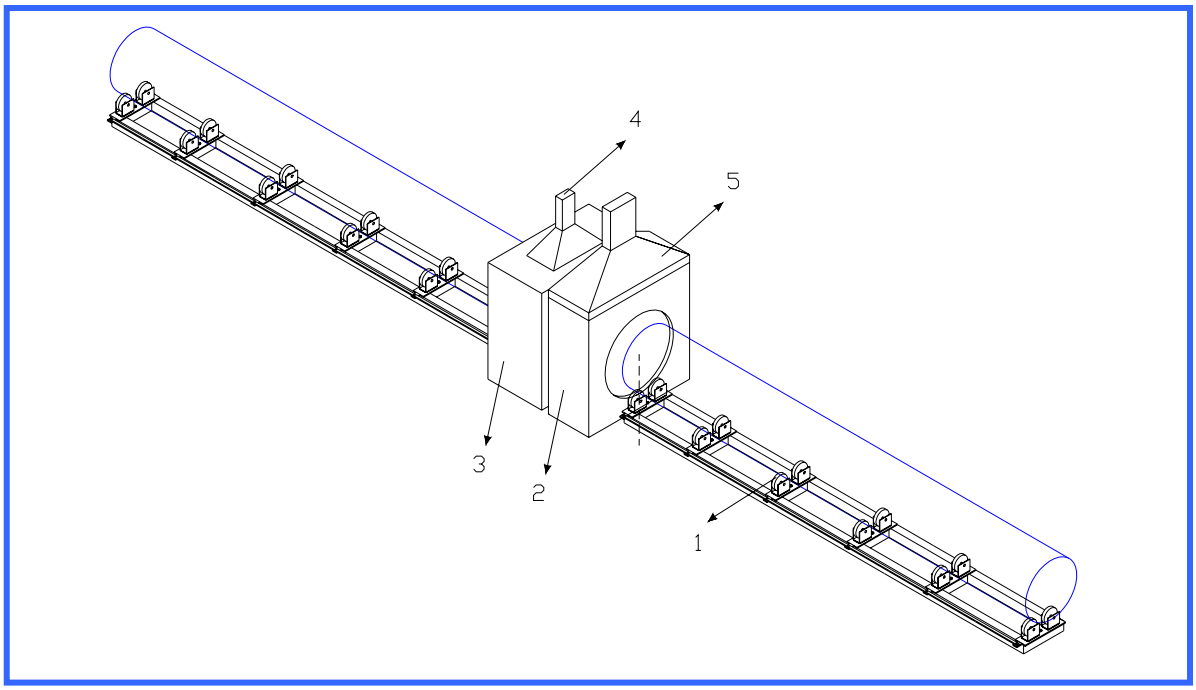


Figura 3.2.- Bosquejo del diseño II

1… Ruedas

2… Cabina de precalentamiento

3… Cabina de barnizado

4… Sistema de suministro de la cabina de barnizado

5… Sistema de extracción de la cabina de precalentamiento

DISEÑO III

El sistema es alimentado por rodillos, los tubos son trasladados, uno a la vez, en forma horizontal hacia una cabina donde entra completamente. El barnizado es realizado por la técnica de rociado a través de una pistola de aire con recipiente a presión, ésta es seguida por dos sopladores de aire caliente (para acelerar el tiempo de secado del barniz) colocado en los extremos del carro móvil, ambos son transportados por un carro móvil a lo largo del tubo a medida que este reposa sobre un par de giratubos. Al terminar la aplicación el tubo es reubicado a través de un mecanismo de volcadores a la zona de carga.

La cabina posee un conjunto de bisagras en la parte superior de manera que al culminar la aplicación se abra para así permitir el traslado del tubo al lugar de carga. En la parte superior posee un sistema de extracción para la absorción de químicos y distintas sustancias que se encuentren en la cabina (ver figura 3.3).

Ventajas

- Buena higiene ambiental en la zona de barnizado.
- Fácil mantenimiento y operación del sistema.

Desventajas

- Costo elevado.
- El tiempo de aplicación y secamiento del barniz es muy lento, ocasionando retraso en la producción.
- Afecta la uniformidad del barniz en el tubo, ya que no permite un secado completo del recubrimiento.
- Dimensiones del área de aplicación del barniz.

- Pérdidas de barniz elevado.

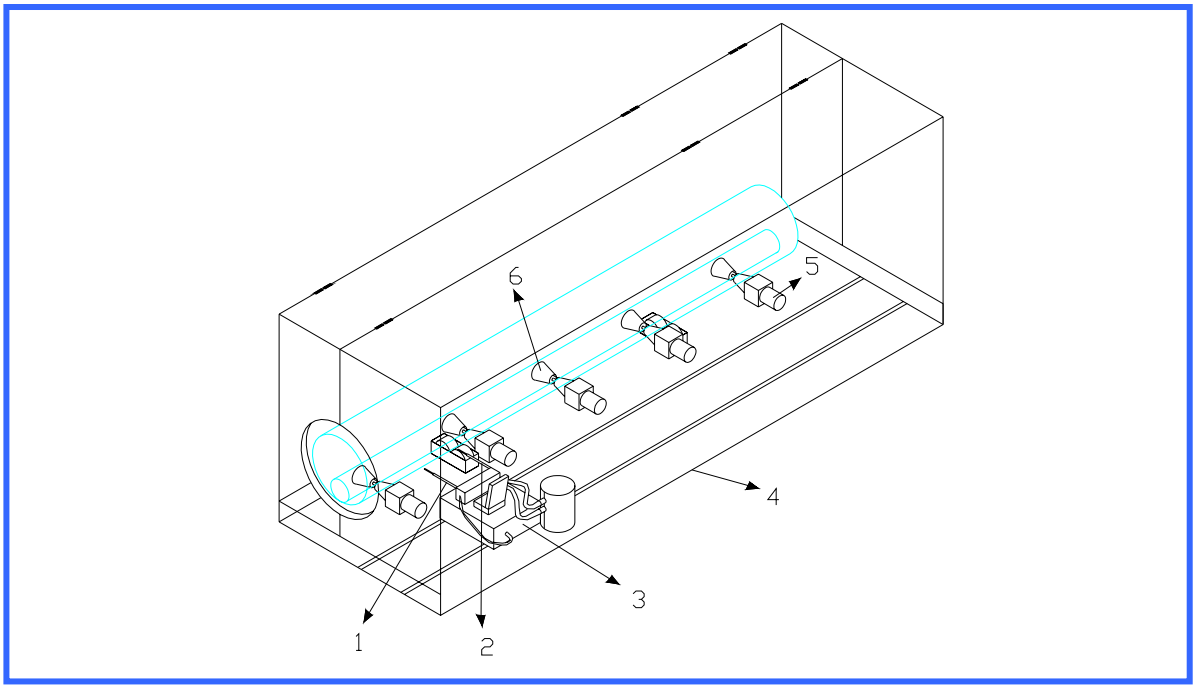


Figura 3.3.- Bosquejo del diseño III

1… Boquilla de aire caliente

2… Boquilla de barniz

3… Carro móvil

4… Cabina

5… Motor

6… Rodillos cónicos

DISEÑO IV

El sistema es alimentado por un mecanismo colgante el cual toma al tubo por sus extremos y lo traslada hacia la zona de barnizado, el diseño está compuesto por dos cabinas que no son completamente cerradas ya que en la parte superior contiene una ranura cubierta con goma para así permitirle el paso al medio colgante.

En la primera cabina se realiza la aplicación del barniz al tubo mientras este se traslada. Para la adhesión del mismo se utiliza el método de aspersión a través de un sistema ajustable de boquillas airless ubicadas en la entrada de la cabina alrededor del tubo, cuenta con un extractor (permite el pase del medio colgante) para los gases que se producen en el proceso.

La segunda cabina es el área del secado la cual se realiza por medio de radiación, utilizando un sistema de resistencias eléctrica para acelerar el tiempo de secado del mismo,

Cuentan con un sistema de extracción. Esta segunda cabina garantiza que el barniz este seco al tacto en el momento de ser colocados sobre dos (2) volcadores y así no se vea afectado la uniformidad del laqueado (ver figura 3.4).

Ventajas

- El sistema de alimentación permite la uniformidad del tubo al finalizar el proceso de barnizado.
- Disminuye la contaminación en el área de trabajo.
- Dimensiones del área de aplicación del barniz.
- Mínimas pérdidas del barniz durante su aplicación.

Desventajas

- Costo muy elevado

- El método de generación de calor para el secamiento del barniz es de costo elevado.
- No es un sistema de fácil operación.
- No es de fácil mantenimiento.
- Seguridad en el sistema de alimentación.
- El sistema de alimentación retrasa la línea de producción.

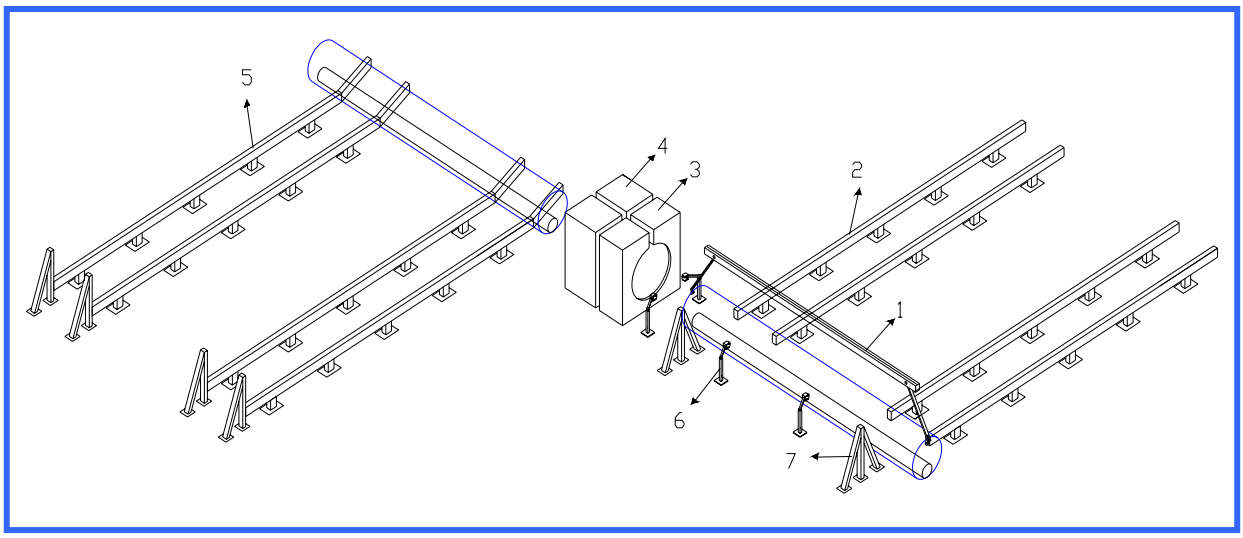


Figura 3.4.a.- Bosquejo del diseño IV

1… Sistema colgante

2… Riel de alimentación de tubos

3… Cabina de precalentamiento

4… Cabina de barnizado

5… Rieles de almacenamiento temporal de tubos

6… Guía para tubos

7… Topes de seguridad

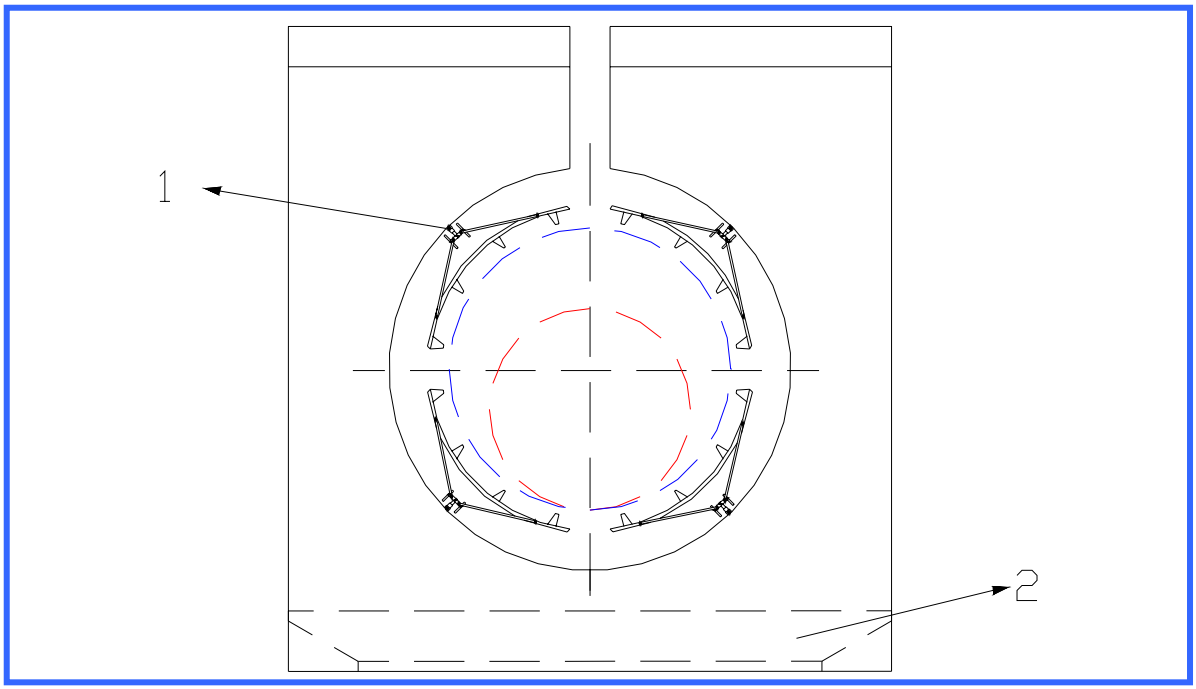


Figura 3.4.b.- Bosquejo del diseño IV, mecanismo de boquillas para el barnizado

1… Mecanismo de boquillas para la aplicación del barniz

2… Sistema de extracción de la cámara de barnizado

DISEÑO V

El tubo es trasladado al área de barnizado por un conjunto de rodillos, uno a la vez, en posición horizontal. El sistema es continuo y está constituido por dos cabinas. En la primera se realiza el barnizado utilizando un rodillo ubicado en la parte inferior de la cabina, sumergido parte de él en un recipiente lleno de barniz, justo debajo del tubo para que este al entrar en el compartimiento entre en contacto con el rodillo, durante la

aplicación tanto el rodillo como el tubo giran (en sentido contrario) y éste último a la vez se traslada para luego entrar a la segunda cabina donde se realiza el secado del barniz por medio de resistencias (ver figura 3.5).

Ventajas

- Disminuye la contaminación en el ambiente de trabajo.
- Es de fácil operación.
- Acelera la línea de producción por que el tiempo empleado para la aplicación es buena.

Desventajas

- Costo elevado.
- La aplicación con rodillo no permite controlar el espesor de la película del barniz en el tubo evitando la uniformidad en el recubrimiento del mismo.
- No es de fácil mantenimiento.
- Secado del barniz varía con respecto a la película del mismo.
- Pérdida del barniz elevado.

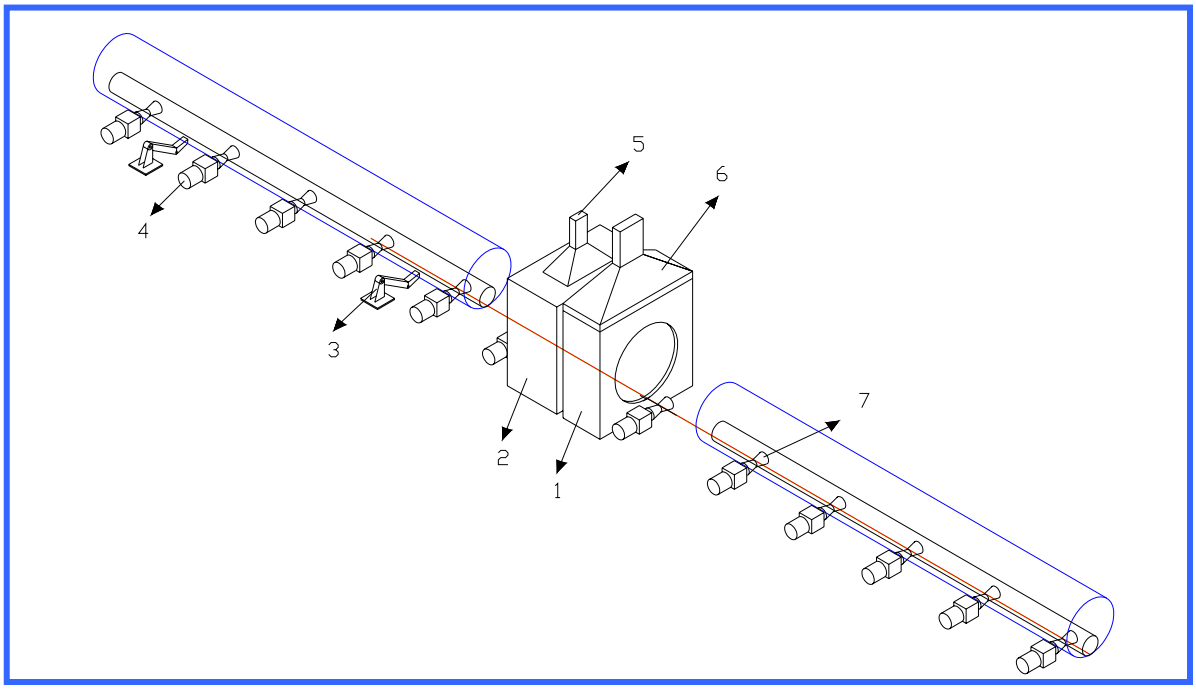


Figura 3.5.- Bosquejo del diseño V

1… Cabina de precalentamiento

2… Cabina de barnizado

3… Volcadores

4… Motor

5… Sistema de extracción de la cabina de barnizado

6… Sistema de extracción de la cabina de precalentamiento

3.2.4 FASE DE DESICIÓN

3.2.4.1 Selección del diseño a desarrollar

Para la selección del diseño óptimo o más conveniente se utilizará un análisis comparativo de las soluciones disponibles mediante el "**Método de la matriz de decisión**", que fue explicado en el proceso del diseño en la sección *3.1.4*.

Los parámetros que se evaluará y su valorización según su grado de importancia son los siguientes:

a) Costos de Mantenimiento Preventivo

Son los costos de mantenimiento que tiene por objetivo reducir la posibilidad de avería o pérdida del rendimiento y ajustes al máximo a la vida útil del elemento o equipo intervenido, programando las intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados o según eventos regulares de servicio. En la industria las paradas innecesarias producidas como consecuencia de una planificación deficiente de mantenimiento, produce un aumento de costo de lubricante, mano de obra, pérdidas de energía.

b) Costos de mantenimiento correctivo

Son los costos de mantenimiento que se realizan para la reparación de alguna avería sufrida por una máquina, elemento o instalación y reestablecer su estado operativo habitual.

c) Costos del sistema de aplicación de barniz

Son los cotos de las pistolas, manguera, reguladores, y demás accesorios necesarios para la aplicación satisfactoria del barniz

d) Seguridad del sistema

El principal objetivo de la seguridad del sistema es evitar que se produzca alguna falla durante el funcionamiento del mismo, que ocasione un riesgo tanto para el personal que labora en el lugar como para todo lo que se encuentre cercano a él. Por otra parte, evita accidentes tomando en cuenta el contacto entre el sistema y el personal operativo.

e) Factibilidad de la adquisición de los componentes del sistema

Se refiere a la facilidad de acceso de los elementos e instrumentos utilizados para el sistema comercialmente, este punto se debe tomar en cuenta a la hora de diseñar debido a que si no es así, los costos de construcción de mismo será muy elevado.

f) Facilidad de mantenimiento

Al diseñar es importante considerar la comodidad del personal que se encarga del mantenimiento de los equipos para facilitar así su labor y no aumentar los costos por mantenimiento.

g) Versatilidad

Representa lo adaptable y moldeable que puede ser un sistema a cambios para un futuro.

h) Ergonomía

Es la que se encarga de optimizar los sistemas hombres-maquinas, buscando la adaptación de la máquina al hombre. Para el sistema a diseñar aplica en la facilidad de desplazamiento de los trabajadores para el momento en que el sistema se encuentre en funcionamiento o no.

i) Uniformidad al final del proceso

Es el recubrimiento de toda la superficie del tubo con un espesor constante de película, sin la presencia de chorreamiento, arrugamiento y/o defectos entre paños, al finalizar el proceso de aplicación de barnizado, para así mantener el tubo completamente protegido durante su traslado al cliente.

j) Tiempo del proceso

El diseño del sistema no debe retrasar la producción sino al contrario mejorarla, para que no sea un inconveniente en el desarrollo de la empresa.

k) Higiene ambiental

Hay que considerar la salud de los trabajadores durante su desempeño laboral, proporcionándole un ambiente libre de sustancias tóxicas que puedan perjudicarlos.

Parámetros	(%)	Diseño I		Diseño II		Diseño III		Diseño IV		Diseño V	
Costo del sistema de aplicación de barniz	11	4	0,44	3	0,33	2	0,22	3	0,33	2	0,22
Costo de mantenimiento preventivo	8	4	0,32	4	0,32	4	0,32	4	0,32	3	0,24
Costos de mantenimiento correctivo	8	3	0,24	3	0,24	3	0,24	3	0,24	3	0,24
Seguridad	11	5	0,55	5	0,55	4	0,44	2	0,22	5	0,55
Factibilidad de adquisición	11	4	0,44	4	0,44	4	0,44	3	0,33	3	0,33
Facilidad de mantenimiento	7	4	0,28	3	0,21	4	0,28	4	0,28	4	0,28
Versatilidad	4	2	0,08	4	0,16	4	0,16	2	0,08	2	0,08
Ergonomía	4	4	0,16	5	0,20	4	0,16	5	0,20	3	0,12
Uniformidad al final del proceso	16	1	0,16	5	0,80	2	0,32	3	0,48	3	0,48
Tiempo del proceso	9	1	0,09	5	0,45	1	0,09	5	0,45	4	0,36
Higiene ambiental	11	3	0,33	4	0,44	5	0,55	3	0,33	5	0,55
Total	**100**		**3,00**		**4,14**		**3,22**		**3,26**		**3,45**

Tabla 3.1.- Cuadro de resultado de la matriz de decisión I

En la *tabla 3.1*, se puede apreciar que el diseño II obtuvo mayor puntuación según la escala y parámetros escogidos, por lo que se elige ese diseño como la alternativa más favorable a la solución de nuestro problema.

3.2.4.2 Selección del sistema de extracción de la cabina de barnizado

Como el diseño seleccionado en los puntos anteriores consta de una cabina para la aplicación del barniz, se realizará la selección del sistema de extracción de los vapores y solventes disueltos en la cabina durante la atomización del mismo.

Como se explica en el capítulo anterior, las cámaras de pintura en general se clasifican en: cámaras con sistema de extracción húmeda y cámara con sistema de extracción seca.

Para la escala de jerarquización se utilizará la misma que para la matriz anterior.

Parámetros	**%**	**Extracción seca**		**Extracción húmeda**	
Costo de inversión	25	5	1,25	3	0,75
Costo de mantenimiento	25	5	1,25	4	1,00
Factibilidad de adquisición	15	4	0,6	4	0,6
Facilidad de mantenimiento	15	4	0,6	3	0,45
Eficiencia	20	3	0,6	5	1,00
Total	**100**		**4,3**		**3,8**

Tabla 3.2.- Cuadro de resultado de la matriz de decisión II

Del cuadro anterior se escoge una cabina con extracción seca para el desarrollo del sistema de barnizado.

En este capítulo desarrollará el diseño II por haber sido la opción seleccionada como la más factible en el capítulo anterior.

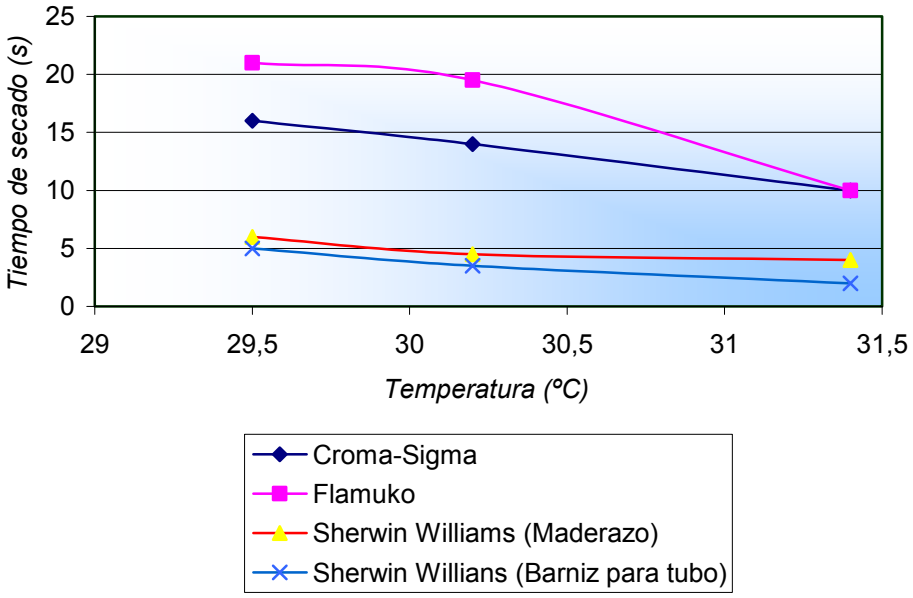
4.1 SELECCIÓN DEL BARNIZ

Para la selección del barniz se realizaron pruebas experimentales en la empresa con diferentes barnices del mercado, bajo las condiciones reales de aplicación del mismo sobre el tubo obteniendo los siguientes resultados:

Barniz	**Temperatura ambiental (°C)**			**Humedad relativa (%)**			**Tiempo de secado (min.)**		
	1	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*
CROMA-SIGMA	29,5	30,2	31,4	63,3	59,7	53,4	16	14	10
FLAMUKO	29,5	30,2	31,4	63,3	59,7	53,4	21	19,5	17
SHERWIN WILLIAMS (Maderazo)	29,5	30,2	31,4	63,3	59,7	53,4	6	4,5	4
SHERWIN WILLIAMS (Barniz para tubo)	29,5	30,2	31,4	63,3	59,7	53,4	5	3,5	2

Tabla 4.1.- Resultados de las pruebas para la selección del barniz

Los datos para las pruebas fueron tomados días y horas diferentes para así tomar en cuenta las diferentes humedad relativa y temperatura que se dan el lugar.



Gráfica 4.1.- Resultados de los diferentes tipos de barniz.

Como se puede apreciar en la *gráfica 4.1*, a medida que aumenta la temperatura del medio el tiempo de secado del barniz disminuye, por lo tanto se controlará la temperatura del medio para obtener el secamiento del barniz en el tiempo necesario para lograr la uniformidad del mismo en el tubo.

Por otro lado, se puede observar que el barniz de **Sherwin Williams (barniz para tubo)** es el que tarda menor tiempo en adherirse a la superficie del tubo en condiciones reales comparado con los demás, por lo tanto para el desarrollo del diseño se empleará dicho barniz.

4.2 SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL BARNIZADO

4.2.1 Cálculo del caudal

Para la selección de los equipos de barnizado, se tiene que tomar en cuenta el flujo volumétrico o el caudal (Q_p) que se requiere para cumplir con el espesor de película (ficha técnica del barniz, *ver apéndice B.1*) del tubo.

A continuación se presenta el cálculo del caudal que manejará cada boquilla independientemente del diámetro, usando el tubo de 0,762 m (30 in).

Viscosidad del barniz	Densidad del barniz	Espesor en seco	Espesor en húmeso	Longitud del tubo
Copa Ford 4	3,95 kg/galón	25 mcs (1mils)	108,25 mcs (4,33 mils)	12 m

Tabla 4.2.- Especificaciones técnicas del barniz

El volumen que se necesita para el recubrimiento del tubo en una vuelta es:

$$V_{barniz} = \frac{\pi\, L_{tubo}\left(\left(dm + 2(espesor)\right)^2 - (dm)^2\right)}{4}$$

$$V_{barniz} = \frac{\pi\, 12\left(\left(1{,}524 + 2(108{,}25E-6)\right)^2 - (1{,}524)^2\right)}{4} = 64{,}79\ cm^3\ \left(0{,}0648\ lts\right) \qquad (4.1)$$

Tomando en cuenta el tiempo que tarde el tubo en una vuelta que es de *0,15 min* se tiene que el flujo volumétrico o caudal requerido en cada boquilla de aplicación es:

$$Q_p = \frac{V_{barniz}}{T_{vuelta}} = \frac{0{,}0648}{0{,}15} = 0{,}43\ lts/\min \qquad (4.2)$$

$$Q_p = 448{,}7\ g/lts$$

4.2.2 Selección de las pistolas

Criterios de selección de las pistolas

- Cumplir con el caudal máximo del producto aplicado (Q_p = *448,7 g/lts*).
- Reducción de nieblas en el momento de la aplicación del barniz
- Bajo consumo de aire
- Cumplir con una anchura de abanico o palma de aplicación de 250 mm.
- Cumplimiento de las normas de higiene ambiental

Entre las opciones presentadas por la empresa Sagola se tiene: *V-4 standard, V-5 HVLP y V-6 EPA.*

Tomando en cuenta los criterios de selección podemos decir que la pistola del tipo V-5 con boquilla 600 con diámetro de paso 1,2 mm es la que cumple de manera más eficiente los requerimientos (*ver anexo 1*).

Para este tipo de pistola se necesitan una presión de trabajo 20,3 psi y una presión de aire de 9,86 psi, es decir, que para el funcionamiento de las tres pistolas se necesita una presión de trabajo de 60,9 psi y una de aire de 29.58 psi, esta presión se obtiene del compresor de la planta el cual cumple los requerimientos.

Esta pistola cuenta con un filtro interno para evitar la obstrucción de la misma y que su mantenimiento sea menor.

4.2.3 Selección del sistema de suministro del barniz

Una vez seleccionado las pistolas hay que estudiar el caso de que sistema va a suministrar el barniz a las mismas, entre las posibilidades se encuentran:

- Calderín Industrial.
- Bomba de membrana.
- Kit para bidón con bomba de pistón

El sistema a utilizar para el suministro de barniz por su bajo costo, su alta eficiencia, su resistencia y fácil manejo, es un calderín industrial con capacidad de 50 litros con salida superior del producto, con una presión máxima de trabajo de 4 bar (58 psi) sin removedor manual ya que las características del barniz no lo requiere (*ver anexo 2.a*).

4.2.4 Selección del regulador de presión y el filtro

Para la regulación de presión se utilizará con salida de aire y producto (barniz) para tres pistolas y con una toma de aire y producto, para así poder controlar cada pistola independientemente (*ver anexo **3***).

El filtro a utilizar en el sistema de barnizado es un filtro de línea tipo 550, el cual se instalará antes de que el aire entre al conjunto regulador para evitar que cualquier tipo de impureza pueda afectar el acabado de la película o dañar el mismo sistema (*ver anexo 3*).

4.2.5 Selección del equipo de limpieza y mangueras

Al sistema se le colocara un calderín con capacidad de 10 lts con salida superior para el solvente o diluyente para la limpieza del sistema de barnizado (*ver anexo 2.b*).

Este calderín no cuenta con una regulación ya que solo necesita poca presión para la limpieza. Va a una conexión en forma de "Y" el cual se encuentra en la salida del calderín de barniz, el cual solo se abrirá para limpiar todo el equipo una vez terminado la jornada laboral.

En el sistema se le colocaran mangueras para el aire de 8 x 15 mm y para el producto (barniz) mangueras de 8 x 16 3/8 (*ver anexo 3*).

4.3 TREN DE ALIMENTACIÓN

Para la traslación y rotación del tubo a las cabinas de precalentamiento y de barnizado se utilizara un tren de alimentación y un tren de recepción los cuales poseen las mismas características. A continuación se mostraran los cálculos necesarios para el tren de alimentación, tomando en cuenta que son iguales a los del tren de recepción:

4.3.1 Parámetros del tren de alimentación

Para obtener los parámetros del tren de alimentación es necesario tomar en cuenta los distintos diámetros de tubo para así obtener las variables para cada uno que cumpla con los requerimientos de uniformidad que se quiere.

Velocidad de barnizado

Tomando en cuenta la producción anual de la empresa que es de aproximadamente de 400 Km/año, 246 días hábiles de trabajo por año, dos turnos por día (16 horas) y la longitud del tubo 12 m, se tiene que la velocidad lineal del tubo es:

$$V_l = 1{,}7\ m/\min$$

El ancho de palma común para pistolas con aire (aerográficas) se encuentra entre un rango de 22 a 32 cm, por lo tanto se seleccionará 25 cm que representará el paso, es decir, el avance del tubo por vuelta.

A continuación se presentará un cálculo tipo de los parámetros del tren de alimentación utilizando el tubo de diámetro de 0,762 m (30 in):

En la aplicación del barniz para este diámetro se empleará una sola boquilla, por lo tanto: paso = 0,25 mts, obteniendo un tiempo por vuelta (T_{vuelta}) de:

$$T_{vuelta} = \frac{0{,}25m * 1\,\text{min}}{1{,}7m} = 0{,}15\ \text{min} \quad (4.3)$$

El recorrido que se refiere al desplazamiento que tiene la rueda motriz sobre el tubo, es decir, la trayectoria de la velocidad de barnizado en una vuelta del tubo, esta expresado por:

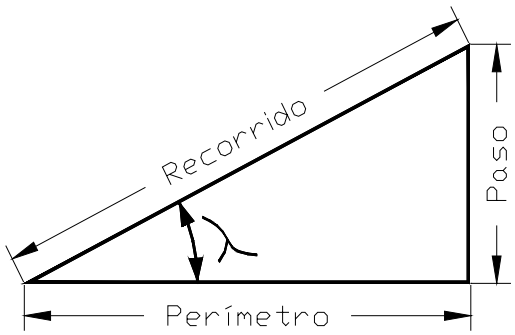


Figura 4.1.- Esquema del recorrido

$$perímetro = \pi\ dm = \pi\ 0{,}762 = 2{,}4\ m$$
$$recorrido = \sqrt{perímetro^2 + paso^2} \quad (4.4)$$
$$recorrido = \sqrt{2{,}4^2 + 0{,}25^2} = 2{,}41\ m$$

Por lo tanto la velocidad del barniz es:

$$V_b = \frac{recorrido}{T_{vuelta}} = \frac{2{,}41}{0{,}15} = \mathbf{16\ m/min} \quad (4.5)$$

Para obtener la misma película de barniz en todos los tubos y utilizar un caudal constante en cada boquilla de aspersión, se mantendrá fija ésta velocidad de barnizado por ser el tubo de mayor producción de la empresa.

Ángulo de avance

El ángulo en que se posicionarán las ruedas del tren de alimentación para obtener el movimiento de traslación y rotación simultáneo con las condiciones requeridas, viene dado por la siguiente expresión:

$$\lambda = ar\cos en\ \frac{paso}{recorrido} = 6º \qquad (4.6)$$

Revoluciones del tubo

De la velocidad de barnizado y del recorrido se tiene la expresión de las r.p.m del tubo:

$$V_d = n_{tubo}\ recorrido$$

$$despejando\ y\ sustituyendo: \eta_{tubo} = \frac{V_d}{recorrido} = 6{,}64\ rpm \qquad (4.7)$$

Revoluciones. de la rueda

Igualando la componente axial de la velocidad tangencial de la rueda y la velocidad tangencial del tubo se obtiene:

$$\omega_{rueda} r_{rueda} = \omega_{Tubu} r_m$$

$$2\pi \eta_{rueda} r_{rueda} \cos(\lambda) = 2\pi \eta_{tubo} r_m$$

$$despejando: \quad \eta_{rueda} = \frac{dm * \eta_{tubo}}{d_{rueda} * \cos(\lambda)} = 15{,}5\ rpm \qquad (4.8)$$

Tiempo total por tubo

El tiempo que tarda el sistema en barnizar todo el tubo viene dado por:

$$T_{total} = \frac{L_{tubo} * T_{vuelta}}{paso} = \frac{12 * 0{,}15}{0{,}25} = 7{,}2 \text{ min} \qquad (4.9)$$

4.3.2 Diagrama de cuerpo libre y las ecuaciones de equilibrio

A continuación se presentan las fuerzas que actúan sobre el tubo por la acción de la rueda motriz y la rueda loca:

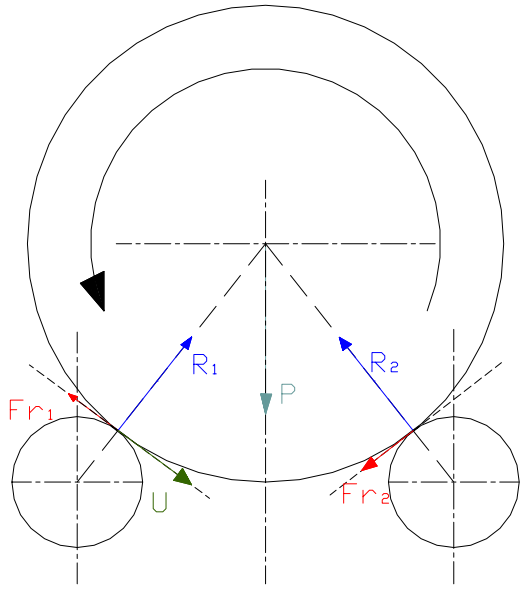


Figura 4.2.- Vista frontal del sistema de alimentación

En la siguiente figura se representa las fuerzas que actúan a lo largo del tubo por medio de una vista isométrica:

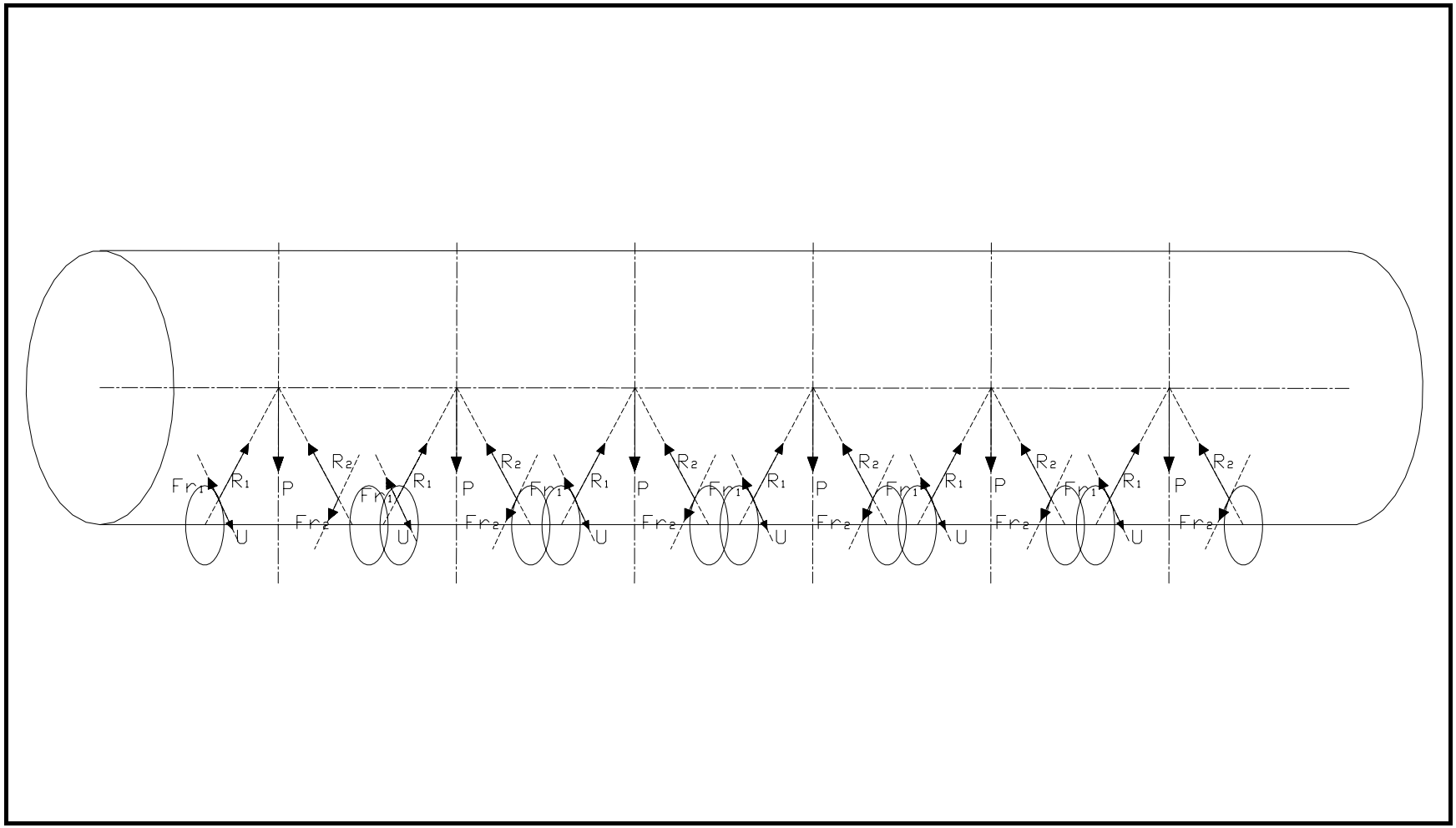


Figura 4.3.- Vista isométrica del sistema de alimentación

En la siguiente figura se presenta la vista espacial de las fuerzas aplicadas sobre el tubo:

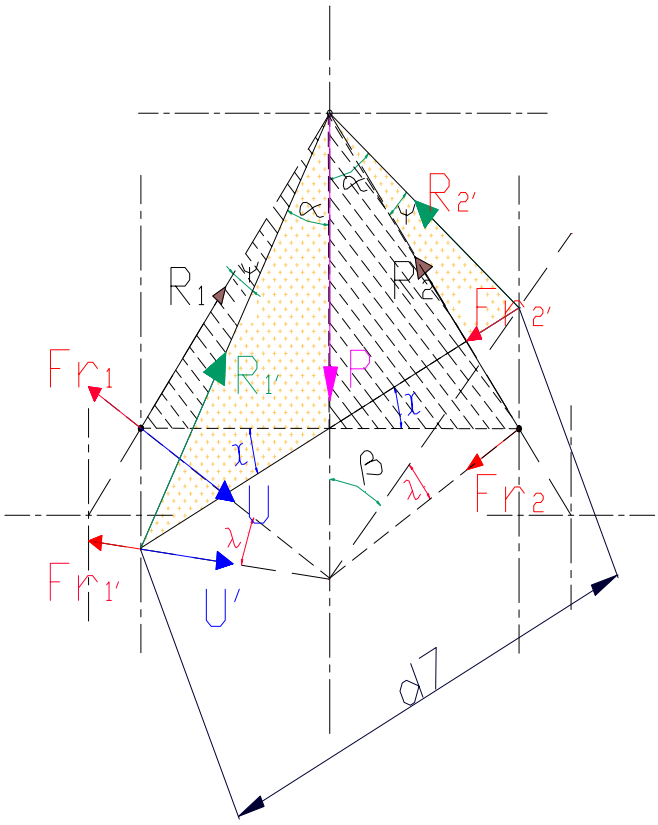


Figura 4.4.- Vista espacial

Los diagramas de fuerzas en el plano X-Y; y los planos Y-Z, utilizados para obtener las ecuaciones que se presentan más adelante del capítulo, son:

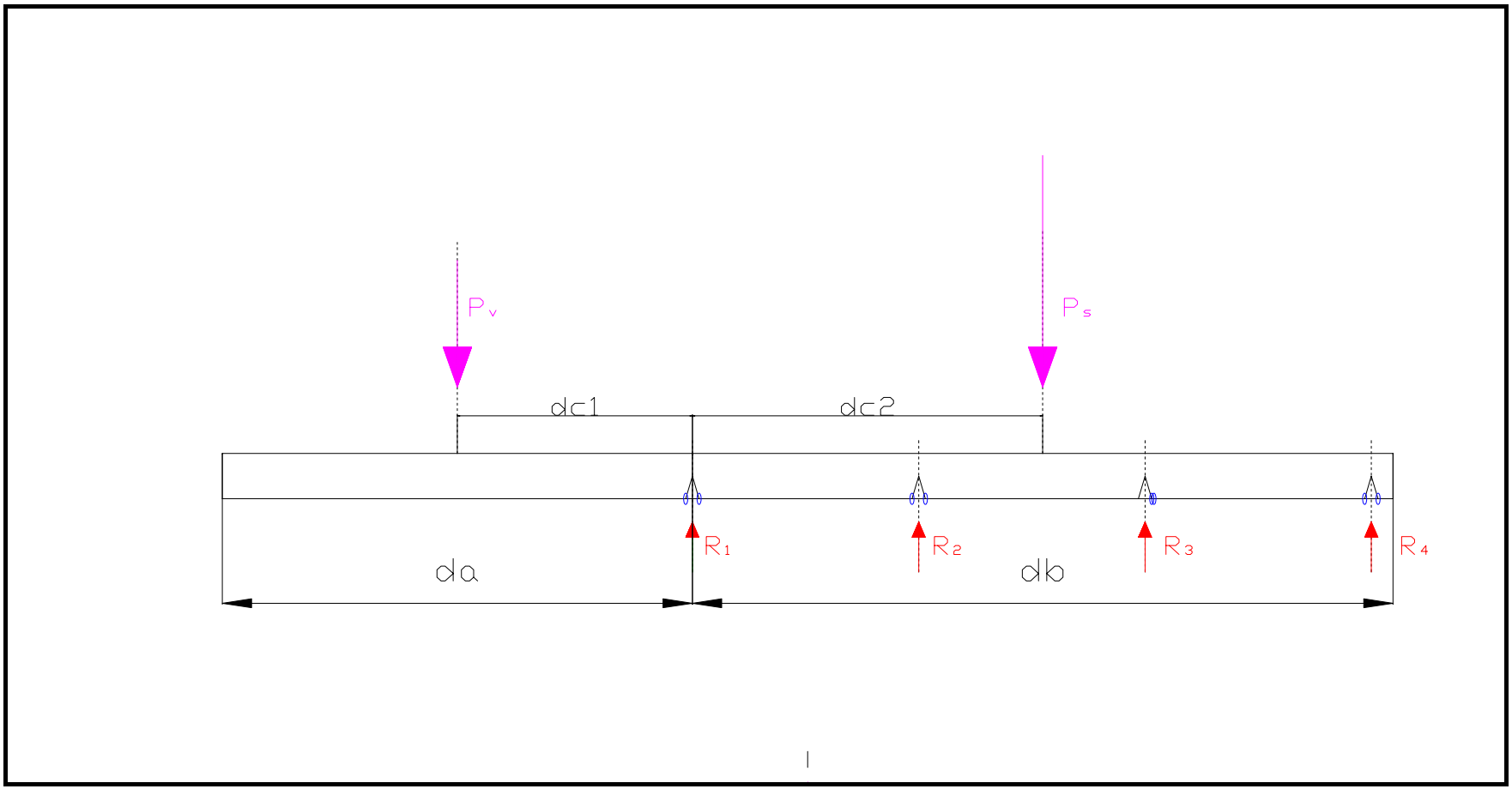


Figura 4.5.- Diagrama de fuerzas en le plano X-Y

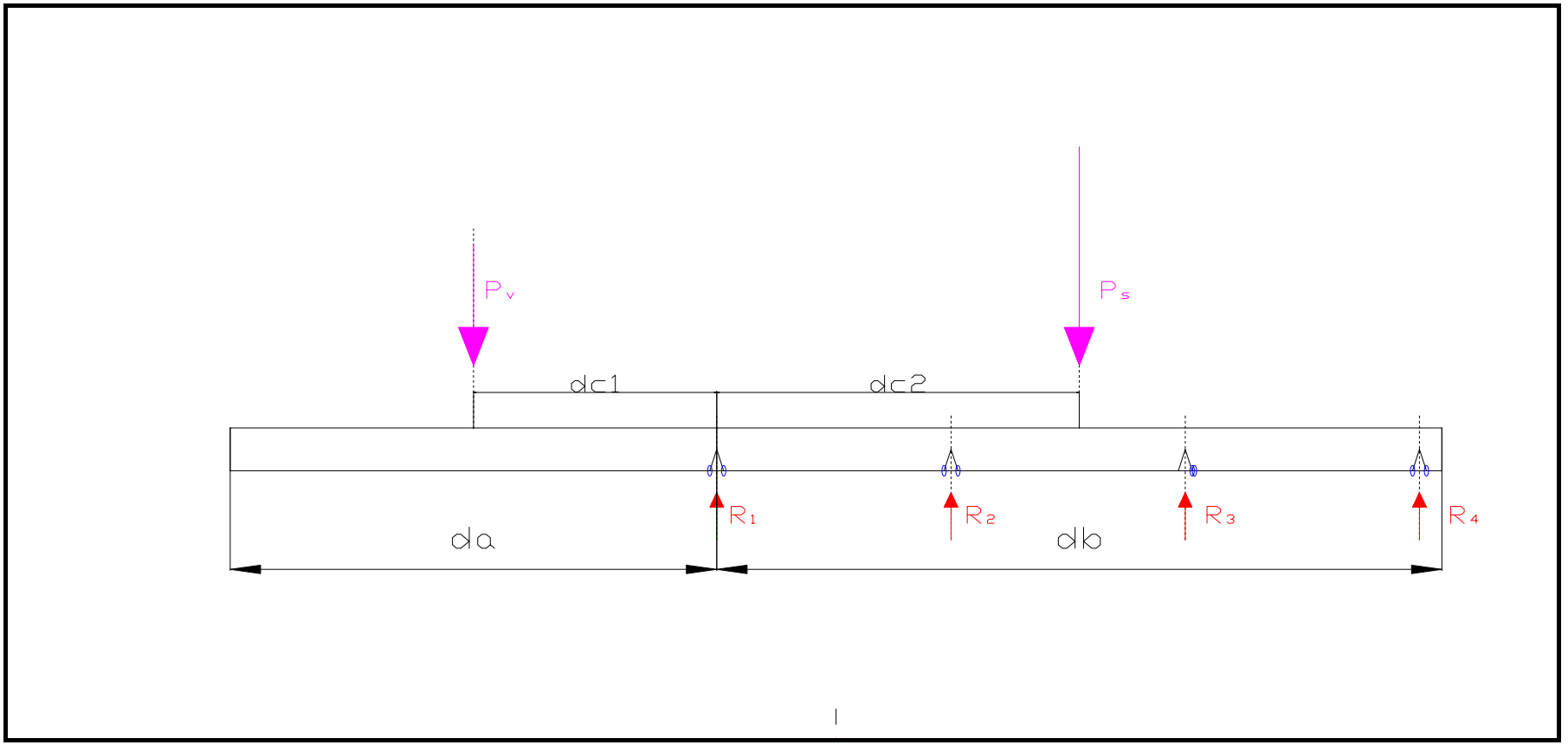


Figura 4.6.- Diagrama de fuerzas en el plano Y-Z

Realizando sumatoria de fuerzas en los tres ejes y sustituyendo se tiene:

$$\sum \boldsymbol{Fz} = \boldsymbol{ma}$$
$$-Fr_{1x}'' + Ux'' - Fr_{2x}'' = ma$$
$$-Fr_1' sen(\lambda)\cos(\phi) + U' sen(\lambda)\cos(\phi) - Fr_2' sen(\lambda)\cos(\phi) = ma$$

$$sen(\lambda)\cos(\phi)\left(U' - Fr_1' - Fr_2'\right) = ma \qquad (4.10)$$

$$\sum \boldsymbol{Fy} = \boldsymbol{0}$$
$$-P - Uy - Fr_{2y} + Fr_{1y} + R_{1y} + R_{2y} = 0$$
$$-P - Usen(\delta) - Fr_2 sen(\delta) + Fr_1 sen(\delta) + R_2 sen(\sigma) + R_1 sen(\sigma) = 0$$

$$sen(\delta)\left(-U - Fr_2 + Fr_1\right) - P + sen(\sigma)\left(R_2 + R_1\right) = 0 \qquad (4.11)$$

$$\sum \boldsymbol{Fx} = \boldsymbol{0}$$
$$R_{1x} + Ux - R_{2x} - Fr_{2x} - Fr_{1x} = 0$$
$$R_1 \cos(\sigma) + U\cos(\delta) - R_2 \cos(\sigma) - Fr_2 \cos(\delta) - Fr_1 \cos(\delta) = 0$$

$$\cos(\sigma)\left(R_1 - R_2\right) + \cos(\delta)\left(U - Fr_2 - Fr_1\right) = 0 \qquad (4.12)$$

Realizando sumatorias de momentos y sustituyendo se tiene:

$$\sum \boldsymbol{M_1} = \boldsymbol{0}$$
$$-d_5 P + 2d_5 R_{2y} - 2d_5 Fr_{2y} = 0$$

$$d_5\left(-P + 2R_2 sen(\sigma) - 2Fr_2 sen(\delta)\right) = 0 \qquad (4.13)$$

$$\sum \boldsymbol{M_2} = \boldsymbol{0}$$
$$d_5 P + 2d_5 U_y - 2Fr_{1y} d_5 - 2d_5 R_{1y} = 0$$

$$d_5\left(P + 2Usen(\delta) - 2Fr_1 sen(\delta) - 2R_1 sen(\sigma)\right) = 0 \qquad (4.14)$$

$$\sum \boldsymbol{M_3} = \boldsymbol{I\alpha}$$
$$d_2\left(R_{1x} + U_x - R_{2x} - Fr_{2x} - Fr_{1x}\right) + d_5\left(R_{2y} + Uy - Fr_{2y} - R_{1y-Fr_{1y}}\right) = I\alpha$$

$$R_1(d_2\cos(\sigma)-d_5 sen(\sigma))+U(d_2\cos(\delta)+d_5 sen(\delta))+R_2(-d_2\cos(\sigma)+d_5 sen(\sigma))+$$
$$+Fr_1(-d_2\cos(\delta)-d_5 sen(\delta))+Fr_2(-d_2\cos(\delta)-d_5 sen(\delta))=I\alpha \qquad (4.15)$$

De los diagramas de cuerpo libre se tienen las fórmulas de los ángulos y distancias que se necesitan:

$$\alpha = arcsen\left(\frac{d_s}{2(r_m+r_{rueda})}\right)$$

$$\omega = arcsen\left(\frac{\frac{d_7}{2}\cos(\gamma)}{r_m\cos(\psi)}\right)$$

$$\eta = arcsen\left(\frac{d_3}{r_m\tan(\alpha)\cos(\lambda)}\right)$$

$$\psi = arcsen\left(\frac{d_1}{r_m'}\right)$$

$$\sigma = 90-\omega$$

$$\beta = 90-\alpha$$

$$d_1 = \frac{d_7}{2}sen(\gamma)$$

$$d_2 = r_m'\cos(\alpha)$$

$$d_3 = \frac{r_m'}{\cos(\alpha)} - d_2$$

$$d_4 = r_m'\cos(\psi)$$

$$d_5' = r_m' sen(\alpha)\cos(\gamma)$$

$$d_6 = \frac{r_m}{\cos(\alpha)}$$

$$d_7 = \frac{r_m' d_m}{2(r_m+r_{rueda})}$$

4.3.3 Aceleración lineal (a_L) y aceleración tangencial (a):

Aceleración lineal

$$a_L = \frac{V_f - V_o}{T_f - T_o} \qquad (4.17)$$

Tomando en cuenta que el tubo parte del reposo : $V_o = 0$ *y* $T_o = 0$ *y siendo* :

$V_f = \frac{paso}{T_{vuelta}}$;

$T_f = T_{arranque} = 5\ s$; *queda* :

$$a_L = \frac{Paso}{T_{vuelta} * T_{arranque}} \qquad (4.16)$$

Aceleración tangencial

$$a = \frac{\omega_f - \omega_o}{T_{vuelta} - T_o}$$

Tomando en cuenta que el tubo parte del reposo : $\omega_o = 0$ *y* $T_o = 0$

siendo : $\omega_f = \frac{2\pi\eta_{tubo}}{60}$; *se tiene la siguiente* exp *resión* :

$$\alpha = \frac{2\pi\eta_{tubo}}{60 * T_{vuelta}} \qquad (4.17)$$

Momento de inercia (I):

Del *apéndice B.2* se tiene la siguiente expresión para cilindros huecos:

$$I = \frac{1}{2} m r_m{}^2 = \frac{1}{2} m \left(r_{exterior}{}^2 - r_{\text{int}\,erior}{}^2 \right) \qquad (4.18)$$

4.3.4 Condición de volcamiento

En el movimiento de rotación y traslación

De la **ecuación 4.14** se obtiene la condición de volcamiento ya que en ese punto estudiado se encuentra el eje de volcamiento del sistema en el movimiento de rotación. La condición que se debe cumplir es que las fuerzas que se encuentran en contra del movimiento deben ser mayores o iguales que las fuerzas que se encuentran a favor del mismo, quedando como expresión:

$$P + 2\,Fr_2\ sen(\delta) \geq 2\,R_2\ sen(\sigma) \qquad (4.19)$$

Para el cumplimiento de esta condición, se evaluó cada diámetro de tubo cambiando las distancias entre las ruedas del tren de alimentación, para obtener la estabilidad del sistema. A continuación se presentan el cuadro obtenido para el tubo con mayor producción (diámetro de 0.762 m (30")) dentro de la empresa (*ver tablas para los demás diámetros en el apéndice A*):

d_{rueda} (m)	R_1 (N)	R_2 (N)	U (N)	CONDICIÓN 1
0,4	2229,3	2040,9	2170,0	Estable
0,45	2299,1	2113,7	2246,4	Estable
0,5	2373,5	2199,2	2331,8	Estable
0,55	2454,2	2300,3	2428,7	Estable
0,6	2543,9	2421,0	2540,4	Estable
0,65	2646,2	2566,7	2671,6	Estable
0,7	2766,8	2744,8	2829,3	Estable
0,75	2913,8	2966,6	3023,3	Inestable
0,8	3100,6	3249,4	3269,6	Inestable
0,85	3349,7	3620,8	3594,2	Inestable
0,9	3701,9	4129,9	4043,7	Inestable

Tabla 4.3.- Resultados de la condición de volcamiento para el tubo de 0.762 m (30").

Como se puede apreciar en el cuadro anterior el tubo se hace inestable para una distancia de 0,75 m, lo cual indica que a partir de ese punto se puede volcar o girar sobre el eje de volcamiento, esto ocurre cuando las fuerzas que están a favor del volcamiento son mayores a las que están en contra. Por lo tanto, se seleccionarán más adelante las distancias entre ruedas para cada tubo donde se asegurará la estabilidad del mismo durante el proceso de barnizado.

En el mecanismo de avance del tubo (en voladizo)

En la *figura 4.7* se muestran las reacciones ejercidas por el peso del tubo.

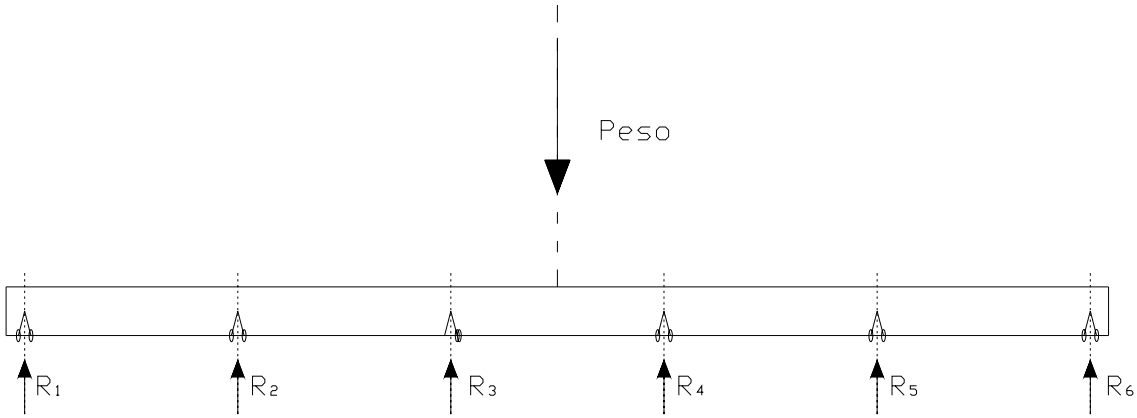
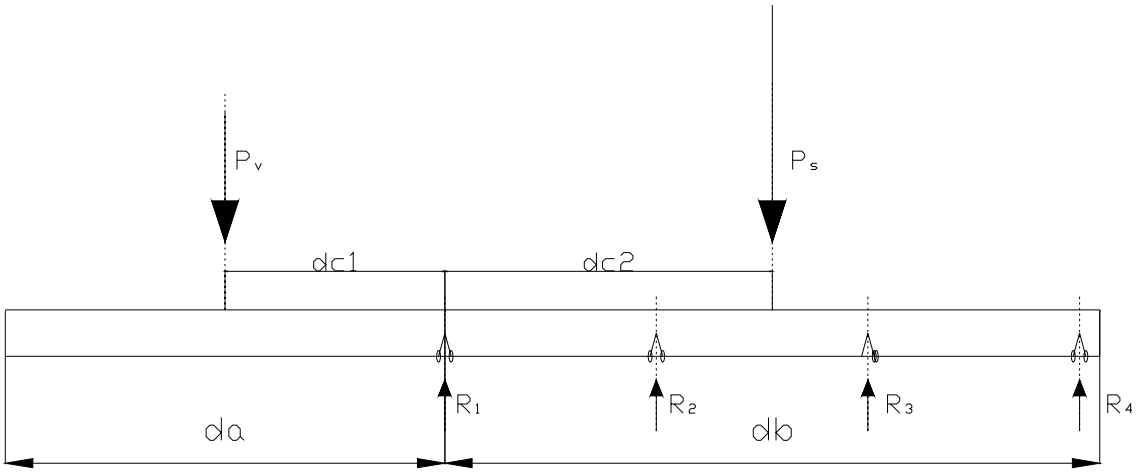


Figura 4.7.- Distribución de fuerzas a lo largo del tubo

En la figura siguiente una parte del tubo se encuentra en voladizo (lado A) como sucederá en el momento que el mismo este dentro de las cabinas



*Lado **A*** *Lado **B***

Figura 4.8.- Distribución de fuerzas a lo largo del tubo en voladizo

Para el instante en que el tubo se encuentra en voladizo se debe cumplir que el momento que se genere en el ***lado A*** tiene que ser mayor o igual que el que se produce en el ***lado B*****:**

$$M_A \leq M_B$$

Para el estudio de la condición anterior se utilizó el diámetro de tubo más crítico (1,524 m (60 pulgadas)) cuyos cálculos se presentan a continuación:

$$P = 41751{,}36\ Nw$$
$$R = R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = \frac{P}{6} = 6958{,}56\ Nw \qquad (4.20)$$

En este caso como se dispone de 4 m. entre las rueda inicial del tren de alimentación y la rueda final del tren que recibe el tubo, el volcamiento en voladizo no se produce, ya que el momento que se origina del lado del voladizo (Lado B), siempre es menor al lado de los soportes (Lado A).

4.3.5 Condición de no deslizamiento

El no deslizamiento ocurre cuando la velocidad en el punto de contacto entre el tubo y la rueda motriz son iguales (V_{tubo} = V_{rueda} m/s), es decir, que tienen igual magnitud y el mismo sentido. Para las condiciones dinámicas se toma en cuenta que las fuerzas a favor de movimiento sean de magnitud mayor que las que se encuentran en contra. A continuación se presenta un cuadro indicando el resultado de la condición de no deslizamiento para el tubo de mayor producción 0,762 m (30") (*ver tablas para los demás diámetros en el apéndice A*):

d_{rueda} (m)	R_1 (N)	R_2 (N)	U (N)	CONDICIÓN 2
0,4	2229,3	2040,9	2170,0	No Desliza
0,45	2299,1	2113,7	2246,4	No Desliza
0,5	2373,5	2199,2	2331,8	No Desliza
0,55	2454,2	2300,3	2428,7	No Desliza
0,6	2543,9	2421,0	2540,4	No Desliza
0,65	2646,2	2566,7	2671,6	No Desliza
0,7	2766,8	2744,8	2829,3	No Desliza
0,75	2913,8	2966,6	3023,3	No Desliza
0,8	3100,6	3249,4	3269,6	No Desliza
0,85	3349,7	3620,8	3594,2	No Desliza
0,9	3701,9	4129,9	4043,7	No Desliza

Tabla 4.4.- Condición de "no" deslizamientopara el tubo de 30".

Al comparar la *tabla 4.3 y 4.4* se puede ver que para todas las distancias donde el tubo es estable, la condición de no deslizamiento es favorable.

4.3.6 Selección de los elementos

a. Selección del motor

Para la selección del motor se presentan dos opciones viables para la transmisión de torque al sistema.

Opción 1

Para escoger un motor que cumpla con las especificaciones del diseño se tiene que calcular el torque máximo que deberá soportar el mismo, con los siguientes datos del tubo mas desfavorable, tenemos;

Tubo de 1,524 m (60")

U= 4672,3 N

n_{rueda}= 15,5 rpm

$$Torque = U * r_{Rueda} \qquad (4.21)$$

$$Torque = 4672{,}3 * \frac{0{,}33}{2}$$
$$Torque = 770\ N\,m \quad (6814{,}5\ \ lbf * pu\lg)$$

Este torque es solo para una sección del tubo, como se tomaron 6 secciones, se multiplica el torque por el numero 6, tenemos;

$$Torque = 6 * 770\ N\,m$$
$$Torque = 4620 N * m \quad (40887\ lbf * pu\lg)$$

Para el cálculo potencia se tiene la ecuación:

$$P_{otencia}(hp) = \frac{Torque\,(lbs * pu\lg) * n\,(rpm)}{63000} \quad (4.22)$$

$$P_{otencia} = \frac{40887\ lbs\ pu\lg * 15{,}5\ rpm}{63000}$$
$$P_{otencia} = 10\,hp \quad (7456\ W)$$

Del catálogo de la Siemens (*apéndice B.3*), con las siguientes especificaciones:

Tipo de motor	Potencia	Factor de servicio	Tensión	Nª de polos	r.p.m
Trifásico	10 hp	1,15	Conmutativa 220-440	4	1800

Tabla 4.5.- Especificaciones del motor del tren de alimentación

Caja reductora (cadena y piñón)

Para la selección de la cadena y piñones de la caja reductora se calcula la potencia de diseño, utilizando un factor de servicio de **1,3** (*ver apéndice B.4*) y las hp del motor seleccionado anteriormente.

$$P_{diseño} = FS\,P_{otencia} = 1{,}3 * 10 = 13\ hp \quad (4.23)$$

Como las rpm de salida (n_s) son bajas, se realizarán varias reducciones a las rpm de entrada (n_e) para obtener las requeridas.

Primera reducción

Se reducirá de 1800 rpm a 600 rpm, obteniendo una relación de velocidades de:

$$\text{Re}lación = \frac{n_e}{n_s} = 3 \qquad (4.24)$$

Consultando el *apéndice B.5*, se seleccionó cadena estándar de un tramo, número 60, paso de 3/4" con lubricación tipo II (lubricación por disco o baño), con una rueda dentada pequeña de 18 dientes y una rueda dentada grande de:

$$N_g = N_p\, relación = 18 * 4 = 54\ dientes \qquad (4.25)$$

Los diámetros de paso de las ruedas dentadas obtenidos son:

$$D_p = \frac{p}{sen\left[\frac{180}{N_p}\right]} = 4{,}32" = 0{,}11\ m$$
$$D_g = \frac{p}{sen\left[\frac{180}{N_g}\right]} = 12{,}9" = 0{,}33\ m \qquad (4.26)$$

Para la longitud de la cadena (L) se supondrá una distancia central nominal (C) de 27 pasos,

$$L = 2 * C + \frac{N_g + N_p}{2} + \frac{\left(N_g - N_p\right)^2}{4\pi C} = 79{,}37\ paso \qquad (4.27)$$
$$L = 91{,}22\ pasos * 3/4 = 67{,}5" \approx \mathbf{68}" = 1{,}7\ \mathbf{m}$$

La distancia central teórica real entre las ruedas dentadas es:

$$C = \frac{1}{4}\left[L - \frac{N_g + N_o}{2} + \sqrt{\left[L - \frac{N_g + N_o}{2} \right]^2 - \frac{8\left(N_g - N_p\right)^2}{4\,\pi^2}} \right] = 26{,}38\ pasos \qquad (4.28)$$

$$C = 26{,}38 * 3/4 = 19{,}78'' = \mathbf{0{,}5\,m}$$

A continuación se presenta las características de la cadena y las ruedas dentadas para la reducción de velocidad:

Reducciones	1	2	3	4	5
Nº cadena	60	60	80	80	80
Paso cadena	3/4 in	3/4 in	1 in	1 in	1 in
Nº tramos cadena	1	1	1	2	4
Tipo de lubricación	II	II	II	II	I
rpm de entrada	1800	600	200	100	50
rpm de salida	600	200	100	50	15,5
Corona pequeña	18 dientes	19 dientes	22 dientes	24 dientes	23 dientes
Corona grande	54 dientes	57 dientes	44 dientes	48 dientes	74 dientes
Diámetro de la corona pequeña	0,11 m	0,12 m	0,18 m	0,19 m	0,18
Diámetro de la corona grande	0,33 m	0,35 m	0,36 m	0,39 m	0,6 m
Longitud cadena	1,7 m	2,4 m	2,0 m	2,13m	3,1 m
Distancia central (mçax)	0,5 m	0,72 m	0,56 m	0,6 m	0,6 m

Tabla 4.6.- Especificaciones de las dimensiones de las cadenas y las ruedas dentadas

Opción 2

Par la selección del motor reductor se considerarán los requerimientos del sistema de barnizado, el cual necesita un torque máximo de 4632,54 Nm y una velocidad mínima de 15,5 RPM.

Para definir el sistema de transmisión se busca el factor de reducción (k) utilizando la ecuación 2.40, quedando:

$$k = \frac{1800}{15.5}$$
$$k = 116{,}12$$

con este factor y la *tabla 2.1*, se tiene que el mecanismo que se va usar para disminuir la velocidad es una caja reductora por engranes con una eficiencia de 0,94 (n= 0,94).

Con el torque que necesita el sistema y la ecuación *2.41* se obtiene el torque a la entrada de la caja reductora (el torque del motor):

$$C_2 = \frac{C_1}{k\ n}$$
$$C_2 = \frac{4632.54\ Nm}{116.12 * 0{,}94}$$
$$C_2 = 42.44\ Nm$$

Tomando en cuenta el torque que se necesita en la entrada y especificando que se utilizará un motor de 4 polos y 1800rpm, se calcula la potencia del mismo:

$$P = C_2\ \omega$$
$$P = 42.44\ Nm * 30\frac{rad}{s}$$
$$P = 1273{,}23\ \ W \quad (1{,}7\ hp)$$

Del catálogo de Siemens (*apéndice B.3*) y considerando los cálculos realizados anteriormente se seleccionan:

Tipo de motor	Potencia	Factor de servicio	Tensión	Nª de polos	r.p.m
Trifásico	1.8 hp	1,05	Conmutativa 220-440	4	1800

La caja reductora debe cumplir con una relación de 116,12 (k).

Rueda motriz y rueda loca

Las ruedas usadas en el tren de alimentación para permitirle al tubo el movimiento de traslación y rotación simultáneo son de acero con banda de caucho y diámetro de 0,3302 m (13 in).

4.3.7 Especificaciones técnicas para cada tubo a barnizar

A continuación se presenta un cuadro con los parámetros que debe utilizar cada tubo al momento de la aplicación del barniz

Dm(pulg) (pulg)	Ángulo λ	Drueda (m)	Numero de boquillas	RPM-RUEDA RPM
20	9	0,5	1	15,5
22	8	0,5	1	15,5
24	8	0,5	1	15,5
26	7	0,5	1	15,5
28	7	0,5	1	15,5
30	6	0,5	1	15,5
32	11	0,5	2	15,5
34	11	0,5	2	15,5
36	10	0,7	2	15,5
38	10	0,7	2	15,5
40	9	0,7	2	15,5
42	9	0,7	2	15,5
44	8	0,7	2	15,5
46	12	0,7	3	15,5
50	11	0,85	3	15,5
54	10	0,85	3	15,5
56	10	0,85	3	15,5
58	9	0,85	3	15,5
60	9	0,85	3	15,5

Tabla 4.7.- Especificaciones técnicas para cada diámetro de tubo

4.4 PRECALENTAMIENTO DE LA SUPERFICIE DEL TUBO

Antes de hacer la aplicación del barniz sobre el producto, se le realizará un calentamiento a la superficie del tubo para así permitirle al barniz adherirse rápidamente a la misma para evitar la pérdida de la película durante el traslado al cliente exponiéndolo a agentes externos.

4.4.1 Pruebas experimentales y selección de las temperaturas

Para conseguir la temperatura de convección y la temperatura de superficie del tubo que mejor se adapta a la necesidad, se realizaron pruebas experimentales con un Venturi (para obtener el aire caliente) dentro de una cámara de convección para lograr valores más cercanos a las condiciones reales; se usó como combustible gas comercial; durante las pruebas se controló el tiempo de exposición del aire caliente sobre el tubo y la distancia de la superficie del mismo a la salida del Venturi. A continuación se muestra un esquema del montaje realizado:

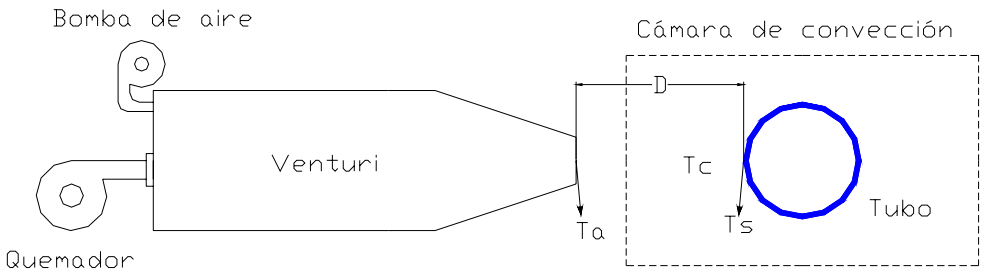


Figura 4.9.- Montaje experimental para obtener de la temperatura del medio para el precalentamiento del la superficie del tubo

Ts.... Temperatura en la superficie del tubo, ºC

Ta.... Temperatura del aire a la salida del Ventura, ºC

Tc.... Temperatura de convección, ºC

D.... distancia de la superficie del tubo a la salida del Ventura, m.

Los resultados arrojados por las pruebas realizadas se presentan en el siguiente cuadro:

Ts (ºC)	Ta (ºC)	Tc (ºC)	te (sg)	tsec (sg)
40,4	405	253	40	31
50,2	405	254	40	25
56	405	266	40	21
71	550	450	40	10
80	550	470	40	9
96,7	405	279	60	8
100	445	352	70	7
110	405	281	60	6
128,4	405	283	60	5
152	445	349,3	120	3

Tabla 4.8.- Resultado de las pruebas para obtener la temperatura del medio para el precalentamiento del tubo.

Donde:

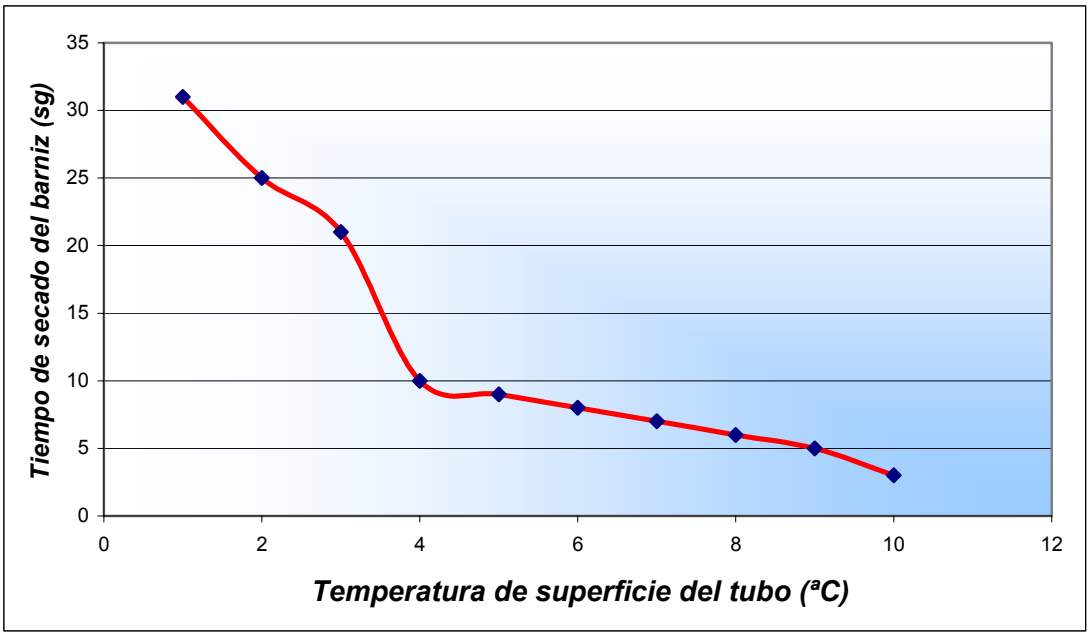
te.... Tiempo de exposición del aire caliente sobre el tubo, s.

tsec.... Tiempo de secado del barniz, s

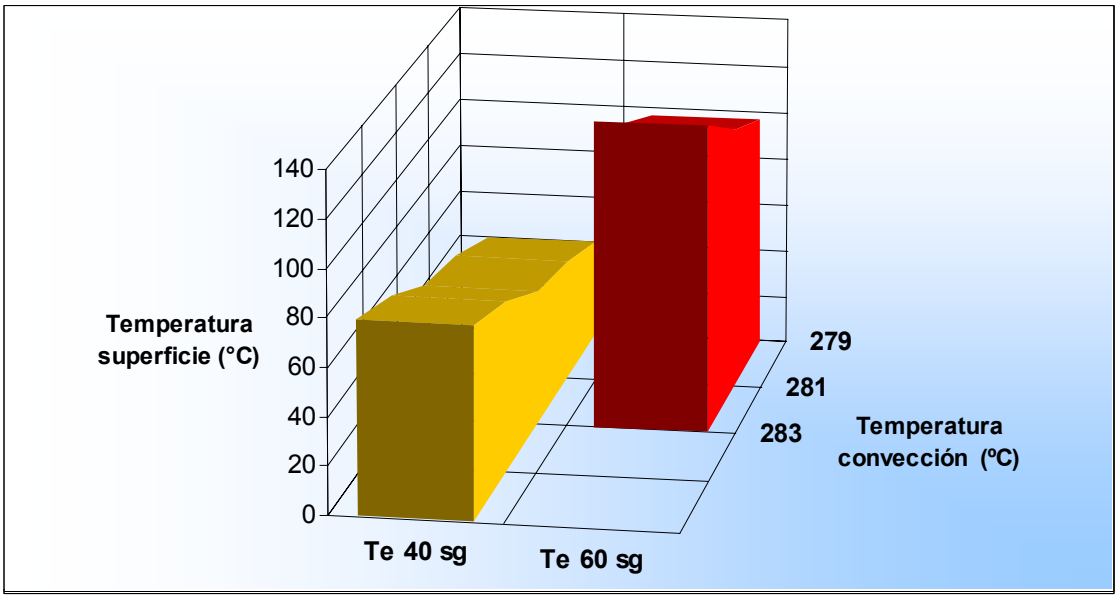
Tambiente.... Temperatura del ambiente, ªC

Hr.... Humedad relativa, %

Donde los valores tomados fueron: *D = 800 mm*, *Tambiente = 28,6 ºC* y *Hr = 52,4 %*



Gráfica 4.2.- Resultado de las pruebas para obtener la temperatura del medio para el precalentamiento de la superficie del tubo.



Gráfica 4.3.- Resultado de las pruebas para obtener la temperatura del medio para el precalentamiento del tubo.

Como se puede notar en las gráficas anteriores el tiempo de secado del barniz tiende a disminuir a medida que aumenta la temperatura de superficie del tubo y con un menor tiempo de exposición de aire caliente sobre el tubo y una mayor temperatura de convección se pueden obtener temperaturas de superficie más altas para así alcanzar en un corto periodo, un total secamiento y adherencia del barniz a la superficie del tubo.

Por los resultados obtenidos las temperaturas de convección y de superficie a utilizar serán:

Tc = 323 ºC (596,15 K)

Ts = 89 ºC (362,15 K)

4.4.2 Requerimiento de calor debido a la sección del tubo que pasa por el horno y se calienta

Consideraciones:

- Condición de estado estable
- Temperatura superficial del tubo uniforme
- Convección forzada
- Flujo cruzado

Número de Nusselt

Para el número de Nusselt se utilizará la ecuación empírica debida a Hilpert para cilindro circular en flujo cruzado para Pr ≥ 0,6 (número de Prandtl)

$$N_{UD} = C\left(R_{ED}\right)^{m} P_r^{1/3} \qquad (4.29)$$

$$T_f = \frac{T_s + T_c}{2} = \frac{362 + 596}{2} = 479\ K \qquad (4.30)$$

Evaluando en T_f, se obtienen los valores de las propiedades termofísicas necesarias:

	550 ºK	**600 ºK**	**575 ºK**
ν (m^2/s)	$45{,}57x10^{-6}$	$52{,}69x10^{-6}$	$35{,}5x10^{-6}$
κ (w/mºK)	$43{,}90x10^{-3}$	$46{,}90x10^{-3}$	$39{,}64x10^{-3}$
α (m^2/s)	$66{,}70x10^{-6}$	$76{,}90x10^{-6}$	$52{,}22x10^{-6}$
P_r	0,683	0,685	0,683

Re_D	**C**	**M**
0.4–4	0.989	0.330
4–40	0.911	0.385
40-4000	0.683	0.466
4000-40,000	0.193	0.618
40,000-400,000	0.027	0.805

Tabla 4.9.- Constantes para el número de Nusselt debida Hilpert para el cilindro circular en flujo cruzado
Fuente.- Incropera, F. 1996

Asumiendo $R_{ED} = 2x10^6$, se conoce de la *tabla 4.9* los valores de C = 0,193 y m = 0,618.

Sustituyendo en la ecuación 4.29

$$N_{UD} = 0{,}683\left(2x10^6\right)^{0{,}618}\left(0{,}683\right)^{1/3} = 34{,}64$$

Coeficiente de convección

$$N_{UD} = \frac{hD}{\kappa} \quad \Rightarrow \qquad h = \frac{N_{UD}\,\kappa}{D} = \frac{34{,}64 * 39{,}64x10^{-3}}{1{,}524} = 34{,}64 \ \text{W/m}^2\,\text{K} \qquad (4.31)$$

Transferencia de calor por convección por unidad de superficie

$$q' = h\,(T_c - T_s) = 34{,}64 * (596 - 362) = 8105{,}21\,W/m^2 \qquad (4.32)$$

No toda la superficie del tubo se encuentra a la vez sometida a la acción del calor, sino por sección, debido a que es un horno continuo, por lo tanto el área expuesta es:

$$A = 2\,\pi\, r_m\, L_e = \pi 1{,}524 * 1 = 4{,}79\ m^2 \qquad (4.33)$$

Transferencia de calor por convección en la cabina de precalentamiento

La transferencia de calor por convección en la cabina de precalentamiento es:

$$q = q\ A = 8105{,}21 * 4{,}79 = \textbf{38,828 kW} \quad \textbf{(132486 BTU/h)} \qquad (4.34)$$

4.4.3 Selección del aislante térmico

El aislante térmico a utilizar en el horno de precalentamiento es fibra vegetal clase I (según norma covenin 2023-83), ya que cumple con la temperatura de trabajo de la cabina de precalentamiento (temperaturas hasta 455 ºC),

Las dimensiones del aislante escogido son las siguientes dimensiones (según norma covenin 2023-83):

Largo	1,25 ± 12,7 m
Ancho	1,00 ± 6x10^{-6} m
Espesor	150 mm (+ 6,4 mm; - 3,2 mm)

Con una conductividad térmica de k = 0,056 W/m K

4.4.4 Pérdidas de calor a través de paredes y piso

El área de pérdidas por paredes y techo es:

$$A_p = 2\,(ancho * alto) - 2\left(\frac{\pi\, d_a^{\,2}}{4}\right) + (ancho * largo) + 2(largo * alto)$$

$$A_p = 2(2 * 2{,}2) - 2(2{,}3) + 2(1{,}5 * 2{,}2) + (2 * 1{,}5) = 13{,}8\ m^2$$

Tomando en cuenta que el cálculo del área no se encuentra ninguna previsión sobre la sección de entrada y la de salida del tubo, se le aplicará un factor de seguridad de 1,3 quedando:

$$A_p = 17{,}94\ \ \mathrm{m}^2$$

Las paredes del horno están compuestas por láminas de acero al carbono con espesor de 2 mm y con aislante seleccionado anteriormente, por lo tanto se puede calcular la transferencia de calor a través de un circuito eléctrico a partir de la *figura 4.10*:

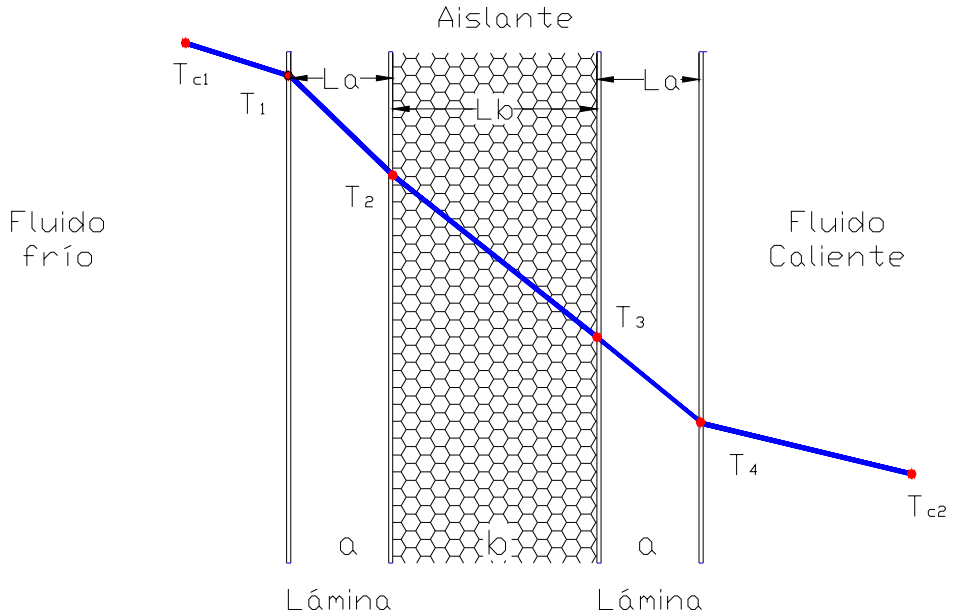


Figura 4.10.- Esquema de la pared compuesta de la cabina de precalentamiento

$$q_x = \frac{Tc_1 - T_c}{\sum R_T} \qquad (4.35)$$

La zona donde se estará ubicado la cabina de precalentamiento es bastante aireado por lo que se tomará un coeficiente de convección libre para la parte de de 25 W/m^2 K y para la parte interior un coeficiente de convección forzada de 100 W/m^2 K.

Los valores de T_{c1} y T_{c1} son de ***323 ºC*** y ***28,6 ºC*** respectivamente.

El coeficiente de transferencia de calor por convección libre para el aire se tomará de: 25 W/m^2 K (*ver apéndice B.6*) y para la conductividad térmica del acero se usará: 63,9 W/m K (*ver apéndice B.7*), el área de transferencias de calor se aproxima a 18 mts^2.

La sumatoria de las resistencias eléctricas es:

$$R_t = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L_a}{k_a A} + \frac{L_b}{k_b A} + \frac{L_a}{k_a A} + \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{18}\left(\frac{1}{100} + \frac{0{,}002}{63{,}9} + \frac{0{,}100}{0{,}056} + \frac{0{,}002}{63{,}9} + \frac{1}{25}\right) = 0{,}11\ K/W$$

La diferencia de temperatura es:

$$\Delta T = T_c - T_{ambiente} = (596{,}15 - 301{,}75) = 294{,}4\ K = 21{,}25\ ^{a}C \qquad (4.36)$$

Sustituyendo en se tiene:

$$q_x = \frac{294{,}4}{0{,}11} = \mathbf{2676{,}36\ W}$$

4.4.5 Transferencia de calor total

Tomando en cuenta las pérdidas de calor a través de paredes, piso y techo; y agregando el 15 % para cubrir las pérdidas causadas por humedad en el aire, infiltraciones y pérdidas por las secciones de entrada y salida del tubo, se tiene:

$$q_{total} = (q + q_p) * 1{,}15 = 1{,}15\,(38828 + 2676{,}36) = \mathbf{47{,}73\ kW} \quad \mathbf{(161837{,}88\ BTU/h)}$$

Este es el aporte que se necesita del quemador para obtener el precalentamiento que se requiere.

Por otra parte se puede ver que el calor necesario para calentar el tubo es mucho mayor que el calor perdido en paredes y piso, representando este último el 5,61 % del calor total requerido.

4.4.6 Selección del quemador

Se selecciona un quemador modelo Nª 60 HSG200 (*ver apéndice B.8*) con las siguientes especificaciones:

Tipo de combustible	Potencia	Motor	Longitud disponible
Gas Natural	(60-200) MBTU	3450-115V-2,4A	6 in

Tabla 4.10.- Características del quemador de la cabina de precalentamiento

4.4.7 Selección del ductos de suministro

El material del ducto de suministro es de acero galvanizado y tomando en cuenta el diámetro del tubo de aire del quemador se selecciona una sección de ducto de 14”x14” (0,36x0,36 m) y una longitud recta de 0,7 m. Posee un recubrimiento de fibra vegetal tipo I de 150 mm de espesor a lo largo de la ductería.

Las pérdidas en la ductería de suministro son despreciables debido a la corta longitud de la misma, y a que no posee accesorios.

4.4.8 Sistema de extracción

Para la extracción de la cabina de precalentamiento se utilizará el efecto chimenea de tiro natural con campana.

Campana de extracción

La campana de extracción a utilizar es de sección rectangular considerada de baja altura ya que la distancia entre la boca de la campana y el foco caliente no es superior al diámetro del foco, cuyas dimensiones considerando las de la cabina de precalentamiento son:

Ancho = 2 m

Largo = 1,5 m

Altura = 0,98 m

El caudal (Q_c) manejado por la campana depende del ancho de la campana rectangular (b), de la diferencia de temperatura entre el foco caliente y el aire ambiente (ΔT) y la longitud de la campana rectangular (L):

$$Q_c = 0{,}06\, L\,(b)^{1{,}33}\,(\Delta T)^{0{,}42} = 0{,}06 * 1{,}5 * (2)^{1{,}33} * (89 - 28{,}6)^{0{,}42} = \mathbf{1{,}3\ m^3/sg} \quad \textit{(4.37)}$$

Dimensionamiento de la chimenea

Tiro teórico (D_1)

Está definido como la presión estática que resulta de la diferencia de densidad entre una columna estancada de gases de combustión caliente y una columna equivalente de aire ambiente y viene expresada:

$$D_1 = C_1 BH\left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_m}\right) \qquad \textit{(4.38)}$$

De los *apéndices B.9* y *B.10* se tiene T_m = 182 ºC y B = 759,8 mmHg, tomando H = 10 mts por dimensiones del galpón, T_o = 28,6 ºC y la constante adimensional C_1 =0,03413, se tiene sustituyendo en la ecuación *4.38*:

$$D_1 = 0{,}03413 * 759{,}8 * 10\left(\frac{1}{28{,}6} - \frac{1}{182}\right) = 7{,}64\ Pa$$

Pérdidas en el sistema

Para el cálculo de las pérdidas se usará el "metido de coeficiente de pérdida o de altura dinámica", porque en los sistemas de chimenea los accesorios suelen causar la mayor parte de las pérdidas de carga del sistema y los coeficientes conservadores que ofrecen una base adecuada para el diseño del sistema.

El material a utilizar en la chimenea es acero galvanizado de sección cuadrada con dimensiones ***16"x16" (0,41x0,41 m)***, con un diámetro equivalente de 0,37 m y con un espesor de 3 mm (*ver apéndice B.11*).

La velocidad en la chimenea se tomará en 10,67 m/s (640 m/min) (ELIAS, Humberto. 1975), la densidad del gas de combustión ρ_m = 0,64 kg/m^3 (*ver apéndice B.12*) y los coeficientes de pérdidas (k) usando el diámetro equivalente escogido anteriormente son:

Dos codos de 90º $\Rightarrow$ k = 2*0,75 = 1,5 *(ver apéndice B.13)*

Sombrerete de parachispa $\Rightarrow$ k = 0,5 *(ver apéndice B.13)*

Por lo tanto las pérdidas en el sistema son:

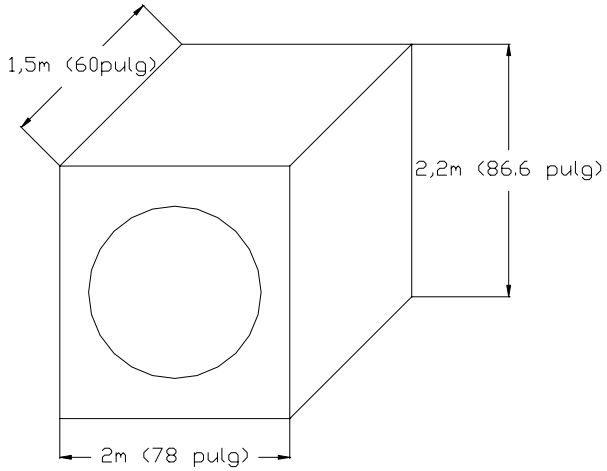
$$\Delta P = \frac{\kappa \rho_m V^2}{5{,}2*(2*g)} = \frac{(1{,}5+0{,}5)*0{,}64*(10)^2}{5{,}2*(2*9{,}81)} = 1{,}25\ Pa \qquad (4.39)$$

Como el tiro teórico (D_1 = 7,64 Pa) excede las pérdidas del sistema, la chimenea está bien dimensionada.

4.5 CABINA DE BARNIZADO

4.5.1 Dimensionamiento

Las dimensiones de la cabina de barnizado son:



De las dimensiones anteriores se tiene que el volumen de la cabina es:

$$V = ancho * largo * alto$$
$$V = 2*1{,}5*2{,}2 = 6{,}6\ m^3 \quad (71{,}04\ ft^3) \qquad (4.40)$$

Área efectiva

Siendo el área efectiva (A_e) el espacio disponible para la circulación del aire en la cabina y para su cálculo se tomará en cuenta el tubo más crítico (0,508 m; 20 pulgadas), ya que es donde existe la posibilidad de que se produzca turbulencia dentro de la cabina y se vea perjudicado tanto el barnizado como los trabajadores, al laborar en un ambiente poco saludable, se tienen las siguientes dimensiones:

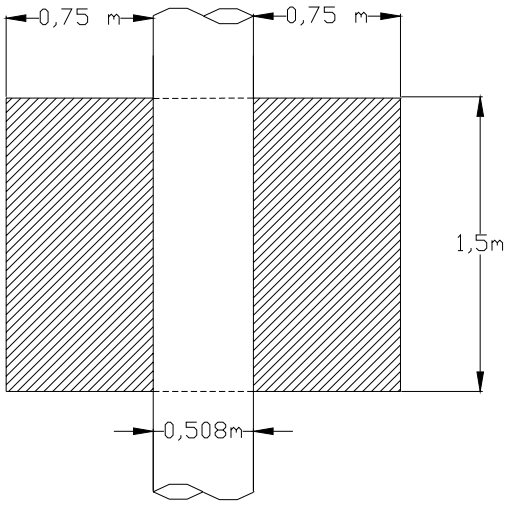


Figura 4.11.- Área efectiva de la cabina de barnizado

De la figura anterior el área efectiva es:

$$A_e = 1{,}5 * (0{,}75 + 0{,}75) = 2{,}25\ m^2 \quad (24{,}22\ ft^2)$$

4.5.2 Extracción de la cabina de barnizado

Se utilizará ventilación forzada para el sistema de extracción de la cabina de barnizado para así facilitar la ventilación dentro de la misma, renovando el ambiente

con la aportación de aire del exterior; además esta circulación forzada de aire, vertical y hacia abajo, es la encargada de arrastrar los restos de pulverización aerográfica.

También se colocará en la parte superior de la cabina un plenum para lograr la uniformidad del aire dentro de la misma y para eliminar las partículas finas de polvo que provienen del medio ambiente para evitar que la suciedad quede adherida a la película del barniz.

4.5.3 Cálculo del caudal

Considerando una corriente media de aire en la zona de barnizado, cabina de pequeño tamaño, contaminante de mediana toxicidad y operaciones continuas, del *apéndice B.14*, se seleccionó la velocidad de captura en: V_c = 1,778 m/s (350 ft/min).

Como el caudal a manejar en la cabina depende de la velocidad de captura y del área efectiva, se tiene:

$$Q = V_c\, A_e = 1{,}778 * 2{,}25 = \mathbf{4\ m^3/s} \quad (8475{,}52\ ft^3/\text{min}) \qquad (4.41)$$

A partir del caudal manejado se tiene que los cambios por hora en la cabina es de:

$$Q = C\, V_{olumen} \quad \Rightarrow \quad C = \frac{Q}{V_{olumen}} = \frac{4}{6{,}6} = \mathbf{0{,}61\ cambios/s} \quad (2181{,}82\ cambios/h) \quad (4.42)$$

4.5.4 Dimensionamiento de los ductos

Criterios de selección:

- Se asume la velocidad del ducto de suministro y extracción en: V = 10,16 m/s (2000 ft/min).
- Considerando que sólo se transporta aire limpio y que el espacio de la cabina

disponible (área efectiva) es relativamente pequeña, se utilizará una ductería de forma cuadrada.

- Material de la ductería acero galvanizado

Cálculos:

De las tablas del *apéndice B.15*, se tiene un diámetro de: ϕ=1,020 m (40,2 in).

Usando las tablas equivalentes tanto en la pérdida de fricción como en la capacidad del *apéndice B.16*, a partir del diámetro obtenido, se dimensiona el ducto rectangular:

A = 1,07 m (42 in) (ancho)

B = 0,36 m (14 in) (alto)

El espesor del ducto según la tabla del *apéndice B.17*, es de 0,051 in (1,3 mm)

4.5.5 Selección de filtros

Para el sistema de ventilación de la cabina de barnizado se utilizarán filtros tanto en el suministro de aire como en la extracción de los solventes y partículas de barniz, para evitar inconvenientes en el recubrimiento del tubo y reducir la contaminación ambiental en el área.

Sistema	Tipo de filtro	Cantidad	Velocidad	Dimensiones
Suministro	Lavable, metálico	3	2000 ft/min	16 x 25 in (0,40 x 0,63) m
Extracción	Lavable, metálico	3	2000 ft/min	16 x 25 in (0,40 x 0,63) m

Tabla 4.11.- Filtros para el sistema de ventilación de la cabina de barnizado (ver *apéndice B.18*)

4.5.6 Plenum

Dimensionamiento

Para que el caudal a la entrada de la cabina sea aproximadamente igual al caudal extraído de la misma, el plenum tendrá una inclinación en su geometría:

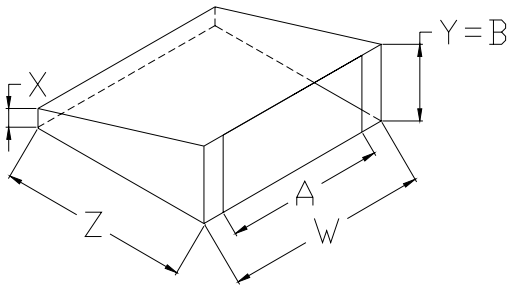


Figura 4.12.- Dimensiones del plenum (ver plano)

Como se muestra en la figura anterior, el aire suministrado al plenum será por la parte lateral central del mismo, por lo tanto: Y = B = **0,36 m** (14,17 in).

Asumiendo que el caudal en la salida del plenum es un quinto (1/5) del caudal de entrada del mismo y la relación de distancia tienen la misma proporción que los caudales, se tiene que:

$$\frac{Q_s}{Q_e} = \frac{X}{Y} = \frac{1}{5}$$
$$X = \frac{Y}{5} = \frac{0{,}36}{5} = \mathbf{0{,}072\ m} \quad (2{,}83\ in) \qquad (4.43)$$

"W" y "Z" dependen de las dimensiones de los filtros, por lo tanto sus valores son **48 in (1,2 m)** y **75 in (1,9 m)**, respectivamente.

El material del plenum es acero galvanizado.

4.5.7 Pérdidas de sistema de extracción

Para el cálculo de las pérdidas se empleará el método de presión de velocidad.

Pérdidas de carga

Criterios de diseño

- Ductos de acero galvanizado.
- Aire en los ductos en condiciones normales (densidad 1,2 Kg/m^3).
- Ductos limpios.
- Coeficiente de fricción de 0,2

Pérdidas en tramos rectos

Con los valores: Q = 4 m^3/s y ϕ = 1,020 m (40,2 in), en la tabla del *apéndice B.19* se tiene que las pérdidas de carga por metros en los tramos recto del ducto para el suministro y para la extracción son:

$$H_{fs} = H_{fe} = 0{,}014 \text{ pérdidas por m}$$

Con V = 10,16 m/s (2000 ft/min), se tiene del la tabla del *apéndice B.21*, una presión de dinámica PD = 6,32 mmcda (milímetros de columna de agua).

La longitud del ducto del tramo de suministro es: Ls = 1,47 m.

La longitud del tramo recto de extracción es: Le = 10,1 m.

Por lo tanto las pérdidas de carga en los tramos rectos para el sistema de suministro y extracción en milímetros de pulgadas de agua son:

$$\begin{aligned} P_{td_s} &= H_f\, Ls\, PD = 0{,}014 * 1{,}47 * 6{,}32 = \mathbf{0{,}13\ mmcda} \quad \mathbf{(1{,}27\ Pa)} \\ P_{td_e} &= H_f\, Le\, PD = 0{,}014 * 10{,}1 * 6{,}32 = \mathbf{0{,}89\ mmcda} \quad \mathbf{(8{,}75\ Pa)} \end{aligned} \qquad (4.44)$$

Pérdidas en accesorios

Para el cálculo de las pérdidas en los accesorios se utilizará la expresión matemática en función del PD o presión dinámica que es:

$$h_f = n * PD \qquad (4.45)$$

El coeficiente "n" de pérdidas de carga producidas en codo de sección rectangular (*ver apéndice B.20*) es:

$$\frac{B}{A} = \frac{0{,}36}{1{,}07} = 0{,}34$$
$$\frac{R}{B} = \frac{0{,}05}{0{,}36} = 0{,}14 \qquad \Rightarrow \qquad n = 0{,}22$$

Del *apéndice B.21,* se tiene n = 0,8 para la pérdida de carga producida en cambios graduales de sección para una ductería rectangular.

Por lo tanto las pérdidas por accesorios en la ductería de suministros usando un codo y un cambio gradual de sección es:

$$h_{fs} = 0{,}249\,(0{,}8 + 0{,}22) = 0{,}25\ mmcda \quad (2{,}45\ Pa)$$

Las pérdidas por accesorio en los ductos de extracción usando cuatro codos y dos cambios graduales son:

$$h_{fe} = 0{,}249\,(4 * 0{,}22 + 2 * 0{,}8) = 0{,}62\ mmcda \quad (6{,}07 Pa)$$

Pérdida total

Por la tanto la pérdida total en los ductos para cada sistema es:

$$P_s = P_{td_s} + h_{fs} = 0{,}13 + 0{,}25 = 0{,}38\ mmcda \quad (3{,}52 Pa)$$
$$P_e = P_{td_e} + h_{fe} = 0{,}89 + 0{,}62 = 1{,}51 mmcda \quad (14{,}70 Pa) \qquad (4.46)$$

4.5.8 Presión estática del ventilador

Suministro

La presión que debe aportar el ventilador para suministrar el caudal que se requiere en el sistema es:

$$Pe_s = 0{,}2\left(P_s + P_1\right)$$
$$P_1 = P_{filtro} + P_{toma} = 0{,}1 + 0{,}05 = 0{,}15\ mmcda\ (0{,}0059\ inH_2O) \qquad (4.47)$$
$$Pe_s = 0{,}2\left(0{,}38 + 0{,}15\right) = \mathbf{0{,}105\ mmcda\ (0{,}0041\ inH_2O)\quad (1{,}03\ Pa)}$$

Extracción

La presión estática que debe aportar el ventilador para suministrar el caudal requerido en la extracción es:

$$Pe_e = 0{,}2\left(P_e + P_2\right)$$
$$P_2 = P_{filtro} + P_{toma} = 0{,}1 + 0{,}05 = 0{,}15\ mmcda\ (0{,}0059\ inH_2O) \qquad (4.48)$$
$$Pe_e = 0{,}2\left(1{,}51 + 0{,}15\right) = \mathbf{0{,}332\ mmcda\ (0{,}13\ \ inH_2O)\quad (32{,}53\ Pa)}$$

4.5.9 Selección de los ventiladores

Para el sistema de ventilación de la cabina de barnizado se seleccionó los siguientes ventiladores, ya que cumplen con los requerimientos necesarios por los cálculos realizados:

Sistema	Tipo de ventilador	Caudal (ft^3/min)	Velocidad (Ft/mim)	Caída de presión (inH_2O)	Motor eléctrico
Suministro	Centrífugo	8500	2000	0,0041 (1,03 Pa)	Siemens 3,6 hp, 1800 rpm trifásico, 220/440V
Extracción	Axial	8500	2000	0,332 (32,53 Pa)	Siemens 3,6 hp, 1800 rpm trifásico, 220/440V

Tabla 4.12.- Ventiladores para el sistema de ventilación (*ver apéndice B.22*)

4.6 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Para el análisis de las estructuras de la cabina de precalentamiento y la cabina de barnizado se utilizó el Software SAP2000.

Este software es un programa de análisis de de estructuras, por medio del método de los elementos finitos, que incluye un postprocesador gráfico para la presentación de resultados.

La preparación de datos para el desarrollo de un problema comprende básicamente:

1. La descripción de la geometría estructural y de los materiales, así como sus condiciones de borde y datos generales.

2. La definición de los estados de carga para los cuales la estructura precisa ser analizada.

4.6.1 Selección de la estructura de la cabina de precalentamiento

Se utilizarán tubos COVENIN de 60x60 mm con espesor de 2,5 mm *(ver anexo B.23)* de acero estructural en toda la estructura para facilitar las uniones entre las mismas que serán a través de soldadura. Los datos de los estados de carga y de dimensiones de la cabina introducidos fueron:

Datos	**Valor**
Peso de la campana (SCM)	100 kg
Peso de la lámina (CM)	40 kg
Carga viva (CV)	100 kg
Ancho de la cabina	2 m
Largo de la cabina	1,5 m
Alto de la cabina	2,2 m

Tabla 4.13.- Datos para el análisis de la estructura de la cabina de precalentamiento

La combinación utilizada fue: *Combinación: 1,4 CM + 1,4 SCM + 1,2 CV*

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

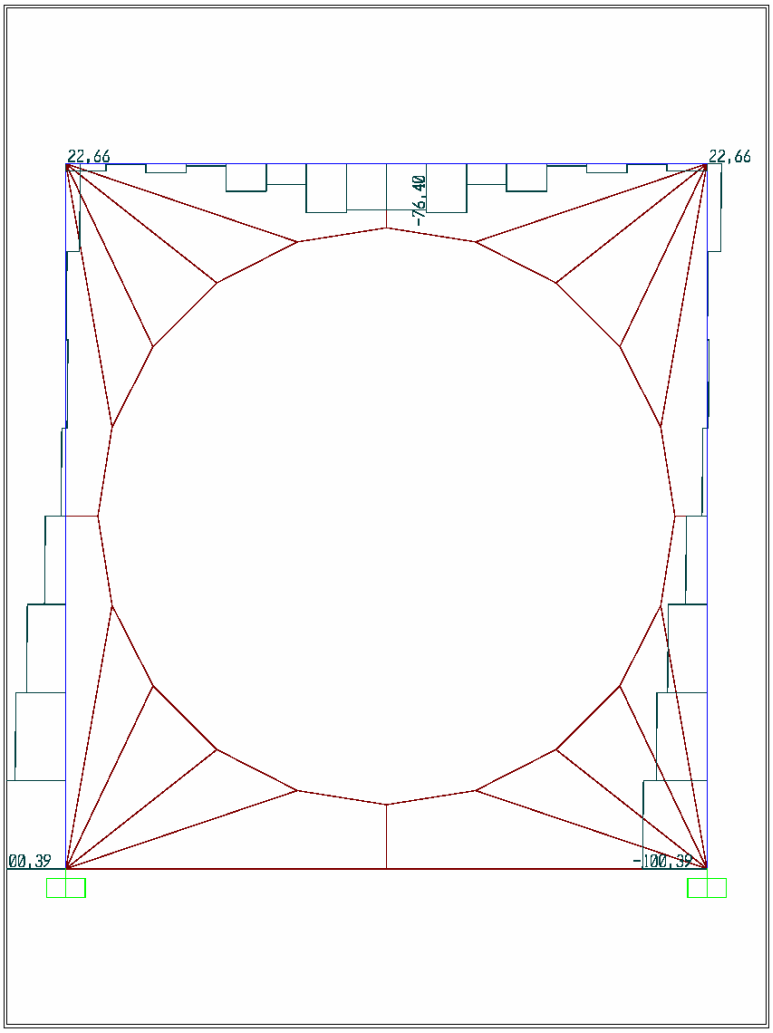


Figura 4.13.- Diagramas de fuerza en la estructura de la cabina de precalentamiento

En la *figura 4.13*, se describe el diagrama de fuerza en la que se encuentra sometida la cara de la estructura más crítica de la cabina de precalentado (cara delantera y tracera). Se aprecia que las vigas se encuentran sometidas a compresión siendo el valor más alto *-100,39 kgf*. La división de secciones (triángulos rojos) que se observa en la figura son las particiones que se realizaron para obtener los valores, ya que el programa trabaja con elementos finitos.

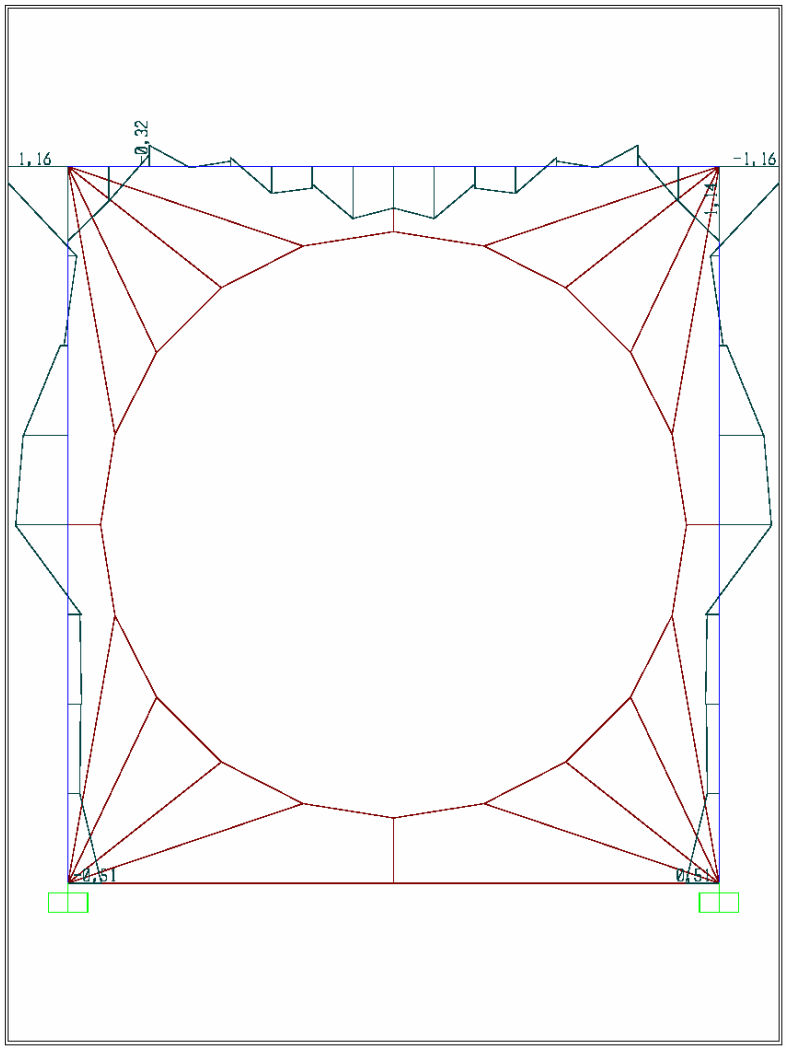


Figura 4.14.- Diagramas de momento en la estructura de la cabina de precalentamiento

En la *figura 4.14*, está referida al diagrama de momento de la cara de la estructura más crítica donde se puede observar que el momento más alto al que se encuentra sometido la estructura es de 1,16 Kg m. al igual que en la figura anterior (*figura 1.15*) los triángulos en rojo representan una lámina que fue segmentada o dividida para obtener el análisis.

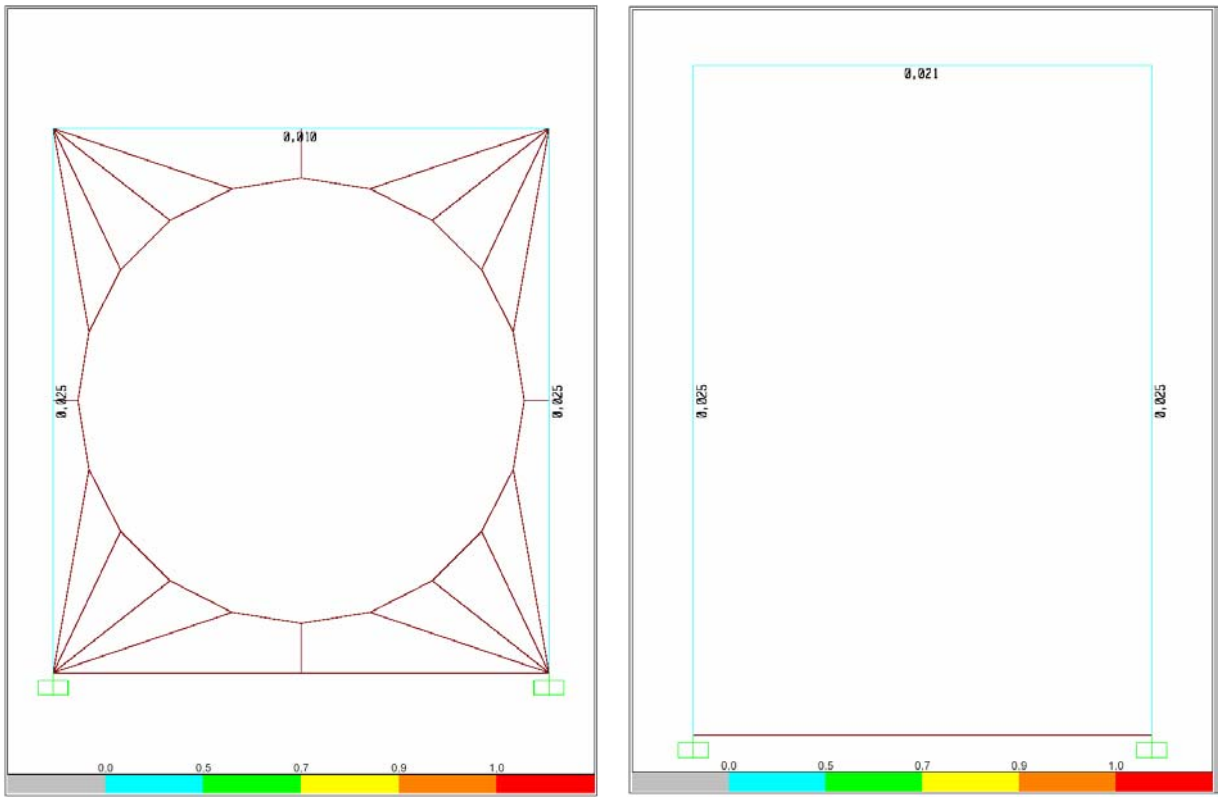


Figura 4.15.- Resultado de la capacidad última de las vigas de la cabina de precalentamiento

En la *figura 4.15*, se presentan los resultados de la capacidad última de las vigas seleccionadas, las cuales vienen expresadas por niveles de colores que van desde el gris que significa lejos de su carga máxima última hasta el rojo que representa la carga máxima última.

Como se puede observar en la figura de la izquierda que se refiere a la cara frontal de la cabina de recalentamiento, las vigas se encuentran en color azul, la lateral posee un valor de carga última de 0,025 lo que significa que está trabajando al 2,5 % de su valor máximo y la viga superior e inferior se encuentran sometidas al 1% de su carga última. Por lo antes explicado se concluye que los perfiles seleccionados cumplen muy

satisfactoriamente con el peso al cual se encuentra sometida la estructura de la cabina de precalentamiento.

4.6.2 Selección de la estructura de la cabina de barnizado

Las vigas de la estructura serán tubos COVENIN 60x60 mm con un espesor de 2,5 mm de acero estructural soldados, los datos de carga y altura definidos son**:**

Peso del penum (SCM)	100 kg
Peso de la lámina (CM)	40 kg
Carga viva (CV)	100 kg
Ancho de la cabina	2 m
Largo de la cabina	1,5 m
Alto de la cabina	2,2 m

Tabla 4.14.- Datos para la selección de la estructura de la cabina de precalentamiento

A continuación se presentan los resultados obtenidos del software SAP2000:

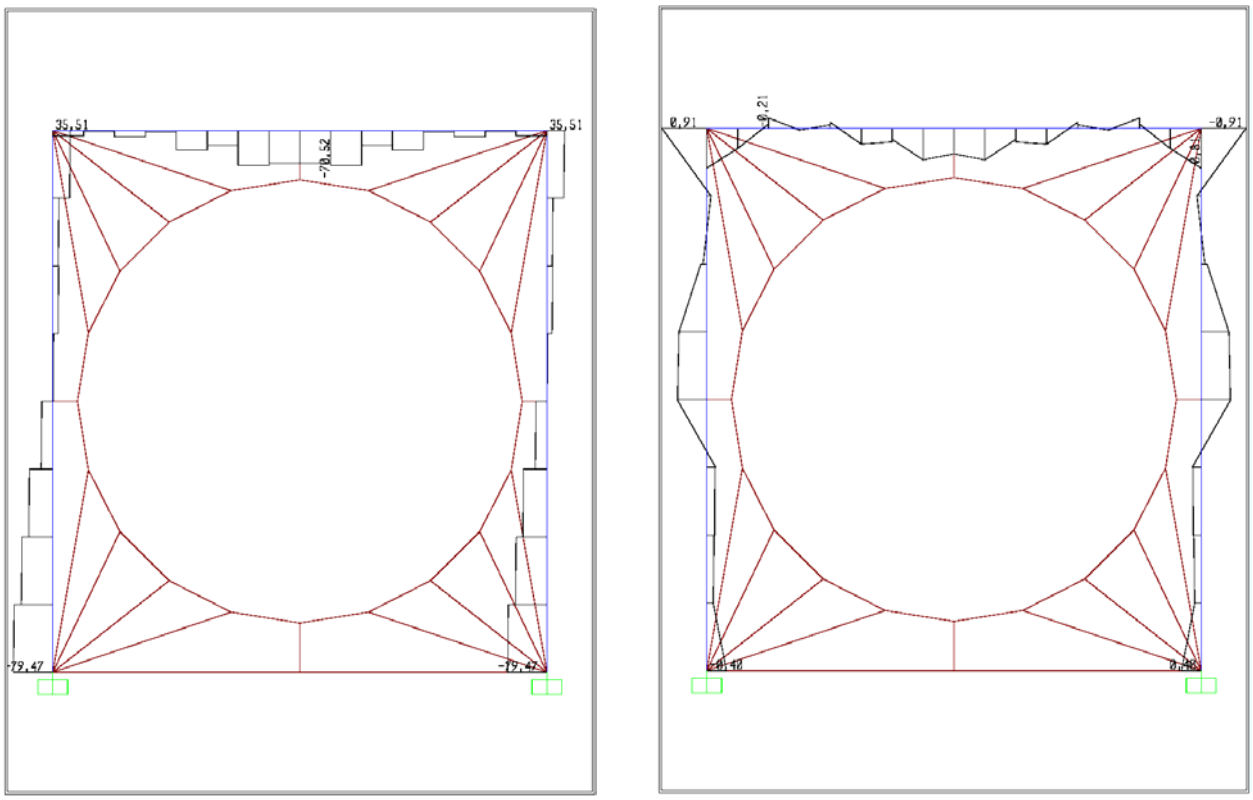


Figura 4.16 .- Diagramas de fuerza y momento de la estructura de la cabina de barnizado

En la figura anterior se puede apreciar que la cara de la estructura más crítica (cara de entrada y cara de salida del tubo) se encuentra sometida a fuerza por compresión siendo su valor máximo de -79,47 kgf y expuesta a un momento de flexión máximo de 0,91 kgf m. En las figuras se muestra un lámina con un agujero circular que es por donde pasa el tubo al momento de ser barnizado, las secciones que se aprecian son particiones que se les realizaron a la lámina para que el programa la pudiera estudiar.

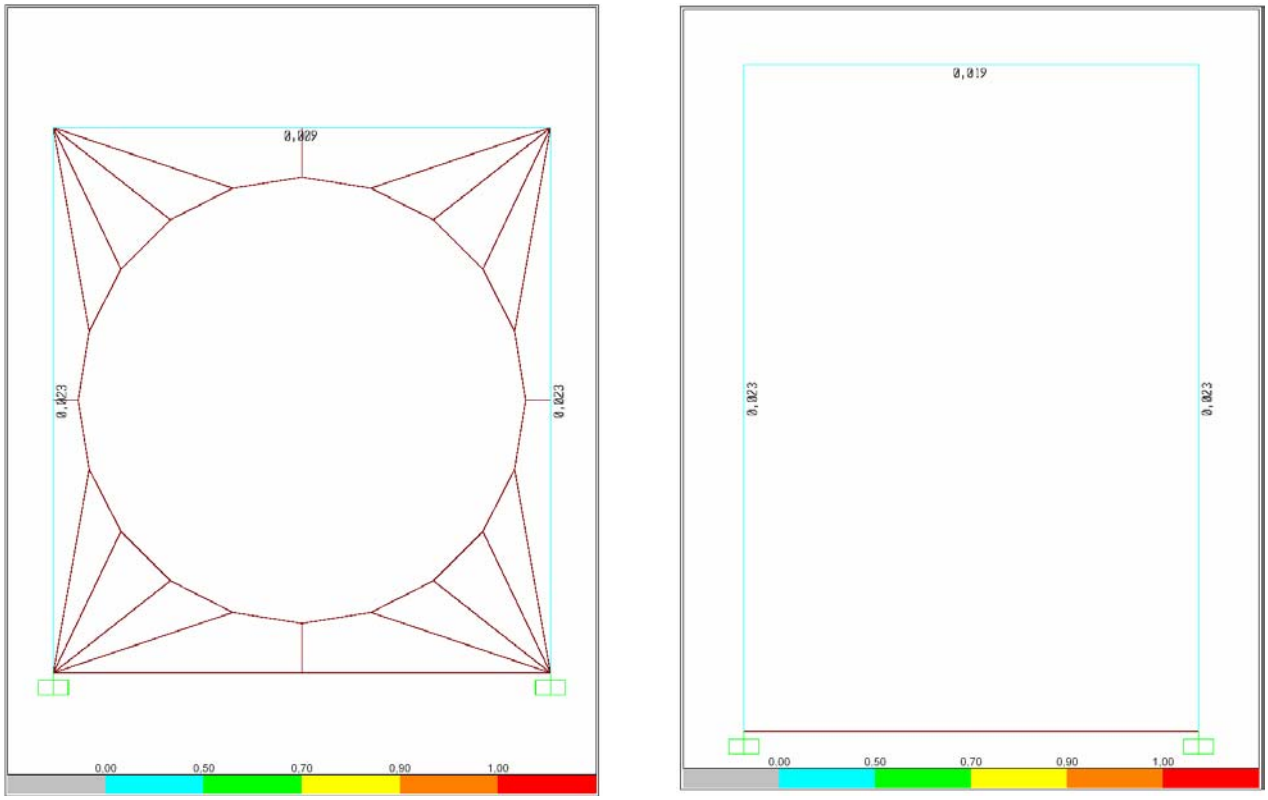


Figura 4.17.- Resultado de la capacidad última de las vigas de la cabina de barnizado

En la figura se observa que las vigas laterales están sometidas a un 2,3 % de su carga última máxima y las superiores en el caso de la sección de entrada y salida a un 0,9% y en las secciones laterales de la estructura 1,9, la diferencia se debe a la longitud de la viga en cada caso.

4.6.3 Modelo estructural de la cabina de precalentamiento y la cabina de barnizado

A continuación se presenta un modelo de la estructura tridimensional de las cabinas con los perfiles seleccionados, donde los recuadros que aparecen son las particiones que se realizaron para ser el estudio de elementos finitos a través del software SAP2000:

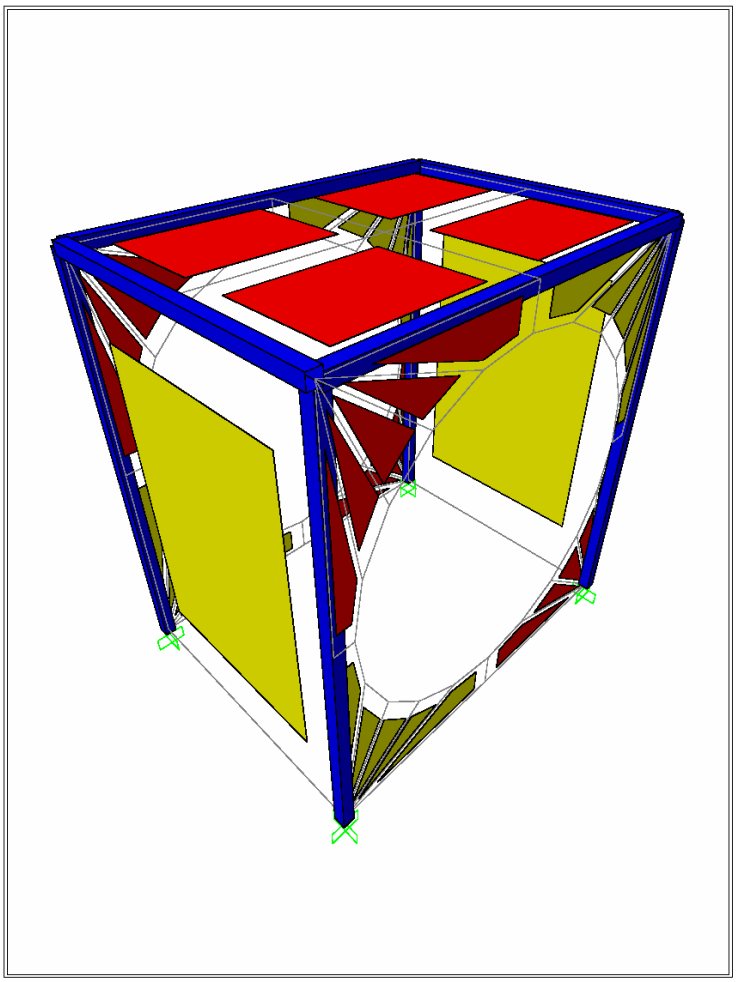


Figura 4.20.- Modelo estructural de la cabina de precalentamiento y la cabina de barnizado

5.1 AUTOMATIZACIÓN

Los automatismo (SIMON, A.1991) son dispositivos que permiten a las maquinas o las instalaciones funcionar automáticamente.

Esta estructura permite un dialógalo aprovechable entre el futuro usuario del sistema y el automatista responsable de la parte de control.

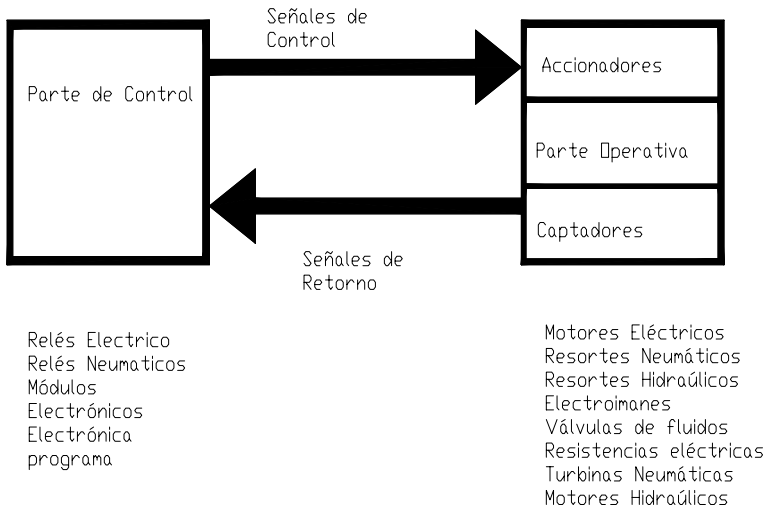


Figura 5.1.- Estructura de un automatismo

5.2 OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN

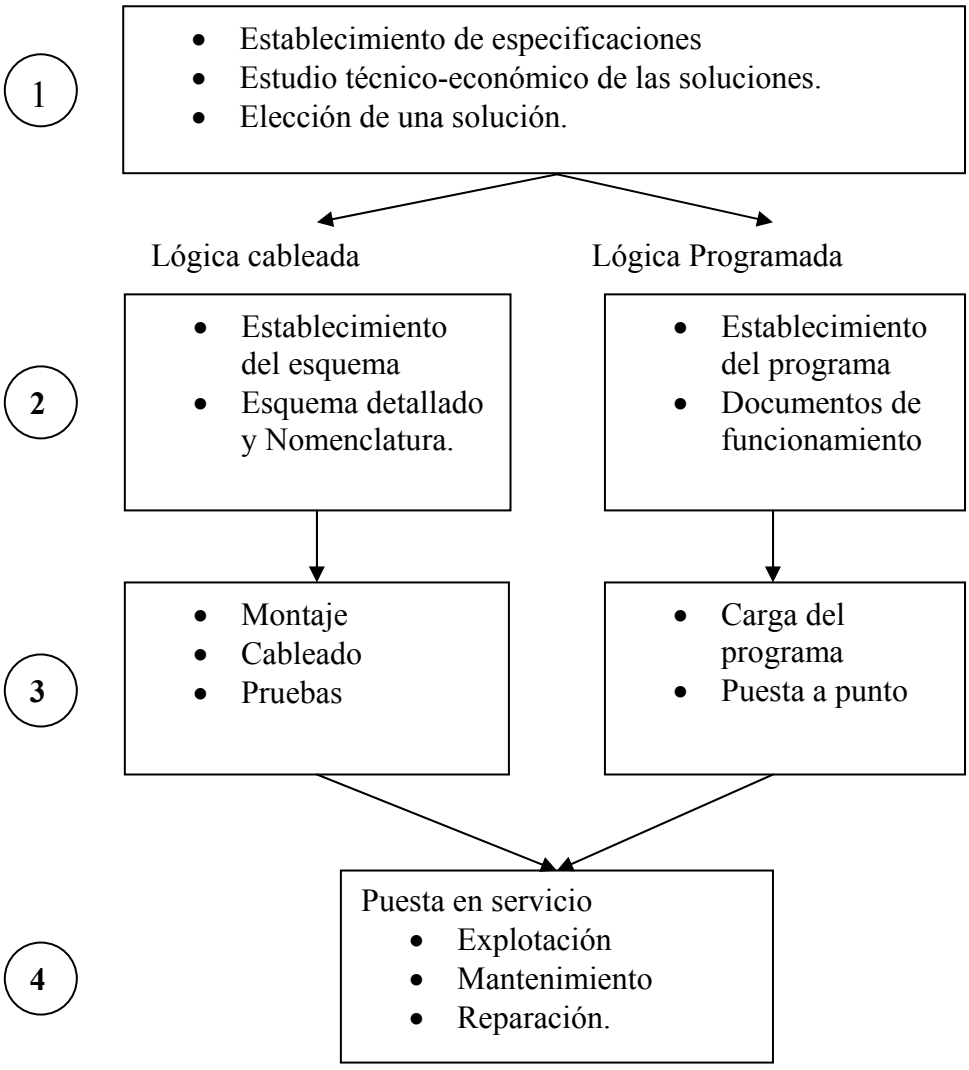
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.

- Integrar la gestión y producción.

5.3 REALIZACIÓN DE UN AUTOMATISMO

La realización de todo sistema automatizado implica el cumplimiento de una serie de etapas sucesivas e interdependientes. En efecto, se puede distinguir en los correspondientes trabajos cuatro grupos de tareas, representada en la figura siguiente:

Las cuatro etapas sucesivas para el estudio de un automatismo industrial.



1. Estudio previo (Factibilidad)
2. Estudio Y preparación
3. Fabricación y pruebas
4. Explotación.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte Operativa
- Parte de Mando

La *Parte Operativa* es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores ..y los captadores como fotodiodos, finales de carrera, etc.

5.4 DETECTORES Y CAPTADORES

Como las personas necesitan de los sentidos para percibir, lo que ocurre en su entorno, los sistemas automatizados precisan de los transductores para adquirir información de:

- La variación de ciertas magnitudes físicas del sistema.
- El estado físico de sus componentes

Los dispositivos encargados de convertir las magnitudes físicas en magnitudes eléctricas se denominan transductores.

Los transductores se pueden clasificar en función del tipo de señal que transmiten en:

- Transductores todo o nada: Suministran uña señal binaria claramente diferenciados. Los finales de carrera son transductores de este tipo.
- Transductores numéricos: Transmiten valores numéricos en forma de combinaciones binarias. Los encoders son transductores de este tipo.
- Transductores analógicos: Suministran una señal continua que es fiel reflejo de la variación de la magnitud física medida.

Algunos de los transductores más utilizados son: Final de carrera, fotocélulas, pulsadores, encoders, etc.

5.5 ACCIONADORES Y PREACCIONADORES

El accionador es el elemento final de control que, en respuesta a la señal de mando que recibe, actúa sobre la variable o elemento final del proceso.

Un accionador transforma la energía de salida del automatismo en otra útil para el entorno industrial de trabajo.

Los accionadores pueden ser clasificados en eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

Los accionadores más utilizados en la industria son: Cilindros, motores de corriente alterna, motores de corriente continua, etc.

Los accionadores son gobernados por la parte de mando, sin embargo, pueden estar bajo el control directo de la misma o bien requerir algún preaccionamiento para amplificar la señal de mando. Esta preamplificación se traduce en establecer o interrumpir la circulación de energía desde la fuente al accionador.

Los preaccionadores disponen de:

Parte de mando o de control que se encarga de conmutar la conexión eléctrica, hidráulica o neumática entre los cables o conductores del circuito de potencia.

La *Parte de Mando* suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relees electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada) . En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable esta en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

5.6 TECNOLOGÍAS CABLEADAS

Con este tipo de tecnología, el automatismo se realiza interconectando los distintos elementos que lo integran. Su funcionamiento es establecido por los elementos que lo componen y por la forma de conectarlos.

Los dispositivos que se utilizan en las tecnologías cableadas para la realización del automatismo son:

- Relees electromagnéticos
- Módulos lógicos neumáticos.
- Tarjetas electrónicas.

5.7 TECNOLOGÍAS PROGRAMADAS

Los avances en el campo de los microprocesadores de los últimos años han favorecido la generalización de las tecnologías programadas. En la realización de automatismos. Los equipos realizados para este fin son:

- Los ordenadores.
- Los autómatas programables.

El ordenador, como parte de mando de un automatismo presenta la ventaja de ser altamente flexible a modificaciones de proceso. Pero, al mismo tiempo, y debido a su diseño no específico para su entorno industrial, resulta un elemento frágil para trabajar en entornos de líneas de producción.

Un autómata programable industrial es un elemento robusto diseñado especialmente para trabajar en ambientes de talleres, con casi todos los elementos del ordenador.

5.8 LA PROGRAMACIÓN

El sistema de programación permite, mediante las instrucciones del autómata, confeccionar el programa de usuario. Posteriormente el programa realizado, se trasfiere a la memoria de programa de usuario.

Una memoria típica permite almacenar como mínimo hasta mil instrucciones con datos de bit, y es del tipo lectura/escritura, permitiendo la modificación del programa cuantas veces sea necesario.

Tiene una batería tampón para mantener el programa si falla la tensión de alimentación.

La programación del autómata consiste en el establecimiento de una sucesión ordenada de instrucciones, escritas en un lenguaje de programación concreto.

Estas instrucciones están disponibles en el sistema de programación y resuelven el control de un proceso determinado.

5.8.1 Introducción PLC

Un autómata programable industrial (API) o controlador lógico programable (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuénciales.

Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación.

Figura 5.2.- PLC

5.8.2 Campos de aplicación

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc. , por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuénciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

Ejemplos de aplicaciones generales:

- Maniobra de máquinas
- Maquinaria industrial de plástico
- Máquinas transferencia
- Maquinaria de embalajes
- Maniobra de instalaciones:
    - Instalación de aire acondicionado, calefacción...
    - Instalaciones de seguridad
- Señalización y control:
    - Chequeo de programas
    - Señalización del estado de procesos

5.8.3 Ventajas e inconvenientes

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones me obligan e referirme a las ventajas que proporciona un autómata de tipo medio.

Ventajas

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:
    - No es necesario dibujar el esquema de contactos
    - No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.

- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor coste de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

Inconvenientes

- Como inconvenientes podríamos hablar, en primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido, pero hoy en día ese inconveniente esta solucionado porque las universidades ya se encargan de dicho adiestramiento.
- El coste inicial también puede ser un inconveniente.

5.8.4 Funciones básicas de un PLC

Detección: Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.

Mando: Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.

Dialogo hombre maquina: Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.

Programación: Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómata. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómata controlando la maquina.

5.9 NARRATIVA DEL SISTEMA

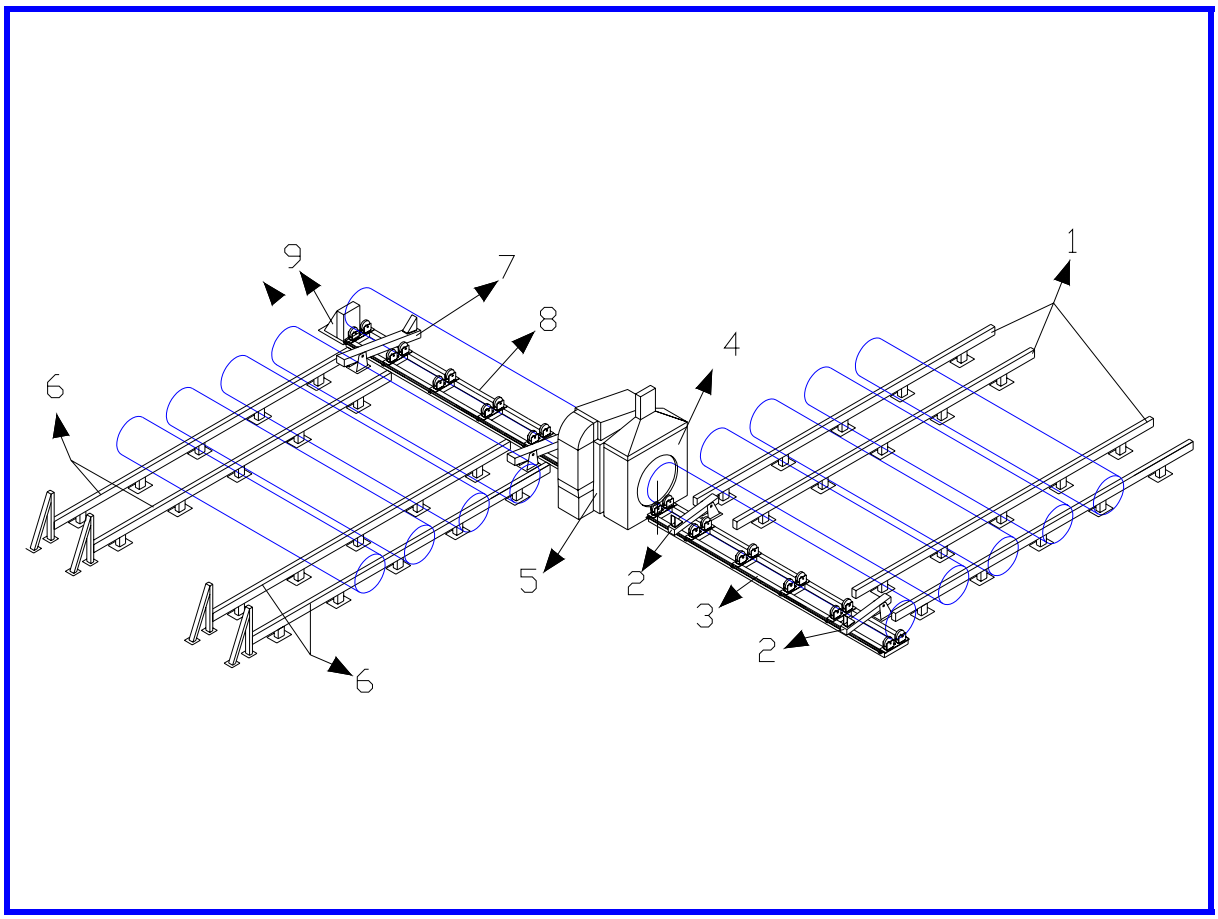


Figura 5.3.- Esquema del sistema de barnizado desarrollado

1. *Rieles de suministro*
2. *Volcadores de suministro*
3. *Tren de alimentación*
4. *Cabina de precalentado*
5. *Cabina de barnizado*
6. *Rieles de producto final*
7. *Volcadores de producto terminado*
8. *Tren de recepción*
9. *Tope final*

5.9.1 Puesta a punto

Se realiza una serie de modificaciones de forma automática desde el controlador, ya que cada tubo debe tener una configuración o receta distinta, la siguiente tabla contiene los valores a cambiar en cada caso:

Dm(pulg) (PULG)	λ	Drueda (m)	Numero de boquillas	RUEDA RPM
20	9	0,5	1	15,5
22	8	0,5	1	15,5
24	8	0,5	1	15,5
26	7	0,5	1	15,5
28	7	0,5	1	15,5
30	6	0,5	1	15,5
32	11	0,5	2	15,5
34	11	0,5	2	15,5
36	10	0,7	2	15,5
38	10	0,7	2	15,5
40	9	0,7	2	15,5
42	9	0,7	2	15,5
44	8	0,7	2	15,5
46	12	0,7	3	15,5
50	11	0,85	3	15,5
54	10	0,85	3	15,5
56	10	0,85	3	15,5
58	9	0,85	3	15,5
60	9	0,85	3	15,5

Tabla 5.1.- Especificaciones técnicas para cada tubo

5.9.2 Narrativa

El sistema se gobierna por un autómata programable (PLC) que maneja todas funciones y a su vez administra todas las recetas que están descritas para cada tubo, esto simplifica considerablemente el trabajo del trabajador y lo hace mas seguro, ya que solo manejara una un tablero del control. En el tablero de control debe haber una serie de

botones que controlen las señales de entrada (botones, reguladores, etc.) y de salida (luces, alarmas, etc.) del sistema.

Al momento en que comienza la producción y se coloca un tubo al final del riel de suministro, el operador arranca el sistema oprimiendo el botón de "START" encendiendo el quemador de la cabina de precalentado, al transcurrir el tiempo necesario para que la misma alcance su temperatura adecuada, los volcadores de suministro se activan dejando bajar un primer tubo al tren de alimentación. Este recorre el tren de alimentación pasando por la cabina de precalentado hasta llegar a la cabina de barnizado en ese momento se activan las pistolas para el barnizado por medio de unos censores en la entrada de la misma. En el momento en que el tubo termino de pasar por la cabina de precalentado los volcadores de suministro se activan dejando bajar un segundo tubo y manteniendo el tren de alimentación apagado, mediante un censor en la salida de la misma. Al salir de la cabina de barnizado hay unos censores que desactivan las pistolas del barnizado luego el tubo se desplaza por el riel de recepción hasta llegar al tope final, en el cual hay unos censores que apagan el tren de recepción, activan los volcadores de recepción y enciende el tren de alimentación dando inicio al ciclo.

Al momento de una emergencia operativa (atascamiento de volcadores, problemas en general en el tren de alimentación o de recepción, suministro de barniz, entre otros.) se pulsara un botón de parada, que detiene todo el sistema menos la sección de la cabina de precalentado, y si el quemador es el del problema se paraliza todo el sistema oprimiendo el botón de "STOP".

5.9.3 Selección de equipos

Una vez conocido todos los movimientos, las variables y características del sistema se selecciona los equipos ha usar. Todo el sistema de control se propone que sea gobernado por un PLC (Controlador lógico programable), ya que se adapta mejor a los intereses del sistema, puede trabajar con varias recetas y ser modificado cuando se presente la ocasión, con este se logra programar todos los instrumentos de control.

El PLC tiene una serie señales de entradas y salidas, las cuales conforman el mecanismo de operación del equipo, en siguiente cuadro se muestra los tipos de señales:

Señales	Entrada (input)	Salida (output)
Analógica	Temperatura del precalentador	Regulación de mezcla del quemador
Digitales	Censor de inicio	• Marcha (Start) • Activa el volcador del tren de alimentación. • Activa el tren de alimentación.
Digitales	Censor de aproximación del precalentador	• Detiene el tren de alimentación. • Activa el tren de recepción
Digitales	censor de aproximación en cabina de barnizado	• Activa las válvulas de suministro de barniz. • Desactiva las válvulas de suministro de barniz.
Digitales	Censor de tope	• Desactiva el tren de recepción- • Activa el tren de alimentación. • Acciona los volcadores de despacho.

Tabla 5.2.- Tablas de señales de entrada y salida

6.1 COSTOS DEL SISTEMA

En el estudio presentado a continuación del sistema de barnizado, no se toma en cuenta ni los costos de instalación, ni los costos de traslado de los equipos y elementos a la empresa, por lo tanto se tomará para dichos costos el 15% del costo total.

Tren de alimentación

Descripción del producto	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Motor 10 hp	2	1.600.000	3.200.000
Caja reductora	2	950.000	1.900.000
Imprevistos		5%	255.000
Total			**5.355.000**

Cabina de barnizado

Descripción del producto	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Pistola automática	3	1.710.000	5.130.000
Calderín 50 lts	1	3.630.000	3.630.000
Calderín 10 lts	1	1.600.000	1.600.000
Filtro de línea	1	500.000	500.000
Kit de regulador de presión	1	3.000.000	3.000.000
Manguera aire 6m 8x15 mm H/H	4	167.000	668.000
Manguera producto 6m 8x16 3/4 H/H	3	198.000	594.000
Manguera producto 16m 8x16 3/8 H/H	1	326.000	326.000
Lámina acero 2 mm	6	50.500	303.000
Tubo Conducen 60x60 mm	12	54.400	652.800
Filtros	3	18.000	108.000
Plenum	1	43.500	43.500
Ventilador axial	1	1.850.000	1.850.000
Ventilador centrifugo	1	1.110.000	1.110.000
Ductos		209.000	209.000
Imprevistos		5%	986.215
Total			**20.710.515**

Cabina de precalentamiento

Descripción del producto	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Aislante térmico 5x1 m	2	87.450	174.900
Quemador	1	3.500.000	3.500.000
Lamina acero 2 mm	12	50.500	606.000
Tubos Conducen 60x60 mm	12	54.400	652.800
Ductos		52.500	52.500
Imprevistos		5%	249.310
Total			**5.235.510**

Automatización y control

Descripción del producto	Cantidad	Precio unitario	Precio total
PLC	1	1.776.00	1.776.000
Imprevistos		5%	88.800
Total			**1.864.800**

Sistema de barnizado automático

Secciones	Precio total
Tren de alimentación	5.355.000
Cabina de precalentamiento	5.235.510
Cabina de barnizado	20.710.515
Automatización y control	1.864.800
Otros costos (10%)	3.316.582,5
Total	**36.482.407,5**

El costo total del sistema de barnizado es de *36.482.407,5* bolívares, considerando que se obtendrá con el sistema uniformidad en el recubrimiento del producto, la cantidad de pérdidas de producto disminuyen al igual que los costos de hombre-maquina y el costo de un sistema parecido comercialmente; el costo no se considera elevado.

6.2 MANTENIMIENTO

Para un buen funcionamiento de un sistema y/o equipo debe ejecutarse una serie de acciones para que permanezca en su estado normal de ejecución.

6.2.1 Mantenimiento en la cabina de banizado

Mantenimiento Operacional

Para el mantenimiento operacional se recomienda cada seis meses:

- Limpiar el sistema de barnizado (recipiente, mangueras, pistolas y cabinas)
- Sacar los filtros del suministro de aire y limpiarlo con aire a presión y cepillo.
- Limpiar las rejillas del suelo.

Sugerencias para un mantenimiento medio:

- Engrasar los rodamientos de los motores.
- Limpiar toda el área de barnizado.

Mantenimiento Mayor

Es recomendable realizar este mantenimiento una vez por año:

- Revisar y efectuar cambios en los ventiladores tanto de suministro de aire como e extracción del mismo.
- Limpiar los ductos (suministro y extracción)
- Cambiar los filtros de aire (suministro y la extracción)
- Cambiar los filtros de las pistolas.
- Inspección del sistema de control de las pistolas.

6.2.2.- Mantenimiento en la cabina de precalentado.

Mantenimiento Operativo.

Este mantenimiento se recomienda cada tres (3) días:

- Revisión visual de de las paredes de la cabina de precalentamiento (si están húmedas se tiene que reparar el lugar afectado)
- Revisar las conexiones del quemador para verificar fugas.

Sugerencias para un mantenimiento medio:

- Engrasar los rodamientos de los motores.
- Limpiar toda e l área de precalentado.

Mantenimiento Mayor

- Control del quemador y de la salida de humos (realizado por personal técnico cualificado y autorizado por la marca del quemador).
- Limpiar la campana de extracción del aire caliente.
- Inspección del sistema de control.

6.2.3.- Mantenimiento en el tren de alimentación y recepción.

Mantenimiento Operacional.

- Remover el barniz de la superficie tanto de las ruedas del tren que recibe el tubo después de barnizarlo como de los rieles.
- Limpiar las ruedas del tren que alimenta el sistema, de grasas o aceites que impidan le adherencia del barniz.
- Chequear el aceite de todo el tren (alimentación y recepción).

Mantenimiento Mayor.

- Engrasar los rodamientos de las ruedas.
- Verificar y/o cambiar las cadenas de la caja reductora.
- Inspección del sistema de control. (alimentación y recepción).

6.3 HIGIENE Y SEGURIDAD

Para lograr un área de trabajo apropiada para el personal que labora en el lugar, sin exponerlos a riesgos que pueda afectar su salud o las instalaciones de la empresa, se debe tomar en cuenta las siguientes precauciones según las normas ACGIH (Congreso Americano Gubernamental de Higiene Industrial):

6.3.1 Inhalación de vapores y polvos

Contra ese tipo de riesgos se recomiendan las siguientes precauciones:

- Mantener una buena ventilación en el taller
- Mantenimiento convenientemente de los filtros de las cabinas de aplicación para evitar que los vapores de barniz y los polvos contaminen la atmósfera.
- Utilizar mascarillas protectoras contra vapores y polvos.
- Abstenerse de trabajar con ajustadores, adelgazadores o thinners que carezcan de licencia de fabricación, porque pueden ocasionar ceguera, parálisis e incluso la muerte.
- Conservar bien tapados los productos que se están usando, para evitar la contaminación y la evaporación de los componentes volátiles.

6.3.2 Contacto con la piel o los ojos

Para prevenir ese tipo de riesgos adopte las siguientes medidas de precaución:

- Evite el contacto repetido y prolongado de los barnices, vapores, material volátil, ajustadores y thinners con la piel, porque pueden ocasionarle irritaciones perjudiciales.
- Límpiese de inmediato los salpiques accidentales con una tela limpia y luego lave con abundante agua y jabón para la piel.
- Para los salpiques en los ojos, se aconseja lavarse con abundante agua potable durante 15 minutos, mínimo, y en caso de que se presente irritación, dolor, dificultad para ver u otro tipo de molestia después del lavado, se consulta un médico.

6.3.3 Ingestión de barnices, ajustadores o thinners

Este tipo de accidentes se previene con las siguientes precauciones:

- Evitando el consumo o almacenamiento de alimentos o bebidas en áreas donde se usen o almacenen barniz o ajustadores o thinners.
- Aislando completamente las zonas donde se preparen o consuman alimentos.
- En caso de ingestión accidental se busca de inmediato atención médica.

6.3.4 Caída del personal

Para prevenir problemas de este tipo, se ponen en práctica las siguientes normas de seguridad:

- Mantener despejadas, limpias y bien iluminadas las zonas de circulación.

- Colocar las mangueras, tuberías y cables eléctricos de tal manera que no se tropiece o se enrede con ellas.
- Limpiar de inmediato los derrames de aceite, grasas o pinturas.
- Retirar de las áreas de circulación las herramientas, repuestos y productos.
- Reparar con prontitud los agujeros y grietas y eliminar todos los obstáculos de los pisos.
- Evitar el uso de zapatos con suelas lisas.
- Caminar en lugar de correr.
- Conservar la visibilidad completa cuando se transporte cualquier tipo de carga.
- Evitar los juegos de manos y las bromas pesadas con los compañeros de trabajo.

6.3.5 Incendios y explosiones

Este tipo de accidentes se pueden evitar adoptando las medidas que se sugieren a continuación:

- Separando el almacén de las zonas de trabajo
- Manteniendo en las zonas de trabajo, los productos y equipos estrictamente indispensables
- Conservar bien tapados los envases de productos que se están empleando
- Descartar los envases vacíos, colocándolos bien tapados y en zonas donde no ofrezcan ningún riesgo
- Evitar el porte de fósforos, encendedores y de toda fuente de calor, donde se esté trabajando con barniz, ajustadores, thinners u otros materiales combustibles.
- Conservar muy limpio y seco el taller

- Instalar interruptores, tomas de energía y todo tipo de aparatos eléctricos "a prueba de chispa".
- Descartar las basuras y desechos, colocándolos donde no ofrezcan peligro.
- Mantener extinguidores de fuego tipo espuma o CO2 o BCF distribuidos estratégicamente en el galpon
- Revisar semanalmente los equipos de seguridad, instruir y entrenar al personal para afrontar eventuales contratiempos.
- No arrojar barniz, ajustadores o thinners en los sifones o ductos de drenaje de aguas.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema para el barnizado de tubos satisfactorio cumpliendo con los objetivos planteados.

- Se implemento un equipo de PLC que permite ajustar de manera eficiente los parámetros del sistema de barnizado necesarios para cada diámetro de tubo.

- Se selecciono el sistema de ventilación de la cabina de barnizado y el de la cabina de precalentamiento, que permite disminuir considerablemente el riesgo físico de los empleados que laboran en el lugar, estos sistemas pueden ser ajustable.

- Se determinó la velocidad del proceso, tal que sea versátil a los cambios, ya sea de aumento o disminución de la producción que se requiera.

- Se seleccionaron equipos con los que cuenta la empresa, disminuyendo así el costo del sistema diseñado.

- Se logro acelerar la evaporación de los disolventes y diluyentes del barniz aplicado el precalentamiento de la superficie sin afectar el ligante del mismo, permitiendo una adherencia más rápida al tubo.

- Se seleccionaron las pistolas automáticas seleccionadas son de mayor rendimiento por lo tanto reducen el porcentaje de pérdidas en el barniz y a su vez disminuye los costos de producto.

- Se escogió un mecanismo encargado del traslado del tubo a las cabinas tal que no presenten peligro físico para los trabajadores, y permite un total recubrimiento de barniz en el tubo, mejorando así su protección contra agentes externos y su presentación final.

- Se diseñó la estructura de las cabinas tomando en cuenta tanto la carga viva (peso de una persona) como la carga muerta, por lo tanto al momento de realizar mantenimiento a los equipos que se encuentren arriba de estas, no se presentarán problemas por el fallo de la estructura, garantizando así la seguridad del trabajador.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- Poner en marcha del diseño desarrollado en este trabajo, para así garantizarle al cliente un producto final de alta calidad y a su vez ofrecerle al personal que labora en el área y sus adyacencias un ambiente de trabajo adecuado.

- Implementar las medidas de higiene y seguridad planteadas para evitar así el número de accidentes y enfermedades.

- Poner en práctica el plan de mantenimiento elaborado en este trabajo para lograr aumentar el tiempo de vida útil del sistema

- Recubrir con caucho a los rieles de almacenamiento temporal de los tubos para que la película del barniz en el producto final no se vea afectada.

- Colocar bandas de seguridad de un lado del tren de alimentación y del tren de recepción para prevenir algún accidente durante el proceso de barnizado.

- Adiestrar al personal de trabajo para el manejo adecuado del sistema automatizado implantado para el área de barnizado.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

ANDRE, Simon. "**Autómatas programables"**. Segunda Edición. Editorial Paraninfo. España. 1991.

AMEZQUITA, Uxmal. "Método de aplicación: ventilación exhaustiva localizada". Primera edición. 1993.

ELIAS, Humberto. **"Criterio de diseño para sistemas de pintura convencionales"**, trabajo de Ascenso, 1974.Caracas U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica.

INCROPERA, Frank. **"Fundamentos de transferencia de calor"**. Cuarta edición. Editorial Prentice may. México. 1999.

KRICK, Edgar. **"Introducción a la ingeniería y al diseño en la ingeniería"**. Editorial Limusa. México. 1982.

LIONEL, Mark y Baumeister, Theodere. **"Manual del ingeniero mecánico"**. Editorial Hispano América. México 1987.

MOTT, Robert. **"Diseño de elementos de máquinas"**. Editorial Prentice. México. 1995.

NILS, Grimm y Rosales, Robert. **"Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado"**. Volumen I. Editorial McGRAW-HILL. México. 1996.

"Ventilación industrial". Edición veinticuatro. American Conference of Governmental Industrial Hygienists". 1998.

APÉNDICES A

Tablas para tubos de espesor de 3/4”

Tubo de 20”

D. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	28,5	61,5	2,2	13,6	76,4	81,6	9,2	28,9	0,1	0,010	0,22	0,1	0,3	0,1	0,3	1180,3	1097,7	1146,1	Estable	Estable
0,45	32,5	57,5	2,5	15,4	74,6	82,8	9,2	33,0	0,1	0,011	0,21	0,1	0,3	0,1	0,3	1235,1	1170,0	1210,9	Estable	Estable
0,5	36,6	53,4	2,7	17,1	72,9	83,8	9,2	37,2	0,2	0,012	0,20	0,1	0,3	0,1	0,3	1299,8	1262,3	1290,7	Estable	Estable
0,55	41,0	49,0	3,0	18,9	71,1	84,7	9,2	41,7	0,2	0,013	0,19	0,1	0,3	0,2	0,3	1380,3	1382,7	1392,8	Inestable	Estable
0,6	45,7	44,3	3,3	20,7	69,3	85,5	9,2	46,5	0,2	0,015	0,18	0,2	0,3	0,2	0,4	1487,1	1545,3	1529,5	Inestable	Inestable
0,65	50,8	39,2	3,6	22,5	67,5	86,3	9,2	51,8	0,2	0,016	0,16	0,2	0,3	0,2	0,4	1640,2	1775,4	1723,7	Inestable	Inestable
0,7	56,6	33,4	3,8	24,4	65,6	87,0	9,2	57,8	0,2	0,017	0,14	0,3	0,3	0,2	0,5	1883,1	2124,7	2023,6	Inestable	Inestable

Tubo de 22”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	26,7	63,3	1,9	12,9	77,1	81,8	8,4	27,1	0,1	0,009	0,25	0,1	0,3	0,1	0,3	1828,2	1699,0	2225,0	Estable	No Desliza
0,45	30,4	59,6	2,1	14,5	75,5	82,9	8,4	30,8	0,1	0,010	0,24	0,1	0,3	0,1	0,3	1925,6	1828,4	2378,6	Estable	No Desliza
0,5	34,2	55,8	2,4	16,2	73,8	83,9	8,4	34,6	0,2	0,011	0,23	0,1	0,3	0,2	0,3	2042,6	1995,9	2569,1	Estable	No Desliza
0,55	38,2	51,8	2,6	17,8	72,2	84,7	8,4	38,7	0,2	0,013	0,22	0,1	0,3	0,2	0,4	2191,2	2218,5	2814,6	Inestable	No Desliza
0,6	42,4	47,6	2,8	19,5	70,5	85,4	8,4	43,0	0,2	0,014	0,21	0,2	0,3	0,2	0,4	2392,6	2526,2	3147,1	Inestable	No Desliza
0,65	47,0	43,0	3,1	21,2	68,8	86,1	8,4	47,7	0,2	0,015	0,19	0,2	0,3	0,2	0,4	2688,1	2975,1	3627,2	Inestable	Desliza

Tubo de 24”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	25,2	64,8	1,6	12,2	77,8	81,9	7,7	25,4	0,1	0,009	0,28	0,1	0,3	0,1	0,3	1954,9	1804,1	2376,6	Estable	No Desliza
0,45	28,6	61,4	1,8	13,7	76,3	83,0	7,7	28,9	0,1	0,010	0,27	0,1	0,3	0,1	0,3	2048,6	1923,4	2523,4	Estable	No Desliza
0,5	32,1	57,9	2,0	15,3	74,7	83,9	7,7	32,5	0,2	0,011	0,26	0,1	0,3	0,2	0,4	2157,7	2073,9	2700,2	Estable	No Desliza
0,55	35,8	54,2	2,2	16,9	73,1	84,7	7,7	36,2	0,2	0,012	0,25	0,1	0,3	0,2	0,4	2290,3	2267,9	2919,9	Estable	No Desliza
0,6	39,7	50,3	2,4	18,5	71,5	85,4	7,7	40,1	0,2	0,013	0,23	0,2	0,3	0,2	0,4	2460,4	2525,0	3203,6	Inestable	No Desliza

Tubo de 26”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	23,8	66,2	1,4	11,6	78,4	82,1	7,1	24,0	0,1	0,008	0,3	0,1	0,3	0,1	0,4	2081,2	1911,1	2529,3	Estable	No Desliza
0,45	27,0	63,0	1,6	13,0	77,0	83,1	7,1	27,2	0,2	0,009	0,29	0,1	0,3	0,1	0,4	2172,5	2022,2	2671,2	Estable	No Desliza
0,5	30,3	59,7	1,8	14,5	75,5	84,0	7,1	30,6	0,2	0,010	0,29	0,1	0,3	0,2	0,4	2276,1	2159,8	2838,2	Estable	No Desliza
0,55	33,7	56,3	2,0	16,0	74,0	84,7	7,1	34,0	0,2	0,011	0,27	0,1	0,3	0,2	0,4	2397,9	2332,7	3039,9	Estable	No Desliza
0,6	37,3	52,7	2,1	17,5	72,5	85,4	7,1	37,6	0,2	0,012	0,26	0,2	0,3	0,2	0,4	2547,6	2555,0	3291,1	Inestable	No Desliza

Tubo de 28”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	22,6	67,4	1,3	11,0	79,0	82,2	6,6	22,7	0,1	0,008	0,33	0,1	0,4	0,1	0,4	2366,9	2165,6	2877,0	Estable	No Desliza
0,45	25,6	64,4	1,4	12,4	77,6	83,2	6,6	25,8	0,2	0,009	0,32	0,1	0,4	0,2	0,4	2463,1	2277,7	3025,4	Estable	No Desliza
0,5	28,7	61,3	1,6	13,8	76,2	84,0	6,6	28,9	0,2	0,010	0,31	0,1	0,4	0,2	0,4	2569,9	2414,2	3196,8	Estable	No Desliza
0,55	31,9	58,1	1,7	15,2	74,8	84,8	6,6	32,1	0,2	0,011	0,3	0,1	0,4	0,2	0,4	2692,4	2582,5	3399,2	Estable	No Desliza
0,6	35,2	54,8	1,9	16,6	73,4	85,4	6,6	35,4	0,2	0,012	0,29	0,1	0,4	0,2	0,4	2837,9	2793,6	3644,1	Estable	No Desliza
0,65	38,6	51,4	2,0	18,1	71,9	85,9	6,6	38,9	0,2	0,013	0,28	0,2	0,4	0,2	0,5	3018,2	3064,0	3949,7	Inestable	No Desliza

Tubo de 30”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	21,5	68,5	1,1	10,5	79,5	82,3	6,1	21,6	0,1	0,007	0,35	0,1	0,4	0,1	0,4	2332,6	2128,8	2836,7	Estable	No Desliza
0,45	24,3	65,7	1,3	11,8	78,2	83,3	6,1	24,5	0,2	0,008	0,35	0,1	0,4	0,2	0,4	2421,1	2227,8	2972,7	Estable	No Desliza
0,5	27,2	62,8	1,4	13,2	76,8	84,1	6,1	27,4	0,2	0,009	0,34	0,1	0,4	0,2	0,4	2518,0	2346,8	3127,2	Estable	No Desliza
0,55	30,2	59,8	1,5	14,5	75,5	84,8	6,1	30,4	0,2	0,010	0,33	0,1	0,4	0,2	0,4	2626,6	2491,1	3306,2	Estable	No Desliza
0,6	33,3	56,7	1,7	15,9	74,1	85,4	6,1	33,5	0,2	0,011	0,32	0,1	0,4	0,2	0,5	2752,4	2668,5	3518,1	Estable	No Desliza
0,65	36,5	53,5	1,8	17,2	72,8	85,9	6,1	36,8	0,2	0,012	0,31	0,2	0,4	0,2	0,5	2903,1	2890,5	3775,0	Estable	No Desliza
0,7	39,9	50,1	2,0	18,6	71,4	86,4	6,1	40,1	0,2	0,013	0,29	0,2	0,4	0,2	0,5	3091,0	3174,5	4096,0	Inestable	No Desliza

Tubo de 32”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	20,5	69,5	2,0	9,9	80,1	75,3	11,3	20,9	0,1	0,014	0,38	0,1	0,4	0,1	0,4	2467,6	2242,1	2914,5	Estable	No Desliza
0,45	23,2	66,8	2,2	11,1	78,9	77,1	11,3	23,7	0,2	0,016	0,37	0,1	0,4	0,2	0,4	2556,3	2338,5	3037,7	Estable	No Desliza
0,5	25,9	64,1	2,5	12,4	77,6	78,6	11,3	26,5	0,2	0,017	0,37	0,1	0,4	0,2	0,5	2652,1	2453,3	3177,2	Estable	No Desliza
0,55	28,8	61,2	2,7	13,7	76,3	79,8	11,3	29,4	0,2	0,019	0,36	0,1	0,4	0,2	0,5	2758,2	2591,2	3337,6	Estable	No Desliza
0,6	31,7	58,3	3,0	14,9	75,1	80,9	11,3	32,4	0,2	0,021	0,35	0,1	0,4	0,2	0,5	2878,7	2758,9	3525,9	Estable	Desliza
0,65	34,7	55,3	3,2	16,2	73,8	81,9	11,3	35,5	0,2	0,023	0,33	0,2	0,4	0,2	0,5	3020,0	2965,6	3751,6	Estable	Desliza
0,7	37,8	52,2	3,5	17,5	72,5	82,8	11,3	38,7	0,2	0,024	0,32	0,2	0,4	0,2	0,5	3191,7	3225,2	4029,4	Inestable	Desliza

Tubo de 34”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	19,6	70,4	1,8	9,5	80,5	75,4	10,7	19,9	0,1	0,013	0,41	0,1	0,4	0,1	0,5	2591,2	2352,4	3061,6	Estable	No Desliza
0,45	22,1	67,9	2,0	10,7	79,3	77,2	10,7	22,6	0,2	0,015	0,4	0,1	0,4	0,2	0,5	2679,3	2444,3	3182,6	Estable	No Desliza
0,5	24,8	65,2	2,2	11,9	78,1	78,6	10,7	25,2	0,2	0,017	0,39	0,1	0,4	0,2	0,5	2773,5	2552,7	3317,9	Estable	No Desliza
0,55	27,4	62,6	2,4	13,1	76,9	79,9	10,7	28,0	0,2	0,018	0,38	0,1	0,4	0,2	0,5	2876,1	2681,4	3471,4	Estable	No Desliza
0,6	30,2	59,8	2,7	14,3	75,7	81,0	10,7	30,8	0,2	0,020	0,37	0,1	0,4	0,2	0,5	2990,6	2835,5	3648,6	Estable	No Desliza
0,65	33,0	57,0	2,9	15,5	74,5	81,9	10,7	33,6	0,2	0,022	0,36	0,2	0,4	0,2	0,5	3121,8	3022,3	3856,8	Estable	No Desliza
0,7	35,9	54,1	3,1	16,8	73,2	82,7	10,7	36,6	0,3	0,023	0,35	0,2	0,4	0,2	0,5	3276,7	3252,1	4106,8	Estable	Desliza
0,75	38,9	51,1	3,3	18,0	72,0	83,5	10,7	39,7	0,3	0,025	0,34	0,2	0,4	0,3	0,6	3466,0	3540,0	4414,7	Inestable	Desliza

Tubo de 36”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	18,7	71,3	1,6	9,1	80,9	75,5	10,1	19,1	0,1	0,013	0,43	0,0	0,5	0,1	0,5	2285,1	2463,5	2951,4	Estable	No Desliza
0,45	21,2	68,8	1,8	10,3	79,7	77,3	10,1	21,5	0,2	0,014	0,43	0,1	0,5	0,2	0,5	2317,9	2551,6	3037,6	Estable	No Desliza
0,5	23,7	66,3	2,0	11,4	78,6	78,7	10,1	24,1	0,2	0,016	0,42	0,1	0,5	0,2	0,5	2355,6	2654,5	3136,5	Estable	No Desliza
0,55	26,2	63,8	2,2	12,6	77,4	79,9	10,1	26,7	0,2	0,018	0,41	0,1	0,5	0,2	0,5	2399,8	2775,5	3251,1	Estable	No Desliza
0,6	28,8	61,2	2,4	13,7	76,3	81,0	10,1	29,3	0,2	0,019	0,4	0,1	0,5	0,2	0,5	2453,0	2918,6	3385,5	Estable	No Desliza
0,65	31,5	58,5	2,6	14,9	75,1	81,9	10,1	32,0	0,2	0,021	0,39	0,1	0,5	0,2	0,5	2518,0	3089,7	3545,1	Estable	No Desliza
0,7	34,2	55,8	2,8	16,1	73,9	82,7	10,1	34,8	0,3	0,023	0,38	0,2	0,5	0,3	0,6	2599,4	3296,6	3737,6	Estable	No Desliza
0,75	37,1	52,9	3,0	17,3	72,7	83,4	10,1	37,7	0,3	0,024	0,36	0,2	0,5	0,3	0,6	2703,1	3550,5	3973,9	Inestable	Desliza

Tubo de 38”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	18,0	72,0	1,5	8,8	81,2	75,7	9,5	18,2	0,1	0,012	0,46	0,0	0,5	0,1	0,5	2402,9	2575,2	3101,9	Estable	No Desliza
0,45	20,3	69,7	1,7	9,9	80,1	77,4	9,5	20,6	0,2	0,014	0,45	0,1	0,5	0,2	0,5	2434,8	2660,0	3187,3	Estable	No Desliza
0,5	22,7	67,3	1,8	11,0	79,0	78,8	9,5	23,0	0,2	0,015	0,45	0,1	0,5	0,2	0,5	2471,0	2758,3	3284,1	Estable	No Desliza
0,55	25,1	64,9	2,0	12,1	77,9	80,0	9,5	25,5	0,2	0,017	0,44	0,1	0,5	0,2	0,5	2512,9	2872,7	3394,9	Estable	No Desliza
0,6	27,6	62,4	2,2	13,2	76,8	81,0	9,5	28,0	0,2	0,019	0,43	0,1	0,5	0,2	0,5	2562,4	3006,8	3523,2	Estable	No Desliza
0,65	30,1	59,9	2,4	14,3	75,7	81,9	9,5	30,6	0,2	0,020	0,42	0,1	0,5	0,2	0,6	2621,9	3165,1	3673,5	Estable	No Desliza
0,7	32,7	57,3	2,6	15,5	74,5	82,6	9,5	33,2	0,3	0,022	0,41	0,2	0,5	0,3	0,6	2694,9	3353,9	3851,6	Estable	No Desliza
0,75	35,4	54,6	2,8	16,6	73,4	83,3	9,5	36,0	0,3	0,023	0,39	0,2	0,5	0,3	0,6	2786,0	3581,7	4066,2	Estable	No Desliza
0,8	38,1	51,9	2,9	17,8	72,2	84,0	9,5	38,8	0,3	0,025	0,38	0,2	0,5	0,3	0,6	2902,1	3860,8	4328,9	Inestable	No Desliza

Tubo de 40”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	17,3	72,7	1,3	8,4	81,6	75,8	9,1	17,5	0,2	0,012	0,49	0,0	0,5	0,1	0,5	2520,7	2687,4	3240,8	Estable	No Desliza
0,45	19,5	70,5	1,5	9,5	80,5	77,5	9,1	19,8	0,2	0,013	0,48	0,1	0,5	0,2	0,5	2552,0	2769,3	3324,0	Estable	No Desliza
0,5	21,8	68,2	1,7	10,6	79,4	78,9	9,1	22,1	0,2	0,015	0,47	0,1	0,5	0,2	0,5	2587,0	2863,5	3417,6	Estable	No Desliza
0,55	24,1	65,9	1,8	11,6	78,4	80,0	9,1	24,4	0,2	0,016	0,46	0,1	0,5	0,2	0,6	2626,9	2972,4	3523,8	Estable	No Desliza
0,6	26,5	63,5	2,0	12,7	77,3	81,0	9,1	26,8	0,2	0,018	0,45	0,1	0,5	0,2	0,6	2673,4	3098,8	3645,4	Estable	No Desliza
0,65	28,9	61,1	2,2	13,8	76,2	81,9	9,1	29,3	0,2	0,019	0,44	0,1	0,5	0,2	0,6	2728,4	3246,6	3786,2	Estable	No Desliza
0,7	31,3	58,7	2,3	14,9	75,1	82,6	9,1	31,8	0,3	0,021	0,43	0,2	0,5	0,3	0,6	2794,8	3420,7	3951,1	Estable	No Desliza
0,75	33,9	56,1	2,5	16,0	74,0	83,3	9,1	34,3	0,3	0,022	0,42	0,2	0,5	0,3	0,6	2876,2	3628,0	4146,5	Estable	No Desliza
0,8	36,5	53,5	2,7	17,1	72,9	83,9	9,1	37,0	0,3	0,024	0,41	0,2	0,5	0,3	0,6	2977,7	3877,7	4381,7	Estable	No Desliza
0,85	39,2	50,8	2,9	18,2	71,8	84,5	9,1	39,7	0,3	0,025	0,39	0,3	0,5	0,3	0,7	3106,9	4183,1	4669,5	Inestable	No Desliza

Tubo de 42”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	16,0	74,0	1,1	7,9	82,1	76,0	8,2	16,2	0,2	0,011	0,54	0,0	0,6	0,2	0,6	3204,7	2913,0	3800,5	Estable	No Desliza
0,45	18,1	71,9	1,3	8,8	81,2	77,6	8,2	18,3	0,2	0,012	0,53	0,1	0,6	0,2	0,6	3292,2	2990,1	3916,1	Estable	No Desliza
0,5	20,2	69,8	1,4	9,8	80,2	79,0	8,2	20,4	0,2	0,014	0,52	0,1	0,6	0,2	0,6	3382,8	3077,7	4040,6	Estable	No Desliza
0,55	22,3	67,7	1,6	10,8	79,2	80,1	8,2	22,6	0,2	0,015	0,52	0,1	0,6	0,2	0,6	3477,4	3177,5	4175,7	Estable	No Desliza
0,6	24,5	65,5	1,7	11,8	78,2	81,1	8,2	24,8	0,2	0,017	0,51	0,1	0,6	0,2	0,6	3577,4	3291,8	4323,5	Estable	No Desliza
0,65	26,7	63,3	1,8	12,8	77,2	81,9	8,2	27,0	0,3	0,018	0,5	0,1	0,6	0,2	0,6	3684,6	3423,1	4487,0	Estable	No Desliza
0,7	28,9	61,1	2,0	13,9	76,1	82,6	8,2	29,2	0,3	0,019	0,49	0,1	0,6	0,3	0,6	3801,0	3575,0	4669,7	Estable	No Desliza
0,75	31,2	58,8	2,1	14,9	75,1	83,2	8,2	31,6	0,3	0,021	0,48	0,2	0,6	0,3	0,7	3929,8	3751,8	4876,2	Estable	No Desliza
0,8	33,5	56,5	2,3	15,9	74,1	83,8	8,2	33,9	0,3	0,022	0,47	0,2	0,6	0,3	0,7	4074,8	3959,5	5112,8	Estable	No Desliza
0,85	36,0	54,0	2,4	16,9	73,1	84,4	8,2	36,4	0,3	0,024	0,45	0,2	0,6	0,3	0,7	4241,5	4205,9	5387,8	Estable	No Desliza
0,9	38,4	51,6	2,6	17,9	72,1	84,8	8,2	38,9	0,3	0,025	0,44	0,3	0,6	0,3	0,7	4437,7	4501,9	5713,0	Inestable	No Desliza

Tubo de 44”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	15,5	74,5	1,6	7,5	82,5	69,8	11,7	15,8	0,2	0,016	0,56	0,0	0,6	0,2	0,6	3336,0	3027,1	3912,2	Estable	No Desliza
0,45	17,5	72,5	1,7	8,5	81,5	72,1	11,7	17,9	0,2	0,018	0,56	0,1	0,6	0,2	0,6	3424,4	3103,0	4022,2	Estable	No Desliza
0,5	19,5	70,5	1,9	9,4	80,6	74,0	11,7	19,9	0,2	0,020	0,55	0,1	0,6	0,2	0,6	3515,5	3188,9	4140,4	Estable	No Desliza
0,55	21,5	68,5	2,1	10,4	79,6	75,5	11,7	22,0	0,2	0,022	0,54	0,1	0,6	0,2	0,6	3610,3	3286,6	4268,4	Estable	No Desliza
0,6	23,6	66,4	2,3	11,3	78,7	76,9	11,7	24,1	0,2	0,024	0,54	0,1	0,6	0,2	0,6	3709,8	3397,8	4408,0	Estable	No Desliza
0,65	25,7	64,3	2,5	12,3	77,7	78,1	11,7	26,3	0,3	0,026	0,53	0,1	0,6	0,2	0,6	3815,7	3525,1	4561,8	Estable	No Desliza
0,7	27,8	62,2	2,7	13,2	76,8	79,1	11,7	28,5	0,3	0,028	0,52	0,1	0,6	0,3	0,7	3929,8	3671,5	4732,8	Estable	No Desliza
0,75	30,0	60,0	2,9	14,2	75,8	80,0	11,7	30,7	0,3	0,030	0,51	0,2	0,6	0,3	0,7	4054,7	3841,0	4925,0	Estable	No Desliza
0,8	32,3	57,7	3,1	15,2	74,8	80,8	11,7	33,0	0,3	0,032	0,49	0,2	0,6	0,3	0,7	4193,9	4038,4	5143,8	Estable	Desliza
0,85	34,6	55,4	3,3	16,1	73,9	81,6	11,7	35,4	0,3	0,034	0,48	0,2	0,6	0,3	0,7	4351,9	4270,8	5396,2	Estable	Desliza

Tubo de 46”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	15,5	74,5	1,6	7,5	82,5	69,8	11,7	15,8	0,2	0,016	0,56	0,0	0,6	0,2	0,6	3336,0	3027,1	3912,2	Estable	No Desliza
0,45	17,5	72,5	1,7	8,5	81,5	72,1	11,7	17,9	0,2	0,018	0,56	0,1	0,6	0,2	0,6	3424,4	3103,0	4022,2	Estable	No Desliza
0,5	19,5	70,5	1,9	9,4	80,6	74,0	11,7	19,9	0,2	0,020	0,55	0,1	0,6	0,2	0,6	3515,5	3188,9	4140,4	Estable	No Desliza
0,55	21,5	68,5	2,1	10,4	79,6	75,5	11,7	22,0	0,2	0,022	0,54	0,1	0,6	0,2	0,6	3610,3	3286,6	4268,4	Estable	No Desliza
0,6	23,6	66,4	2,3	11,3	78,7	76,9	11,7	24,1	0,2	0,024	0,54	0,1	0,6	0,2	0,6	3709,8	3397,8	4408,0	Estable	No Desliza
0,65	25,7	64,3	2,5	12,3	77,7	78,1	11,7	26,3	0,3	0,026	0,53	0,1	0,6	0,2	0,6	3815,7	3525,1	4561,8	Estable	No Desliza
0,7	27,8	62,2	2,7	13,2	76,8	79,1	11,7	28,5	0,3	0,028	0,52	0,1	0,6	0,3	0,7	3929,8	3671,5	4732,8	Estable	No Desliza
0,75	30,0	60,0	2,9	14,2	75,8	80,0	11,7	30,7	0,3	0,030	0,51	0,2	0,6	0,3	0,7	4054,7	3841,0	4925,0	Estable	No Desliza
0,8	32,3	57,7	3,1	15,2	74,8	80,8	11,7	33,0	0,3	0,032	0,49	0,2	0,6	0,3	0,7	4193,9	4038,4	5143,8	Estable	Desliza
0,85	34,6	55,4	3,3	16,1	73,9	81,6	11,7	35,4	0,3	0,034	0,48	0,2	0,6	0,3	0,7	4351,9	4270,8	5396,2	Estable	Desliza
0,9	36,9	53,1	3,5	17,1	72,9	82,3	11,7	37,8	0,4	0,036	0,47	0,3	0,6	0,3	0,7	4535,1	4547,0	5691,6	Inestable	Desliza

Tubo de 50”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	14,5	75,5	1,3	7,1	82,9	70,0	10,8	14,7	0,2	0,015	0,61	0,0	0,6	0,2	0,7	3577,7	3254,2	4203,09	Estable	No Desliza
0,45	16,3	73,7	1,5	7,9	82,1	72,3	10,8	16,6	0,2	0,017	0,61	0,1	0,6	0,2	0,7	3666,4	3326,3	4312,03	Estable	No Desliza
0,5	18,2	71,8	1,7	8,8	81,2	74,1	10,8	18,5	0,2	0,019	0,6	0,1	0,6	0,2	0,7	3757,2	3407,2	4428,08	Estable	No Desliza
0,55	20,1	69,9	1,8	9,7	80,3	75,6	10,8	20,5	0,2	0,020	0,6	0,1	0,6	0,2	0,7	3850,9	3498,2	4552,42	Estable	No Desliza
0,6	22,0	68,0	2,0	10,6	79,4	77,0	10,8	22,4	0,2	0,022	0,59	0,1	0,6	0,2	0,7	3948,4	3600,7	4686,55	Estable	No Desliza
0,65	24,0	66,0	2,2	11,5	78,5	78,1	10,8	24,4	0,3	0,024	0,58	0,1	0,6	0,3	0,7	4050,7	3716,6	4832,28	Estable	No Desliza
0,7	25,9	64,1	2,3	12,4	77,6	79,1	10,8	26,4	0,3	0,026	0,57	0,1	0,6	0,3	0,7	4159,3	3848,0	4991,88	Estable	No Desliza
0,75	27,9	62,1	2,5	13,3	76,7	80,0	10,8	28,5	0,3	0,028	0,56	0,2	0,6	0,3	0,7	4276,0	3997,9	5168,22	Estable	No Desliza
0,8	30,0	60,0	2,7	14,2	75,8	80,8	10,8	30,6	0,3	0,030	0,55	0,2	0,6	0,3	0,7	4403,0	4169,7	5364,9	Estable	No Desliza
0,85	32,1	57,9	2,9	15,1	74,9	81,5	10,8	32,7	0,3	0,032	0,54	0,2	0,6	0,3	0,7	4543,4	4367,8	5586,58	Estable	No Desliza
0,9	34,2	55,8	3,0	16,1	73,9	82,2	10,8	34,9	0,4	0,033	0,53	0,2	0,6	0,4	0,8	4701,1	4598,1	5839,35	Estable	Desliza

Tubo de 54”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	13,6	76,4	1,2	6,6	83,4	70,2	10,0	13,8	0,2	0,014	0,67	0,0	0,7	0,2	0,7	3818,7	3482,3	4494,3	Estable	No Desliza
0,45	15,3	74,7	1,3	7,5	82,5	72,4	10,0	15,6	0,2	0,016	0,66	0,0	0,7	0,2	0,7	3907,7	3551,3	4602,6	Estable	No Desliza
0,5	17,1	72,9	1,5	8,3	81,7	74,2	10,0	17,4	0,2	0,018	0,66	0,1	0,7	0,2	0,7	3998,5	3628,1	4717,2	Estable	No Desliza
0,55	18,9	71,1	1,6	9,2	80,8	75,7	10,0	19,2	0,2	0,019	0,65	0,1	0,7	0,2	0,7	4091,6	3713,7	4839,0	Estable	No Desliza
0,6	20,6	69,4	1,8	10,0	80,0	77,0	10,0	21,0	0,2	0,021	0,64	0,1	0,7	0,2	0,7	4187,8	3809,3	4969,2	Estable	No Desliza
0,65	22,5	67,5	1,9	10,8	79,2	78,1	10,0	22,8	0,3	0,023	0,63	0,1	0,7	0,3	0,7	4287,7	3916,3	5109,2	Estable	No Desliza
0,7	24,3	65,7	2,0	11,7	78,3	79,1	10,0	24,7	0,3	0,025	0,63	0,1	0,7	0,3	0,8	4392,6	4036,4	5260,6	Estable	No Desliza
0,75	26,1	63,9	2,2	12,5	77,5	80,0	10,0	26,6	0,3	0,026	0,62	0,1	0,7	0,3	0,8	4503,7	4171,7	5425,7	Estable	No Desliza
0,8	28,0	62,0	2,3	13,4	76,6	80,7	10,0	28,5	0,3	0,028	0,61	0,2	0,7	0,3	0,8	4622,6	4324,8	5607,1	Estable	No Desliza
0,85	30,0	60,0	2,5	14,3	75,7	81,4	10,0	30,5	0,3	0,030	0,59	0,2	0,7	0,3	0,8	4751,5	4498,7	5807,9	Estable	No Desliza
0,9	31,9	58,1	2,6	15,1	74,9	82,1	10,0	32,5	0,4	0,032	0,58	0,2	0,7	0,4	0,8	4893,0	4697,5	6032,5	Estable	No Desliza
0,95	33,9	56,1	2,8	16,0	74,0	82,6	10,0	34,5	0,4	0,033	0,57	0,3	0,7	0,4	0,8	5050,6	4926,2	6286,0	Estable	No Desliza
1	36,0	54,0	2,9	16,8	73,2	83,2	10,0	36,6	0,4	0,035	0,55	0,3	0,7	0,4	0,8	5228,8	5191,5	6575,6	Estable	No Desliza
1,05	38,1	51,9	3,1	17,7	72,3	83,7	10,0	38,8	0,4	0,037	0,54	0,3	0,7	0,4	0,9	5433,8	5502,1	6910,3	Inestable	Desliza

Tubo de 56”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	13,2	76,8	1,1	6,5	83,5	70,3	9,7	13,4	0,2	0,014	0,69	0,0	0,7	0,2	0,7	3939,0	3596,7	4639,9	Estable	No Desliza
0,45	14,9	75,1	1,2	7,3	82,7	72,5	9,7	15,1	0,2	0,015	0,69	0,0	0,7	0,2	0,7	4028,2	3664,3	4748,1	Estable	No Desliza
0,5	16,6	73,4	1,4	8,1	81,9	74,3	9,7	16,8	0,2	0,017	0,68	0,1	0,7	0,2	0,7	4119,0	3739,3	4862,1	Estable	No Desliza
0,55	18,3	71,7	1,5	8,9	81,1	75,8	9,7	18,6	0,2	0,019	0,68	0,1	0,7	0,2	0,7	4212,0	3822,6	4983,0	Estable	No Desliza
0,6	20,0	70,0	1,6	9,7	80,3	77,0	9,7	20,3	0,2	0,020	0,67	0,1	0,7	0,2	0,8	4307,6	3915,2	5111,6	Estable	No Desliza
0,65	21,8	68,2	1,8	10,5	79,5	78,1	9,7	22,1	0,3	0,022	0,66	0,1	0,7	0,3	0,8	4406,7	4018,5	5249,3	Estable	No Desliza
0,7	23,5	66,5	1,9	11,4	78,6	79,1	9,7	23,9	0,3	0,024	0,65	0,1	0,7	0,3	0,8	4510,2	4133,9	5397,6	Estable	No Desliza
0,75	25,3	64,7	2,1	12,2	77,8	80,0	9,7	25,7	0,3	0,026	0,64	0,1	0,7	0,3	0,8	4619,2	4263,3	5558,3	Estable	No Desliza
0,8	27,2	62,8	2,2	13,0	77,0	80,7	9,7	27,6	0,3	0,027	0,63	0,2	0,7	0,3	0,8	4735,1	4408,8	5733,7	Estable	No Desliza
0,85	29,0	61,0	2,3	13,8	76,2	81,4	9,7	29,5	0,3	0,029	0,62	0,2	0,7	0,3	0,8	4859,7	4573,1	5926,6	Estable	No Desliza
0,9	30,9	59,1	2,5	14,7	75,3	82,0	9,7	31,4	0,4	0,031	0,61	0,2	0,7	0,4	0,8	4995,2	4759,6	6140,4	Estable	No Desliza
0,95	32,8	57,2	2,6	15,5	74,5	82,6	9,7	33,4	0,4	0,032	0,6	0,2	0,7	0,4	0,8	5144,5	4972,5	6379,7	Estable	No Desliza
1	34,8	55,2	2,7	16,4	73,6	83,1	9,7	35,4	0,4	0,034	0,58	0,3	0,7	0,4	0,9	5311,3	5217,2	6650,1	Estable	No Desliza
1,05	36,8	53,2	2,9	17,2	72,8	83,6	9,7	37,4	0,4	0,036	0,57	0,3	0,7	0,4	0,9	5500,5	5500,9	6959,1	Inestable	No Desliza

Tubo de 58”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	12,8	77,2	1,0	6,3	83,7	70,4	9,3	13,0	0,2	0,013	0,72	0,0	0,7	0,2	0,8	4059,1	3711,2	4785,5	Estable	No Desliza
0,45	14,4	75,6	1,2	7,1	82,9	72,5	9,3	14,6	0,2	0,015	0,71	0,0	0,7	0,2	0,8	4148,5	3777,5	4893,6	Estable	No Desliza
0,5	16,1	73,9	1,3	7,9	82,1	74,3	9,3	16,3	0,2	0,017	0,71	0,1	0,7	0,2	0,8	4239,4	3850,9	5007,3	Estable	No Desliza
0,55	17,8	72,2	1,4	8,7	81,3	75,8	9,3	18,0	0,2	0,018	0,7	0,1	0,7	0,2	0,8	4332,2	3932,1	5127,3	Estable	No Desliza
0,6	19,4	70,6	1,5	9,5	80,5	77,1	9,3	19,7	0,2	0,020	0,69	0,1	0,7	0,2	0,8	4427,5	4022,1	5254,7	Estable	No Desliza
0,65	21,1	68,9	1,7	10,2	79,8	78,2	9,3	21,4	0,3	0,022	0,69	0,1	0,7	0,3	0,8	4525,9	4122,0	5390,4	Estable	No Desliza
0,7	22,8	67,2	1,8	11,0	79,0	79,1	9,3	23,2	0,3	0,023	0,68	0,1	0,7	0,3	0,8	4628,2	4233,2	5535,9	Estable	No Desliza
0,75	24,6	65,4	1,9	11,8	78,2	80,0	9,3	24,9	0,3	0,025	0,67	0,1	0,7	0,3	0,8	4735,4	4357,3	5692,9	Estable	No Desliza
0,8	26,3	63,7	2,1	12,7	77,3	80,7	9,3	26,7	0,3	0,026	0,66	0,2	0,7	0,3	0,8	4848,7	4496,1	5863,1	Estable	No Desliza
0,85	28,1	61,9	2,2	13,5	76,5	81,4	9,3	28,5	0,3	0,028	0,65	0,2	0,7	0,3	0,8	4969,8	4652,1	6049,2	Estable	No Desliza
0,9	29,9	60,1	2,3	14,3	75,7	82,0	9,3	30,4	0,4	0,030	0,64	0,2	0,7	0,4	0,9	5100,3	4828,0	6254,1	Estable	No Desliza
0,95	31,8	58,2	2,4	15,1	74,9	82,6	9,3	32,3	0,4	0,031	0,63	0,2	0,7	0,4	0,9	5242,8	5027,4	6481,4	Estable	No Desliza
1	33,7	56,3	2,6	15,9	74,1	83,1	9,3	34,2	0,4	0,033	0,61	0,3	0,7	0,4	0,9	5400,3	5254,9	6736,0	Estable	No Desliza
1,05	35,6	54,4	2,7	16,7	73,3	83,5	9,3	36,2	0,4	0,035	0,6	0,3	0,7	0,4	0,9	5576,8	5516,2	7023,9	Estable	No Desliza
1,1	37,6	52,4	2,8	17,5	72,5	84,0	9,3	38,2	0,4	0,036	0,58	0,3	0,7	0,4	0,9	5777,4	5818,6	7353,0	Inestable	No Desliza

Tubo de 60”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	12,5	77,5	1,0	6,1	83,9	70,5	9,0	12,6	0,2	0,013	0,74	0,0	0,8	0,2	0,8	4179,1	3825,9	4879,9	Estable	No Desliza
0,45	14,0	76,0	1,1	6,9	83,1	72,6	9,0	14,2	0,2	0,014	0,74	0,0	0,8	0,2	0,8	4268,7	3891,0	4981,9	Estable	No Desliza
0,5	15,6	74,4	1,2	7,7	82,3	74,4	9,0	15,8	0,2	0,016	0,73	0,1	0,8	0,2	0,8	4359,7	3962,9	5089,0	Estable	No Desliza
0,55	17,3	72,7	1,3	8,4	81,6	75,8	9,0	17,5	0,2	0,018	0,73	0,1	0,8	0,2	0,8	4452,4	4042,2	5201,9	Estable	No Desliza
0,6	18,9	71,1	1,5	9,2	80,8	77,1	9,0	19,1	0,2	0,019	0,72	0,1	0,8	0,2	0,8	4547,4	4129,8	5321,4	Estable	No Desliza
0,65	20,5	69,5	1,6	10,0	80,0	78,2	9,0	20,8	0,3	0,021	0,71	0,1	0,8	0,3	0,8	4645,1	4226,7	5448,6	Estable	No Desliza
0,7	22,2	67,8	1,7	10,7	79,3	79,1	9,0	22,5	0,3	0,023	0,71	0,1	0,8	0,3	0,8	4746,5	4334,1	5584,6	Estable	No Desliza
0,75	23,9	66,1	1,8	11,5	78,5	80,0	9,0	24,2	0,3	0,024	0,7	0,1	0,8	0,3	0,8	4852,2	4453,4	5730,8	Estable	No Desliza
0,8	25,6	64,4	1,9	12,3	77,7	80,7	9,0	25,9	0,3	0,026	0,69	0,2	0,8	0,3	0,8	4963,4	4586,4	5888,9	Estable	No Desliza
0,85	27,3	62,7	2,1	13,1	76,9	81,4	9,0	27,7	0,3	0,027	0,68	0,2	0,8	0,3	0,9	5081,4	4734,9	6061,0	Estable	No Desliza
0,9	29,0	61,0	2,2	13,9	76,1	82,0	9,0	29,4	0,4	0,029	0,67	0,2	0,8	0,4	0,9	5207,8	4901,6	6249,7	Estable	No Desliza
0,95	30,8	59,2	2,3	14,7	75,3	82,5	9,0	31,2	0,4	0,031	0,65	0,2	0,8	0,4	0,9	5344,6	5089,5	6458,0	Estable	No Desliza
1	32,6	57,4	2,4	15,5	74,5	83,0	9,0	33,1	0,4	0,032	0,64	0,3	0,8	0,4	0,9	5494,5	5302,2	6689,8	Estable	No Desliza
1,05	34,5	55,5	2,5	16,3	73,7	83,5	9,0	35,0	0,4	0,034	0,63	0,3	0,8	0,4	0,9	5660,5	5544,7	6950,1	Estable	No Desliza
1,1	36,4	53,6	2,7	17,1	72,9	83,9	9,0	36,9	0,5	0,035	0,61	0,3	0,8	0,4	0,9	5847,1	5822,9	7245,2	Estable	No Desliza
1,15	38,3	51,7	2,8	17,9	72,1	84,3	9,0	38,9	0,5	0,037	0,6	0,4	0,8	0,5	1,0	6059,7	6144,8	7583,5	Inestable	No Desliza

Tablas para tubos de espesor de ½”

Tubo de 20”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	28,5	61,5	2,2	13,6	76,4	81,6	9,2	28,9	0,1	0,010	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	1257,2	1179,4	1469,1	Estable	No Desliza
0,45	32,5	57,5	2,5	15,4	74,6	82,8	9,2	33,0	0,1	0,011	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	1333,0	1284,8	1579,0	Estable	No Desliza
0,5	36,6	53,4	2,7	17,1	72,9	83,8	9,2	37,2	0,2	0,012	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	1428,3	1425,6	1722,0	Estable	No Desliza
0,55	41,0	49,0	3,0	18,9	71,1	84,7	9,2	41,7	0,2	0,013	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	1556,3	1620,7	1917,5	Inestable	Desliza
0,6	45,7	44,3	3,3	20,7	69,3	85,5	9,2	46,5	0,2	0,015	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	1743,4	1906,5	2203,3	Inestable	Desliza
0,65	50,8	39,2	3,6	22,5	67,5	86,3	9,2	51,8	0,2	0,016	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	2048,1	2360,9	2661,4	Inestable	Desliza
0,7	56,6	33,4	3,8	24,4	65,6	87,0	9,2	57,8	0,2	0,017	0,1	0,3	0,3	0,2	0,5	2629,2	3188,9	3510,6	Inestable	Desliza

Tubo de 22”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	26,7	63,3	1,9	12,9	77,1	81,8	8,4	27,1	0,1	0,009	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	1225,9	1139,2	1491,9	Estable	No Desliza
0,45	30,4	59,6	2,1	14,5	75,5	82,9	8,4	30,8	0,1	0,010	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	1291,1	1226,0	1594,9	Estable	No Desliza
0,5	34,2	55,8	2,4	16,2	73,8	83,9	8,4	34,6	0,2	0,011	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	1369,6	1338,3	1722,6	Estable	No Desliza
0,55	38,2	51,8	2,6	17,8	72,2	84,7	8,4	38,7	0,2	0,013	0,2	0,1	0,3	0,2	0,4	1469,2	1487,6	1887,3	Inestable	No Desliza
0,6	42,4	47,6	2,8	19,5	70,5	85,4	8,4	43,0	0,2	0,014	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	1604,3	1693,9	2110,2	Inestable	No Desliza
0,65	47,0	43,0	3,1	21,2	68,8	86,1	8,4	47,7	0,2	0,015	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	1802,4	1994,8	2432,1	Inestable	Desliza

Tubo de 24”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	25,2	64,8	1,6	12,2	77,8	81,9	7,7	25,4	0,1	0,009	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	1310,1	1209,1	1592,8	Estable	No Desliza
0,45	28,6	61,4	1,8	13,7	76,3	83,0	7,7	28,9	0,1	0,010	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	1373,0	1289,0	1691,2	Estable	No Desliza
0,5	32,1	57,9	2,0	15,3	74,7	83,9	7,7	32,5	0,2	0,011	0,3	0,1	0,3	0,2	0,4	1446,1	1389,9	1809,6	Estable	No Desliza
0,55	35,8	54,2	2,2	16,9	73,1	84,7	7,7	36,2	0,2	0,012	0,2	0,1	0,3	0,2	0,4	1535,0	1519,9	1956,9	Estable	No Desliza
0,6	39,7	50,3	2,4	18,5	71,5	85,4	7,7	40,1	0,2	0,013	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	1649,0	1692,2	2147,0	Inestable	No Desliza
0,65	43,8	46,2	2,6	20,1	69,9	86,0	7,7	44,3	0,2	0,014	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	1804,4	1929,6	2404,6	Inestable	No Desliza
0,7	48,1	41,9	2,9	21,7	68,3	86,6	7,7	48,7	0,2	0,015	0,2	0,3	0,3	0,2	0,5	2033,1	2274,9	2776,0	Inestable	No Desliza
0,75	52,9	37,1	3,1	23,3	66,7	87,1	7,7	53,6	0,2	0,016	0,2	0,3	0,3	0,2	0,5	2404,8	2819,7	3361,5	Inestable	Desliza
0,8	58,3	31,7	3,3	25,0	65,0	87,6	7,7	59,2	0,3	0,017	0,2	0,4	0,3	0,3	0,6	3106,4	3802,3	4422,9	Inestable	Desliza

Tubo de 26”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	23,8	66,2	1,4	11,6	78,4	82,1	7,1	24,0	0,1	0,008	0,3	0,1	0,3	0,1	0,4	1394,2	1280,3	1694,4	Estable	No Desliza
0,45	27,0	63,0	1,6	13,0	77,0	83,1	7,1	27,2	0,2	0,009	0,3	0,1	0,3	0,1	0,4	1455,4	1354,7	1789,5	Estable	No Desliza
0,5	30,3	59,7	1,8	14,5	75,5	84,0	7,1	30,6	0,2	0,010	0,3	0,1	0,3	0,2	0,4	1524,8	1446,9	1901,4	Estable	No Desliza
0,55	33,7	56,3	2,0	16,0	74,0	84,7	7,1	34,0	0,2	0,011	0,3	0,1	0,3	0,2	0,4	1606,4	1562,7	2036,5	Estable	No Desliza
0,6	37,3	52,7	2,1	17,5	72,5	85,4	7,1	37,6	0,2	0,012	0,3	0,2	0,3	0,2	0,4	1706,7	1711,6	2204,8	Inestable	No Desliza
0,65	41,0	49,0	2,3	19,0	71,0	85,9	7,1	41,4	0,2	0,013	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	1836,2	1908,5	2422,3	Inestable	No Desliza

Tubo de 28”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	22,6	67,4	1,3	11,0	79,0	82,2	6,6	22,7	0,14	0,008	0,3	0,1	0,4	0,1	0,4	1584,6	1449,8	1926,1	Estable	No Desliza
0,45	25,6	64,4	1,4	12,4	77,6	83,2	6,6	25,8	0,15	0,009	0,3	0,1	0,4	0,2	0,4	1649,0	1524,9	2025,5	Estable	No Desliza
0,5	28,7	61,3	1,6	13,8	76,2	84,0	6,6	28,9	0,17	0,010	0,3	0,1	0,4	0,2	0,4	1720,5	1616,2	2140,2	Estable	No Desliza
0,55	31,9	58,1	1,7	15,2	74,8	84,8	6,6	32,1	0,19	0,011	0,3	0,1	0,4	0,2	0,4	1802,5	1728,9	2275,7	Estable	No Desliza
0,6	35,2	54,8	1,9	16,6	73,4	85,4	6,6	35,4	0,20	0,012	0,3	0,1	0,4	0,2	0,4	1899,9	1870,2	2439,7	Estable	No Desliza
0,65	38,6	51,4	2,0	18,1	71,9	85,9	6,6	38,9	0,22	0,013	0,3	0,2	0,4	0,2	0,5	2020,6	2051,3	2644,2	Inestable	No Desliza

Tubo de 30”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	21,5	68,5	1,1	10,5	79,5	82,3	6,1	21,6	0,14	0,007	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	1561,6	1425,2	1899,1	Estable	No Desliza
0,45	24,3	65,7	1,3	11,8	78,2	83,3	6,1	24,5	0,16	0,008	0,3	0,1	0,4	0,2	0,4	1620,9	1491,5	1990,1	Estable	No Desliza
0,5	27,2	62,8	1,4	13,2	76,8	84,1	6,1	27,4	0,17	0,009	0,3	0,1	0,4	0,2	0,4	1685,7	1571,1	2093,6	Estable	No Desliza
0,55	30,2	59,8	1,5	14,5	75,5	84,8	6,1	30,4	0,19	0,010	0,3	0,1	0,4	0,2	0,4	1758,5	1667,7	2213,4	Estable	No Desliza
0,6	33,3	56,7	1,7	15,9	74,1	85,4	6,1	33,5	0,21	0,011	0,3	0,1	0,4	0,2	0,5	1842,7	1786,5	2355,3	Estable	No Desliza
0,65	36,5	53,5	1,8	17,2	72,8	85,9	6,1	36,8	0,23	0,012	0,3	0,2	0,4	0,2	0,5	1943,5	1935,2	2527,3	Estable	No Desliza
0,7	39,9	50,1	2,0	18,6	71,4	86,4	6,1	40,1	0,24	0,013	0,3	0,2	0,4	0,2	0,5	2069,3	2125,2	2742,2	Inestable	No Desliza

Tubo de 32”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	20,5	69,5	2,0	9,9	80,1	75,3	11,3	20,9	0,14	0,014	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	1651,5	1500,7	1950,7	Estable	No Desliza
0,45	23,2	66,8	2,2	11,1	78,9	77,1	11,3	23,7	0,16	0,016	0,4	0,1	0,4	0,2	0,4	1710,9	1565,1	2033,2	Estable	No Desliza
0,5	25,9	64,1	2,5	12,4	77,6	78,6	11,3	26,5	0,18	0,017	0,4	0,1	0,4	0,2	0,5	1775,1	1642,0	2126,5	Estable	No Desliza
0,55	28,8	61,2	2,7	13,7	76,3	79,8	11,3	29,4	0,20	0,019	0,4	0,1	0,4	0,2	0,5	1846,0	1734,3	2233,9	Estable	No Desliza
0,6	31,7	58,3	3,0	14,9	75,1	80,9	11,3	32,4	0,21	0,021	0,3	0,1	0,4	0,2	0,5	1926,7	1846,5	2359,9	Estable	Desliza

Tubo de 34”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	19,6	70,4	1,8	9,5	80,5	75,4	10,7	19,9	0,14	0,013	0,4	0,1	0,4	0,1	0,5	1733,9	1574,1	2048,7	Estable	No Desliza
0,45	22,1	67,9	2,0	10,7	79,3	77,2	10,7	22,6	0,16	0,015	0,4	0,1	0,4	0,2	0,5	1792,9	1635,6	2129,6	Estable	No Desliza
0,5	24,8	65,2	2,2	11,9	78,1	78,6	10,7	25,2	0,18	0,017	0,4	0,1	0,4	0,2	0,5	1855,9	1708,1	2220,1	Estable	No Desliza
0,55	27,4	62,6	2,4	13,1	76,9	79,9	10,7	28,0	0,20	0,018	0,4	0,1	0,4	0,2	0,5	1924,5	1794,2	2322,9	Estable	No Desliza
0,6	30,2	59,8	2,7	14,3	75,7	81,0	10,7	30,8	0,22	0,020	0,4	0,1	0,4	0,2	0,5	2001,2	1897,4	2441,4	Estable	No Desliza
0,65	33,0	57,0	2,9	15,5	74,5	81,9	10,7	33,6	0,24	0,022	0,4	0,2	0,4	0,2	0,5	2088,9	2022,4	2580,7	Estable	No Desliza
0,7	35,9	54,1	3,1	16,8	73,2	82,7	10,7	36,6	0,25	0,023	0,3	0,2	0,4	0,2	0,5	2192,6	2176,1	2748,1	Estable	Desliza

Tubo de 36”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	18,7	71,3	1,6	9,1	80,9	75,5	10,1	19,1	0,1	0,013	0,4	0,0	0,5	0,1	0,5	1528,7	1648,1	1974,5	Estable	No Desliza
0,45	21,2	68,8	1,8	10,3	79,7	77,3	10,1	21,5	0,2	0,014	0,4	0,1	0,5	0,2	0,5	1550,7	1707,0	2032,2	Estable	No Desliza
0,5	23,7	66,3	2,0	11,4	78,6	78,7	10,1	24,1	0,2	0,016	0,4	0,1	0,5	0,2	0,5	1575,9	1775,9	2098,4	Estable	No Desliza
0,55	26,2	63,8	2,2	12,6	77,4	79,9	10,1	26,7	0,2	0,018	0,4	0,1	0,5	0,2	0,5	1605,5	1856,8	2175,0	Estable	No Desliza
0,6	28,8	61,2	2,4	13,7	76,3	81,0	10,1	29,3	0,2	0,019	0,4	0,1	0,5	0,2	0,5	1641,0	1952,6	2264,9	Estable	No Desliza
0,65	31,5	58,5	2,6	14,9	75,1	81,9	10,1	32,0	0,2	0,021	0,4	0,1	0,5	0,2	0,5	1684,6	2067,0	2371,7	Estable	No Desliza
0,7	34,2	55,8	2,8	16,1	73,9	82,7	10,1	34,8	0,3	0,023	0,4	0,2	0,5	0,3	0,6	1739,0	2205,5	2500,5	Estable	No Desliza
0,75	37,1	52,9	3,0	17,3	72,7	83,4	10,1	37,7	0,3	0,024	0,4	0,2	0,5	0,3	0,6	1808,4	2375,3	2658,6	Inestable	Desliza

Tubo de 38”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	18,0	72,0	1,5	8,8	81,2	75,7	9,5	18,2	0,1	0,012	0,5	0,0	0,5	0,1	0,5	1607,2	1722,5	2074,8	Estable	No Desliza
0,45	20,3	69,7	1,7	9,9	80,1	77,4	9,5	20,6	0,2	0,014	0,5	0,1	0,5	0,2	0,5	1628,6	1779,2	2131,9	Estable	No Desliza
0,5	22,7	67,3	1,8	11,0	79,0	78,8	9,5	23,0	0,2	0,015	0,4	0,1	0,5	0,2	0,5	1652,8	1845,0	2196,7	Estable	No Desliza
0,55	25,1	64,9	2,0	12,1	77,9	80,0	9,5	25,5	0,2	0,017	0,4	0,1	0,5	0,2	0,5	1680,8	1921,5	2270,8	Estable	No Desliza
0,6	27,6	62,4	2,2	13,2	76,8	81,0	9,5	28,0	0,2	0,019	0,4	0,1	0,5	0,2	0,5	1713,9	2011,2	2356,6	Estable	No Desliza
0,65	30,1	59,9	2,4	14,3	75,7	81,9	9,5	30,6	0,2	0,020	0,4	0,1	0,5	0,2	0,6	1753,7	2117,1	2457,1	Estable	No Desliza
0,7	32,7	57,3	2,6	15,5	74,5	82,6	9,5	33,2	0,3	0,022	0,4	0,2	0,5	0,3	0,6	1802,5	2243,4	2576,3	Estable	No Desliza
0,75	35,4	54,6	2,8	16,6	73,4	83,3	9,5	36,0	0,3	0,023	0,4	0,2	0,5	0,3	0,6	1863,5	2395,8	2719,8	Estable	No Desliza
0,8	38,1	51,9	2,9	17,8	72,2	84,0	9,5	38,8	0,3	0,025	0,4	0,2	0,5	0,3	0,6	1941,2	2582,5	2895,5	Inestable	No Desliza

Tubo de 40”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	17,3	72,7	1,3	8,4	81,6	75,8	9,1	17,5	0,2	0,012	0,5	0,0	0,5	0,1	0,5	1685,8	1797,2	2167,4	Estable	No Desliza
0,45	19,5	70,5	1,5	9,5	80,5	77,5	9,1	19,8	0,2	0,013	0,5	0,1	0,5	0,2	0,5	1706,7	1852,0	2223,0	Estable	No Desliza
0,5	21,8	68,2	1,7	10,6	79,4	78,9	9,1	22,1	0,2	0,015	0,5	0,1	0,5	0,2	0,5	1730,1	1915,0	2285,6	Estable	No Desliza
0,55	24,1	65,9	1,8	11,6	78,4	80,0	9,1	24,4	0,2	0,016	0,5	0,1	0,5	0,2	0,6	1756,8	1987,9	2356,6	Estable	No Desliza
0,6	26,5	63,5	2,0	12,7	77,3	81,0	9,1	26,8	0,2	0,018	0,5	0,1	0,5	0,2	0,6	1787,9	2072,4	2438,0	Estable	No Desliza
0,65	28,9	61,1	2,2	13,8	76,2	81,9	9,1	29,3	0,2	0,019	0,4	0,1	0,5	0,2	0,6	1824,7	2171,2	2532,1	Estable	No Desliza
0,7	31,3	58,7	2,3	14,9	75,1	82,6	9,1	31,8	0,3	0,021	0,4	0,2	0,5	0,3	0,6	1869,1	2287,7	2642,4	Estable	No Desliza
0,75	33,9	56,1	2,5	16,0	74,0	83,3	9,1	34,3	0,3	0,022	0,4	0,2	0,5	0,3	0,6	1923,5	2426,3	2773,1	Estable	No Desliza
0,8	36,5	53,5	2,7	17,1	72,9	83,9	9,1	37,0	0,3	0,024	0,4	0,2	0,5	0,3	0,6	1991,4	2593,3	2930,3	Estable	No Desliza
0,85	39,2	50,8	2,9	18,2	71,8	84,5	9,1	39,7	0,3	0,025	0,4	0,3	0,5	0,3	0,7	2077,8	2797,5	3122,8	Inestable	No Desliza

Tubo de 42”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	16,6	73,4	1,2	8,1	81,9	75,9	8,6	16,8	0,2	0,011	0,5	0,0	0,5	0,2	0,6	2061,2	1872,3	2442,3	Estable	No Desliza
0,45	18,8	71,2	1,4	9,2	80,8	77,6	8,6	19,0	0,2	0,013	0,5	0,1	0,5	0,2	0,6	2119,7	1925,3	2520,0	Estable	No Desliza
0,5	21,0	69,0	1,5	10,2	79,8	78,9	8,6	21,2	0,2	0,014	0,5	0,1	0,5	0,2	0,6	2180,5	1986,0	2604,1	Estable	No Desliza
0,55	23,2	66,8	1,7	11,2	78,8	80,1	8,6	23,5	0,2	0,016	0,5	0,1	0,5	0,2	0,6	2244,4	2055,6	2695,9	Estable	No Desliza
0,6	25,4	64,6	1,8	12,3	77,7	81,0	8,6	25,7	0,2	0,017	0,5	0,1	0,5	0,2	0,6	2312,4	2135,7	2797,3	Estable	No Desliza
0,65	27,7	62,3	2,0	13,3	76,7	81,9	8,6	28,1	0,2	0,019	0,5	0,1	0,5	0,2	0,6	2385,9	2228,6	2910,3	Estable	No Desliza
0,7	30,1	59,9	2,2	14,4	75,6	82,6	8,6	30,5	0,3	0,020	0,5	0,2	0,5	0,3	0,6	2466,7	2337,0	3037,9	Estable	No Desliza
0,75	32,5	57,5	2,3	15,4	74,6	83,3	8,6	32,9	0,3	0,022	0,5	0,2	0,5	0,3	0,6	2557,2	2464,4	3183,8	Estable	No Desliza
0,8	34,9	55,1	2,5	16,5	73,5	83,9	8,6	35,4	0,3	0,023	0,4	0,2	0,5	0,3	0,7	2660,9	2615,8	3353,4	Estable	No Desliza
0,85	37,5	52,5	2,6	17,5	72,5	84,4	8,6	38,0	0,3	0,024	0,4	0,2	0,5	0,3	0,7	2782,3	2798,0	3553,6	Inestable	No Desliza

Tubo de 44”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	16,0	74,0	1,1	7,9	82,1	76,0	8,2	16,2	0,2	0,011	0,5	0,0	0,6	0,2	0,6	2142,6	1947,6	2540,9	Estable	No Desliza
0,45	18,1	71,9	1,3	8,8	81,2	77,6	8,2	18,3	0,2	0,012	0,5	0,1	0,6	0,2	0,6	2201,1	1999,1	2618,2	Estable	No Desliza
0,5	20,2	69,8	1,4	9,8	80,2	79,0	8,2	20,4	0,2	0,014	0,5	0,1	0,6	0,2	0,6	2261,6	2057,7	2701,4	Estable	No Desliza
0,55	22,3	67,7	1,6	10,8	79,2	80,1	8,2	22,6	0,2	0,015	0,5	0,1	0,6	0,2	0,6	2324,9	2124,4	2791,7	Estable	No Desliza
0,6	24,5	65,5	1,7	11,8	78,2	81,1	8,2	24,8	0,2	0,017	0,5	0,1	0,6	0,2	0,6	2391,8	2200,8	2890,6	Estable	No Desliza
0,65	26,7	63,3	1,8	12,8	77,2	81,9	8,2	27,0	0,3	0,018	0,5	0,1	0,6	0,2	0,6	2463,4	2288,6	2999,9	Estable	No Desliza
0,7	28,9	61,1	2,0	13,9	76,1	82,6	8,2	29,2	0,3	0,019	0,5	0,1	0,6	0,3	0,6	2541,3	2390,2	3122,1	Estable	No Desliza
0,75	31,2	58,8	2,1	14,9	75,1	83,2	8,2	31,6	0,3	0,021	0,5	0,2	0,6	0,3	0,7	2627,4	2508,4	3260,1	Estable	No Desliza
0,8	33,5	56,5	2,3	15,9	74,1	83,8	8,2	33,9	0,3	0,022	0,5	0,2	0,6	0,3	0,7	2724,3	2647,2	3418,3	Estable	No Desliza
0,85	36,0	54,0	2,4	16,9	73,1	84,4	8,2	36,4	0,3	0,024	0,5	0,2	0,6	0,3	0,7	2835,8	2812,0	3602,2	Estable	No Desliza
0,9	38,4	51,6	2,6	17,9	72,1	84,8	8,2	38,9	0,3	0,025	0,4	0,3	0,6	0,3	0,7	2966,9	3009,9	3819,6	Inestable	No Desliza

Tubo de 46”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	15,5	74,5	1,6	7,5	82,5	69,8	11,7	15,8	0,2	0,016	0,6	0,0	0,6	0,2	0,6	2230,1	2023,6	2615,3	Estable	No Desliza
0,45	17,5	72,5	1,7	8,5	81,5	72,1	11,7	17,9	0,2	0,018	0,6	0,1	0,6	0,2	0,6	2289,2	2074,3	2688,8	Estable	No Desliza
0,5	19,5	70,5	1,9	9,4	80,6	74,0	11,7	19,9	0,2	0,020	0,6	0,1	0,6	0,2	0,6	2350,1	2131,8	2767,8	Estable	No Desliza
0,55	21,5	68,5	2,1	10,4	79,6	75,5	11,7	22,0	0,2	0,022	0,5	0,1	0,6	0,2	0,6	2413,4	2197,1	2853,4	Estable	No Desliza
0,6	23,6	66,4	2,3	11,3	78,7	76,9	11,7	24,1	0,2	0,024	0,5	0,1	0,6	0,2	0,6	2480,0	2271,4	2946,7	Estable	No Desliza
0,65	25,7	64,3	2,5	12,3	77,7	78,1	11,7	26,3	0,3	0,026	0,5	0,1	0,6	0,2	0,6	2550,7	2356,5	3049,5	Estable	No Desliza
0,7	27,8	62,2	2,7	13,2	76,8	79,1	11,7	28,5	0,3	0,028	0,5	0,1	0,6	0,3	0,7	2627,0	2454,4	3163,8	Estable	No Desliza
0,75	30,0	60,0	2,9	14,2	75,8	80,0	11,7	30,7	0,3	0,030	0,5	0,2	0,6	0,3	0,7	2710,6	2567,7	3292,4	Estable	No Desliza
0,8	32,3	57,7	3,1	15,2	74,8	80,8	11,7	33,0	0,3	0,032	0,5	0,2	0,6	0,3	0,7	2803,6	2699,7	3438,6	Estable	Desliza
0,85	34,6	55,4	3,3	16,1	73,9	81,6	11,7	35,4	0,3	0,034	0,5	0,2	0,6	0,3	0,7	2909,2	2855,0	3607,3	Estable	Desliza
0,9	36,9	53,1	3,5	17,1	72,9	82,3	11,7	37,8	0,4	0,036	0,5	0,3	0,6	0,3	0,7	3031,7	3039,7	3804,8	Inestable	Desliza

Tubo de 50”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	14,5	75,5	1,3	7,1	82,9	70,0	10,8	14,7	0,2	0,015	0,6	0,0	0,6	0,2	0,7	2391,1	2175,0	2809,1	Estable	No Desliza
0,45	16,3	73,7	1,5	7,9	82,1	72,3	10,8	16,6	0,2	0,017	0,6	0,1	0,6	0,2	0,7	2450,4	2223,1	2881,9	Estable	No Desliza
0,5	18,2	71,8	1,7	8,8	81,2	74,1	10,8	18,5	0,2	0,019	0,6	0,1	0,6	0,2	0,7	2511,1	2277,2	2959,5	Estable	No Desliza
0,55	20,1	69,9	1,8	9,7	80,3	75,6	10,8	20,5	0,2	0,020	0,6	0,1	0,6	0,2	0,7	2573,7	2338,0	3042,6	Estable	No Desliza
0,6	22,0	68,0	2,0	10,6	79,4	77,0	10,8	22,4	0,2	0,022	0,6	0,1	0,6	0,2	0,7	2638,9	2406,5	3132,2	Estable	No Desliza
0,65	24,0	66,0	2,2	11,5	78,5	78,1	10,8	24,4	0,3	0,024	0,6	0,1	0,6	0,3	0,7	2707,3	2483,9	3229,6	Estable	No Desliza
0,7	25,9	64,1	2,3	12,4	77,6	79,1	10,8	26,4	0,3	0,026	0,6	0,1	0,6	0,3	0,7	2779,8	2571,8	3336,3	Estable	No Desliza
0,75	27,9	62,1	2,5	13,3	76,7	80,0	10,8	28,5	0,3	0,028	0,6	0,2	0,6	0,3	0,7	2857,8	2672,0	3454,2	Estable	No Desliza
0,8	30,0	60,0	2,7	14,2	75,8	80,8	10,8	30,6	0,3	0,030	0,5	0,2	0,6	0,3	0,7	2942,7	2786,8	3585,6	Estable	No Desliza
0,85	32,1	57,9	2,9	15,1	74,9	81,5	10,8	32,7	0,3	0,032	0,5	0,2	0,6	0,3	0,7	3036,5	2919,2	3733,8	Estable	No Desliza
0,9	34,2	55,8	3,0	16,1	73,9	82,2	10,8	34,9	0,4	0,033	0,5	0,2	0,6	0,4	0,8	3141,9	3073,1	3902,7	Estable	Desliza
0,95	36,4	53,6	3,2	17,0	73,0	82,8	10,8	37,2	0,4	0,035	0,5	0,3	0,6	0,4	0,8	3262,5	3253,7	4097,8	Estable	Desliza
1	38,7	51,3	3,4	17,9	72,1	83,3	10,8	39,5	0,4	0,037	0,5	0,3	0,6	0,4	0,8	3403,2	3467,9	4326,5	Inestable	Desliza

Tubo de 54”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	13,6	76,4	1,2	6,6	83,4	70,2	10,0	13,8	0,2	0,014	0,7	0,0	0,7	0,2	0,7	2551,7	2327,0	3003,2	Estable	No Desliza
0,45	15,3	74,7	1,3	7,5	82,5	72,4	10,0	15,6	0,2	0,016	0,7	0,0	0,7	0,2	0,7	2611,2	2373,0	3075,5	Estable	No Desliza
0,5	17,1	72,9	1,5	8,3	81,7	74,2	10,0	17,4	0,2	0,018	0,7	0,1	0,7	0,2	0,7	2671,9	2424,3	3152,1	Estable	No Desliza
0,55	18,9	71,1	1,6	9,2	80,8	75,7	10,0	19,2	0,2	0,019	0,6	0,1	0,7	0,2	0,7	2734,1	2481,5	3233,5	Estable	No Desliza
0,6	20,6	69,4	1,8	10,0	80,0	77,0	10,0	21,0	0,2	0,021	0,6	0,1	0,7	0,2	0,7	2798,3	2545,4	3320,5	Estable	No Desliza
0,65	22,5	67,5	1,9	10,8	79,2	78,1	10,0	22,8	0,3	0,023	0,6	0,1	0,7	0,3	0,7	2865,2	2616,9	3414,0	Estable	No Desliza
0,7	24,3	65,7	2,0	11,7	78,3	79,1	10,0	24,7	0,3	0,025	0,6	0,1	0,7	0,3	0,8	2935,2	2697,2	3515,3	Estable	No Desliza
0,75	26,1	63,9	2,2	12,5	77,5	80,0	10,0	26,6	0,3	0,026	0,6	0,1	0,7	0,3	0,8	3009,5	2787,6	3625,6	Estable	No Desliza
0,8	28,0	62,0	2,3	13,4	76,6	80,7	10,0	28,5	0,3	0,028	0,6	0,2	0,7	0,3	0,8	3088,9	2889,9	3746,8	Estable	No Desliza
0,85	30,0	60,0	2,5	14,3	75,7	81,4	10,0	30,5	0,3	0,030	0,6	0,2	0,7	0,3	0,8	3175,1	3006,1	3881,0	Estable	No Desliza
0,9	31,9	58,1	2,6	15,1	74,9	82,1	10,0	32,5	0,4	0,032	0,6	0,2	0,7	0,4	0,8	3269,6	3138,9	4031,0	Estable	No Desliza
0,95	33,9	56,1	2,8	16,0	74,0	82,6	10,0	34,5	0,4	0,033	0,6	0,3	0,7	0,4	0,8	3374,9	3291,8	4200,5	Estable	No Desliza
1	36,0	54,0	2,9	16,8	73,2	83,2	10,0	36,6	0,4	0,035	0,6	0,3	0,7	0,4	0,8	3494,0	3469,1	4393,9	Estable	No Desliza
1,05	38,1	51,9	3,1	17,7	72,3	83,7	10,0	38,8	0,4	0,037	0,5	0,3	0,7	0,4	0,9	3631,0	3676,6	4617,6	Inestable	Desliza

Tubo de 56”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	13,2	76,8	1,1	6,5	83,5	70,3	9,7	13,4	0,2	0,014	0,7	0,0	0,7	0,2	0,7	2631,9	2403,2	3100,2	Estable	No Desliza
0,45	14,9	75,1	1,2	7,3	82,7	72,5	9,7	15,1	0,2	0,015	0,7	0,0	0,7	0,2	0,7	2691,5	2448,3	3172,5	Estable	No Desliza
0,5	16,6	73,4	1,4	8,1	81,9	74,3	9,7	16,8	0,2	0,017	0,7	0,1	0,7	0,2	0,7	2752,2	2498,4	3248,7	Estable	No Desliza
0,55	18,3	71,7	1,5	8,9	81,1	75,8	9,7	18,6	0,2	0,019	0,7	0,1	0,7	0,2	0,7	2814,3	2554,1	3329,5	Estable	No Desliza
0,6	20,0	70,0	1,6	9,7	80,3	77,0	9,7	20,3	0,2	0,020	0,7	0,1	0,7	0,2	0,8	2878,2	2616,0	3415,4	Estable	No Desliza
0,65	21,8	68,2	1,8	10,5	79,5	78,1	9,7	22,1	0,3	0,022	0,7	0,1	0,7	0,3	0,8	2944,4	2685,0	3507,4	Estable	No Desliza
0,7	23,5	66,5	1,9	11,4	78,6	79,1	9,7	23,9	0,3	0,024	0,7	0,1	0,7	0,3	0,8	3013,5	2762,2	3606,5	Estable	No Desliza
0,75	25,3	64,7	2,1	12,2	77,8	80,0	9,7	25,7	0,3	0,026	0,6	0,1	0,7	0,3	0,8	3086,4	2848,6	3713,9	Estable	No Desliza
0,8	27,2	62,8	2,2	13,0	77,0	80,7	9,7	27,6	0,3	0,027	0,6	0,2	0,7	0,3	0,8	3163,8	2945,8	3831,0	Estable	No Desliza
0,85	29,0	61,0	2,3	13,8	76,2	81,4	9,7	29,5	0,3	0,029	0,6	0,2	0,7	0,3	0,8	3247,1	3055,6	3959,9	Estable	No Desliza
0,9	30,9	59,1	2,5	14,7	75,3	82,0	9,7	31,4	0,4	0,031	0,6	0,2	0,7	0,4	0,8	3337,6	3180,2	4102,8	Estable	No Desliza
0,95	32,8	57,2	2,6	15,5	74,5	82,6	9,7	33,4	0,4	0,032	0,6	0,2	0,7	0,4	0,8	3437,4	3322,4	4262,7	Estable	No Desliza
1	34,8	55,2	2,7	16,4	73,6	83,1	9,7	35,4	0,4	0,034	0,6	0,3	0,7	0,4	0,9	3548,8	3486,0	4443,4	Estable	No Desliza
1,05	36,8	53,2	2,9	17,2	72,8	83,6	9,7	37,4	0,4	0,036	0,6	0,3	0,7	0,4	0,9	3675,2	3675,5	4649,8	Inestable	No Desliza

Tubo de 58”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	12,8	77,2	1,0	6,3	83,7	70,4	9,3	13,0	0,2	0,013	0,7	0,0	0,7	0,2	0,8	2711,9	2479,5	3197,3	Estable	No Desliza
0,45	14,4	75,6	1,2	7,1	82,9	72,5	9,3	14,6	0,2	0,015	0,7	0,0	0,7	0,2	0,8	2771,7	2523,8	3269,5	Estable	No Desliza
0,5	16,1	73,9	1,3	7,9	82,1	74,3	9,3	16,3	0,2	0,017	0,7	0,1	0,7	0,2	0,8	2832,4	2572,8	3345,4	Estable	No Desliza
0,55	17,8	72,2	1,4	8,7	81,3	75,8	9,3	18,0	0,2	0,018	0,7	0,1	0,7	0,2	0,8	2894,4	2627,1	3425,6	Estable	No Desliza
0,6	19,4	70,6	1,5	9,5	80,5	77,1	9,3	19,7	0,2	0,020	0,7	0,1	0,7	0,2	0,8	2958,1	2687,2	3510,7	Estable	No Desliza
0,65	21,1	68,9	1,7	10,2	79,8	78,2	9,3	21,4	0,3	0,022	0,7	0,1	0,7	0,3	0,8	3023,8	2754,0	3601,4	Estable	No Desliza
0,7	22,8	67,2	1,8	11,0	79,0	79,1	9,3	23,2	0,3	0,023	0,7	0,1	0,7	0,3	0,8	3092,1	2828,3	3698,6	Estable	No Desliza
0,75	24,6	65,4	1,9	11,8	78,2	80,0	9,3	24,9	0,3	0,025	0,7	0,1	0,7	0,3	0,8	3163,8	2911,2	3803,5	Estable	No Desliza
0,8	26,3	63,7	2,1	12,7	77,3	80,7	9,3	26,7	0,3	0,026	0,7	0,2	0,7	0,3	0,8	3239,5	3003,9	3917,2	Estable	No Desliza
0,85	28,1	61,9	2,2	13,5	76,5	81,4	9,3	28,5	0,3	0,028	0,6	0,2	0,7	0,3	0,8	3320,4	3108,1	4041,6	Estable	No Desliza
0,9	29,9	60,1	2,3	14,3	75,7	82,0	9,3	30,4	0,4	0,030	0,6	0,2	0,7	0,4	0,9	3407,6	3225,6	4178,4	Estable	No Desliza
0,95	31,8	58,2	2,4	15,1	74,9	82,6	9,3	32,3	0,4	0,031	0,6	0,2	0,7	0,4	0,9	3502,8	3358,9	4330,3	Estable	No Desliza
1	33,7	56,3	2,6	15,9	74,1	83,1	9,3	34,2	0,4	0,033	0,6	0,3	0,7	0,4	0,9	3608,0	3510,9	4500,4	Estable	No Desliza
1,05	35,6	54,4	2,7	16,7	73,3	83,5	9,3	36,2	0,4	0,035	0,6	0,3	0,7	0,4	0,9	3725,9	3685,4	4692,8	Estable	No Desliza
1,1	37,6	52,4	2,8	17,5	72,5	84,0	9,3	38,2	0,4	0,036	0,6	0,3	0,7	0,4	0,9	3860,0	3887,5	4912,6	Inestable	No Desliza

Tubo de 60”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	12,5	77,5	1,0	6,1	83,9	70,5	9,0	12,6	0,2	0,013	0,7	0,0	0,8	0,2	0,8	2791,9	2555,9	3260,1	Estable	No Desliza
0,45	14,0	76,0	1,1	6,9	83,1	72,6	9,0	14,2	0,2	0,014	0,7	0,0	0,8	0,2	0,8	2851,8	2599,5	3328,2	Estable	No Desliza
0,5	15,6	74,4	1,2	7,7	82,3	74,4	9,0	15,8	0,2	0,016	0,7	0,1	0,8	0,2	0,8	2912,5	2647,5	3399,8	Estable	No Desliza
0,55	17,3	72,7	1,3	8,4	81,6	75,8	9,0	17,5	0,2	0,018	0,7	0,1	0,8	0,2	0,8	2974,5	2700,4	3475,2	Estable	No Desliza
0,6	18,9	71,1	1,5	9,2	80,8	77,1	9,0	19,1	0,2	0,019	0,7	0,1	0,8	0,2	0,8	3037,9	2759,0	3555,1	Estable	No Desliza
0,65	20,5	69,5	1,6	10,0	80,0	78,2	9,0	20,8	0,3	0,021	0,7	0,1	0,8	0,3	0,8	3103,3	2823,7	3640,0	Estable	No Desliza
0,7	22,2	67,8	1,7	10,7	79,3	79,1	9,0	22,5	0,3	0,023	0,7	0,1	0,8	0,3	0,8	3170,9	2895,4	3730,9	Estable	No Desliza
0,75	23,9	66,1	1,8	11,5	78,5	80,0	9,0	24,2	0,3	0,024	0,7	0,1	0,8	0,3	0,8	3241,6	2975,2	3828,5	Estable	No Desliza
0,8	25,6	64,4	1,9	12,3	77,7	80,7	9,0	25,9	0,3	0,026	0,7	0,2	0,8	0,3	0,8	3315,9	3064,0	3934,2	Estable	No Desliza
0,85	27,3	62,7	2,1	13,1	76,9	81,4	9,0	27,7	0,3	0,027	0,7	0,2	0,8	0,3	0,9	3394,7	3163,2	4049,2	Estable	No Desliza
0,9	29,0	61,0	2,2	13,9	76,1	82,0	9,0	29,4	0,4	0,029	0,7	0,2	0,8	0,4	0,9	3479,2	3274,6	4175,2	Estable	No Desliza
0,95	30,8	59,2	2,3	14,7	75,3	82,5	9,0	31,2	0,4	0,031	0,7	0,2	0,8	0,4	0,9	3570,6	3400,1	4314,3	Estable	No Desliza
1	32,6	57,4	2,4	15,5	74,5	83,0	9,0	33,1	0,4	0,032	0,6	0,3	0,8	0,4	0,9	3670,7	3542,2	4469,2	Estable	No Desliza
1,05	34,5	55,5	2,5	16,3	73,7	83,5	9,0	35,0	0,4	0,034	0,6	0,3	0,8	0,4	0,9	3781,6	3704,2	4643,1	Estable	No Desliza
1,1	36,4	53,6	2,7	17,1	72,9	83,9	9,0	36,9	0,5	0,035	0,6	0,3	0,8	0,4	0,9	3906,2	3890,1	4840,3	Estable	No Desliza
1,15	38,3	51,7	2,8	17,9	72,1	84,3	9,0	38,9	0,5	0,037	0,6	0,4	0,8	0,5	1,0	4048,3	4105,1	5066,2	Inestable	No Desliza

Tabla para tubos de ¼” espesor

Tubo de 20”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	28,5	61,5	2,2	13,6	76,4	81,6	9,2	28,9	0,1	0,010	0,22	0,07	0,25	0,12	0,29	632,2	593,1	738,8	Estable	No Desliza
0,45	32,5	57,5	2,5	15,4	74,6	82,8	9,2	33,0	0,1	0,011	0,21	0,09	0,25	0,13	0,30	670,4	646,1	794,1	Estable	No Desliza
0,5	36,6	53,4	2,7	17,1	72,9	83,8	9,2	37,2	0,2	0,012	0,20	0,11	0,25	0,15	0,32	718,2	716,9	865,9	Estable	No Desliza
0,55	41,0	49,0	3,0	18,9	71,1	84,7	9,2	41,7	0,2	0,013	0,19	0,14	0,25	0,16	0,34	782,6	815,0	964,3	Inestable	Desliza

Tubo de 22”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	26,7	63,3	1,9	12,9	77,1	81,8	8,4	27,1	0,1	0,009	0,25	0,06	0,28	0,12	0,31	616,5	572,9	750,2	Estable	No Desliza
0,45	30,4	59,6	2,1	14,5	75,5	82,9	8,4	30,8	0,1	0,010	0,24	0,08	0,28	0,14	0,32	649,3	616,5	802,0	Estable	No Desliza
0,5	34,2	55,8	2,4	16,2	73,8	83,9	8,4	34,6	0,2	0,011	0,23	0,11	0,28	0,16	0,34	688,7	673,0	866,3	Estable	No Desliza
0,55	38,2	51,8	2,6	17,8	72,2	84,7	8,4	38,7	0,2	0,013	0,22	0,14	0,28	0,17	0,36	738,8	748,1	949,1	Inestable	No Desliza

Tubo de 24”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	25,2	64,8	1,6	12,2	77,8	81,9	7,7	25,4	0,1	0,009	0,28	0,06	0,30	0,13	0,34	658,5	607,7	800,6	Estable	No Desliza
0,45	28,6	61,4	1,8	13,7	76,3	83,0	7,7	28,9	0,1	0,010	0,27	0,08	0,30	0,14	0,35	690,1	647,9	850,0	Estable	No Desliza
0,5	32,1	57,9	2,0	15,3	74,7	83,9	7,7	32,5	0,2	0,011	0,26	0,10	0,30	0,16	0,36	726,8	698,6	909,6	Estable	No Desliza
0,55	35,8	54,2	2,2	16,9	73,1	84,7	7,7	36,2	0,2	0,012	0,25	0,13	0,30	0,18	0,38	771,5	764,0	983,6	Estable	No Desliza
0,6	39,7	50,3	2,4	18,5	71,5	85,4	7,7	40,1	0,2	0,013	0,23	0,16	0,30	0,19	0,40	828,8	850,6	1079,2	Inestable	No Desliza

Tubo de 26”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	23,8	66,2	1,4	11,6	78,4	82,1	7,1	24,0	0,1	0,008	0,30	0,06	0,33	0,13	0,36	700,5	643,2	851,3	Estable	No Desliza
0,45	27,0	63,0	1,6	13,0	77,0	83,1	7,1	27,2	0,2	0,009	0,29	0,08	0,33	0,15	0,37	731,2	680,7	899,1	Estable	No Desliza
0,5	30,3	59,7	1,8	14,5	75,5	84,0	7,1	30,6	0,2	0,010	0,29	0,10	0,33	0,17	0,38	766,1	726,9	955,3	Estable	No Desliza
0,55	33,7	56,3	2,0	16,0	74,0	84,7	7,1	34,0	0,2	0,011	0,27	0,12	0,33	0,18	0,40	807,1	785,2	1023,2	Estable	No Desliza
0,6	37,3	52,7	2,1	17,5	72,5	85,4	7,1	37,6	0,2	0,012	0,26	0,15	0,33	0,20	0,41	857,5	860,0	1107,7	Inestable	No Desliza

Tubo de 28”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	22,6	67,4	1,3	11,0	79,0	82,2	6,6	22,7	0,1	0,008	0,33	0,06	0,36	0,14	0,39	795,6	728,0	967,1	Estable	No Desliza
0,45	25,6	64,4	1,4	12,4	77,6	83,2	6,6	25,8	0,2	0,009	0,32	0,07	0,36	0,15	0,39	828,0	765,6	1017,0	Estable	No Desliza
0,5	28,7	61,3	1,6	13,8	76,2	84,0	6,6	28,9	0,2	0,010	0,31	0,09	0,36	0,17	0,41	863,9	811,5	1074,6	Estable	No Desliza
0,55	31,9	58,1	1,7	15,2	74,8	84,8	6,6	32,1	0,2	0,011	0,30	0,12	0,36	0,19	0,42	905,0	868,1	1142,6	Estable	No Desliza
0,6	35,2	54,8	1,9	16,6	73,4	85,4	6,6	35,4	0,2	0,012	0,29	0,14	0,36	0,20	0,44	954,0	939,0	1225,0	Estable	No Desliza
0,65	38,6	51,4	2,0	18,1	71,9	85,9	6,6	38,9	0,2	0,013	0,28	0,18	0,36	0,22	0,46	1014,6	1030,0	1327,7	Inestable	No Desliza

Tubo de 30”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	21,5	68,5	1,1	10,5	79,5	82,3	6,1	21,6	0,1	0,007	0,35	0,05	0,38	0,14	0,41	784,1	715,6	953,6	Estable	No Desliza
0,45	24,3	65,7	1,3	11,8	78,2	83,3	6,1	24,5	0,2	0,008	0,35	0,07	0,38	0,16	0,42	813,9	748,9	999,2	Estable	No Desliza
0,5	27,2	62,8	1,4	13,2	76,8	84,1	6,1	27,4	0,2	0,009	0,34	0,09	0,38	0,17	0,43	846,4	788,9	1051,2	Estable	No Desliza
0,55	30,2	59,8	1,5	14,5	75,5	84,8	6,1	30,4	0,2	0,010	0,33	0,11	0,38	0,19	0,44	882,9	837,4	1111,4	Estable	No Desliza
0,6	33,3	56,7	1,7	15,9	74,1	85,4	6,1	33,5	0,2	0,011	0,32	0,14	0,38	0,21	0,46	925,2	897,0	1182,6	Estable	No Desliza
0,65	36,5	53,5	1,8	17,2	72,8	85,9	6,1	36,8	0,2	0,012	0,31	0,17	0,38	0,23	0,47	975,9	971,6	1269,0	Estable	No Desliza
0,7	39,9	50,1	2,0	18,6	71,4	86,4	6,1	40,1	0,2	0,013	0,29	0,20	0,38	0,24	0,50	1039,0	1067,1	1376,9	Inestable	No Desliza

Tubo de 32”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	20,5	69,5	2,0	9,9	80,1	75,3	11,3	20,9	0,1	0,014	0,38	0,05	0,41	0,14	0,43	829,0	753,3	979,2	Estable	No Desliza
0,45	23,2	66,8	2,2	11,1	78,9	77,1	11,3	23,7	0,2	0,016	0,37	0,07	0,41	0,16	0,44	858,8	785,7	1020,6	Estable	No Desliza
0,5	25,9	64,1	2,5	12,4	77,6	78,6	11,3	26,5	0,2	0,017	0,37	0,09	0,41	0,17	0,45	891,0	824,2	1067,4	Estable	No Desliza
0,55	28,8	61,2	2,7	13,7	76,3	79,8	11,3	29,4	0,2	0,019	0,36	0,11	0,41	0,19	0,46	926,7	870,6	1121,3	Estable	No Desliza
0,6	31,7	58,3	3,0	14,9	75,1	80,9	11,3	32,4	0,2	0,021	0,35	0,13	0,41	0,21	0,48	967,1	926,9	1184,6	Estable	Desliza
0,65	34,7	55,3	3,2	16,2	73,8	81,9	11,3	35,5	0,2	0,023	0,33	0,16	0,41	0,23	0,49	1014,6	996,4	1260,4	Estable	Desliza
0,7	37,8	52,2	3,5	17,5	72,5	82,8	11,3	38,7	0,2	0,024	0,32	0,19	0,41	0,24	0,51	1072,3	1083,6	1353,7	Inestable	Desliza

Tubo de 34”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	19,6	70,4	1,8	9,5	80,5	75,4	10,7	19,9	0,1	0,013	0,41	0,05	0,43	0,14	0,46	870,2	790,0	1028,1	Estable	No Desliza
0,45	22,1	67,9	2,0	10,7	79,3	77,2	10,7	22,6	0,2	0,015	0,40	0,07	0,43	0,16	0,47	899,7	820,8	1068,7	Estable	No Desliza
0,5	24,8	65,2	2,2	11,9	78,1	78,6	10,7	25,2	0,2	0,017	0,39	0,08	0,43	0,18	0,48	931,4	857,2	1114,2	Estable	No Desliza
0,55	27,4	62,6	2,4	13,1	76,9	79,9	10,7	28,0	0,2	0,018	0,38	0,10	0,43	0,20	0,49	965,8	900,4	1165,7	Estable	No Desliza
0,6	30,2	59,8	2,7	14,3	75,7	81,0	10,7	30,8	0,2	0,020	0,37	0,13	0,43	0,21	0,50	1004,3	952,2	1225,2	Estable	No Desliza
0,65	33,0	57,0	2,9	15,5	74,5	81,9	10,7	33,6	0,2	0,022	0,36	0,15	0,43	0,23	0,51	1048,3	1014,9	1295,1	Estable	No Desliza
0,7	35,9	54,1	3,1	16,8	73,2	82,7	10,7	36,6	0,3	0,023	0,35	0,18	0,43	0,25	0,53	1100,4	1092,1	1379,1	Estable	Desliza
0,75	38,9	51,1	3,3	18,0	72,0	83,5	10,7	39,7	0,3	0,025	0,34	0,22	0,43	0,27	0,56	1163,9	1188,8	1482,5	Inestable	Desliza

Tubo de 36”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	18,7	71,3	1,6	9,1	80,9	75,5	10,1	19,1	0,1	0,013	0,43	0,05	0,46	0,14	0,48	767,0	826,9	990,7	Estable	No Desliza
0,45	21,2	68,8	1,8	10,3	79,7	77,3	10,1	21,5	0,2	0,014	0,43	0,06	0,46	0,16	0,49	778,0	856,5	1019,7	Estable	No Desliza
0,5	23,7	66,3	2,0	11,4	78,6	78,7	10,1	24,1	0,2	0,016	0,42	0,08	0,46	0,18	0,50	790,7	891,1	1052,8	Estable	No Desliza
0,55	26,2	63,8	2,2	12,6	77,4	79,9	10,1	26,7	0,2	0,018	0,41	0,10	0,46	0,20	0,51	805,6	931,7	1091,3	Estable	No Desliza
0,6	28,8	61,2	2,4	13,7	76,3	81,0	10,1	29,3	0,2	0,019	0,40	0,12	0,46	0,22	0,52	823,4	979,7	1136,4	Estable	No Desliza
0,65	31,5	58,5	2,6	14,9	75,1	81,9	10,1	32,0	0,2	0,021	0,39	0,15	0,46	0,24	0,54	845,2	1037,1	1190,0	Estable	No Desliza
0,7	34,2	55,8	2,8	16,1	73,9	82,7	10,1	34,8	0,3	0,023	0,38	0,17	0,46	0,25	0,55	872,5	1106,6	1254,6	Estable	No Desliza
0,75	37,1	52,9	3,0	17,3	72,7	83,4	10,1	37,7	0,3	0,024	0,36	0,21	0,46	0,27	0,57	907,4	1191,8	1333,9	Inestable	Desliza

Tubo de 38”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	18,0	72,0	1,5	8,8	81,2	75,7	9,5	18,2	0,1	0,012	0,46	0,05	0,48	0,15	0,51	806,3	864,1	1040,8	Estable	No Desliza
0,45	20,3	69,7	1,7	9,9	80,1	77,4	9,5	20,6	0,2	0,014	0,45	0,06	0,48	0,17	0,51	817,0	892,6	1069,5	Estable	No Desliza
0,5	22,7	67,3	1,8	11,0	79,0	78,8	9,5	23,0	0,2	0,015	0,45	0,08	0,48	0,18	0,52	829,1	925,5	1102,0	Estable	No Desliza
0,55	25,1	64,9	2,0	12,1	77,9	80,0	9,5	25,5	0,2	0,017	0,44	0,10	0,48	0,20	0,53	843,2	963,9	1139,2	Estable	No Desliza
0,6	27,6	62,4	2,2	13,2	76,8	81,0	9,5	28,0	0,2	0,019	0,43	0,12	0,48	0,22	0,54	859,8	1008,9	1182,2	Estable	No Desliza
0,65	30,1	59,9	2,4	14,3	75,7	81,9	9,5	30,6	0,2	0,020	0,42	0,14	0,48	0,24	0,56	879,8	1062,0	1232,6	Estable	No Desliza
0,7	32,7	57,3	2,6	15,5	74,5	82,6	9,5	33,2	0,3	0,022	0,41	0,17	0,48	0,26	0,57	904,3	1125,4	1292,4	Estable	No Desliza
0,75	35,4	54,6	2,8	16,6	73,4	83,3	9,5	36,0	0,3	0,023	0,39	0,20	0,48	0,28	0,59	934,8	1201,8	1364,4	Estable	No Desliza
0,8	38,1	51,9	2,9	17,8	72,2	84,0	9,5	38,8	0,3	0,025	0,38	0,23	0,48	0,29	0,61	973,8	1295,5	1452,6	Inestable	No Desliza

Tubo de 40”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	17,3	72,7	1,3	8,4	81,6	75,8	9,1	17,5	0,2	0,012	0,49	0,05	0,51	0,15	0,53	845,5	901,4	1087,1	Estable	No Desliza
0,45	19,5	70,5	1,5	9,5	80,5	77,5	9,1	19,8	0,2	0,013	0,48	0,06	0,51	0,17	0,54	856,0	928,9	1115,0	Estable	No Desliza
0,5	21,8	68,2	1,7	10,6	79,4	78,9	9,1	22,1	0,2	0,015	0,47	0,08	0,51	0,19	0,55	867,8	960,5	1146,4	Estable	No Desliza
0,55	24,1	65,9	1,8	11,6	78,4	80,0	9,1	24,4	0,2	0,016	0,46	0,09	0,51	0,20	0,56	881,2	997,1	1182,0	Estable	No Desliza
0,6	26,5	63,5	2,0	12,7	77,3	81,0	9,1	26,8	0,2	0,018	0,45	0,11	0,51	0,22	0,57	896,7	1039,5	1222,8	Estable	No Desliza
0,65	28,9	61,1	2,2	13,8	76,2	81,9	9,1	29,3	0,2	0,019	0,44	0,14	0,51	0,24	0,58	915,2	1089,0	1270,0	Estable	No Desliza
0,7	31,3	58,7	2,3	14,9	75,1	82,6	9,1	31,8	0,3	0,021	0,43	0,16	0,51	0,26	0,59	937,5	1147,4	1325,3	Estable	No Desliza
0,75	33,9	56,1	2,5	16,0	74,0	83,3	9,1	34,3	0,3	0,022	0,42	0,19	0,51	0,28	0,61	964,8	1217,0	1390,9	Estable	No Desliza
0,8	36,5	53,5	2,7	17,1	72,9	83,9	9,1	37,0	0,3	0,024	0,41	0,22	0,51	0,30	0,63	998,8	1300,7	1469,8	Estable	No Desliza
0,85	39,2	50,8	2,9	18,2	71,8	84,5	9,1	39,7	0,3	0,025	0,39	0,26	0,51	0,32	0,66	1042,2	1403,2	1566,3	Inestable	No Desliza

Tubo de 42”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	16,6	73,4	1,2	8,1	81,9	75,9	8,6	16,8	0,2	0,011	0,51	0,05	0,53	0,15	0,56	1033,7	938,9	1224,8	Estable	No Desliza
0,45	18,8	71,2	1,4	9,2	80,8	77,6	8,6	19,0	0,2	0,013	0,50	0,06	0,53	0,17	0,56	1063,0	965,6	1263,8	Estable	No Desliza
0,5	21,0	69,0	1,5	10,2	79,8	78,9	8,6	21,2	0,2	0,014	0,50	0,07	0,53	0,19	0,57	1093,5	996,0	1305,9	Estable	No Desliza
0,55	23,2	66,8	1,7	11,2	78,8	80,1	8,6	23,5	0,2	0,016	0,49	0,09	0,53	0,21	0,58	1125,5	1030,9	1352,0	Estable	No Desliza
0,6	25,4	64,6	1,8	12,3	77,7	81,0	8,6	25,7	0,2	0,017	0,48	0,11	0,53	0,23	0,59	1159,6	1071,1	1402,8	Estable	No Desliza
0,65	27,7	62,3	2,0	13,3	76,7	81,9	8,6	28,1	0,2	0,019	0,47	0,13	0,53	0,25	0,60	1196,5	1117,7	1459,5	Estable	No Desliza
0,7	30,1	59,9	2,2	14,4	75,6	82,6	8,6	30,5	0,3	0,020	0,46	0,15	0,53	0,26	0,62	1237,0	1172,0	1523,5	Estable	No Desliza
0,75	32,5	57,5	2,3	15,4	74,6	83,3	8,6	32,9	0,3	0,022	0,45	0,18	0,53	0,28	0,63	1282,4	1235,9	1596,7	Estable	No Desliza
0,8	34,9	55,1	2,5	16,5	73,5	83,9	8,6	35,4	0,3	0,023	0,44	0,21	0,53	0,30	0,65	1334,4	1311,8	1681,7	Estable	No Desliza
0,85	37,5	52,5	2,6	17,5	72,5	84,4	8,6	38,0	0,3	0,024	0,42	0,25	0,53	0,32	0,67	1395,3	1403,2	1782,1	Inestable	No Desliza

Tubo de 44”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	16,0	74,0	1,1	7,9	82,1	76,0	8,2	16,2	0,2	0,011	0,54	0,04	0,56	0,15	0,58	1074,4	976,6	1274,1	Estable	No Desliza
0,45	18,1	71,9	1,3	8,8	81,2	77,6	8,2	18,3	0,2	0,012	0,53	0,06	0,56	0,17	0,59	1103,7	1002,4	1312,8	Estable	No Desliza
0,5	20,2	69,8	1,4	9,8	80,2	79,0	8,2	20,4	0,2	0,014	0,52	0,07	0,56	0,19	0,60	1134,1	1031,8	1354,6	Estable	No Desliza
0,55	22,3	67,7	1,6	10,8	79,2	80,1	8,2	22,6	0,2	0,015	0,52	0,09	0,56	0,21	0,60	1165,8	1065,2	1399,9	Estable	No Desliza
0,6	24,5	65,5	1,7	11,8	78,2	81,1	8,2	24,8	0,2	0,017	0,51	0,11	0,56	0,23	0,61	1199,3	1103,5	1449,4	Estable	No Desliza
0,65	26,7	63,3	1,8	12,8	77,2	81,9	8,2	27,0	0,3	0,018	0,50	0,13	0,56	0,25	0,63	1235,2	1147,6	1504,2	Estable	No Desliza
0,7	28,9	61,1	2,0	13,9	76,1	82,6	8,2	29,2	0,3	0,019	0,49	0,15	0,56	0,27	0,64	1274,3	1198,5	1565,5	Estable	No Desliza
0,75	31,2	58,8	2,1	14,9	75,1	83,2	8,2	31,6	0,3	0,021	0,48	0,18	0,56	0,29	0,65	1317,4	1257,8	1634,7	Estable	No Desliza
0,8	33,5	56,5	2,3	15,9	74,1	83,8	8,2	33,9	0,3	0,022	0,47	0,20	0,56	0,31	0,67	1366,0	1327,4	1714,0	Estable	No Desliza
0,85	36,0	54,0	2,4	16,9	73,1	84,4	8,2	36,4	0,3	0,024	0,45	0,24	0,56	0,32	0,69	1421,9	1410,0	1806,2	Estable	No Desliza
0,9	38,4	51,6	2,6	17,9	72,1	84,8	8,2	38,9	0,3	0,025	0,4	0,28	0,56	0,34	0,71	1487,7	1509,2	1915,2	Inestable	No Desliza

Tubo de 46”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	15,5	74,5	1,6	7,5	82,5	69,8	11,7	15,8	0,2	0,016	0,56	0,04	0,58	0,15	0,61	1118,1	1014,6	1311,2	Estable	No Desliza
0,45	17,5	72,5	1,7	8,5	81,5	72,1	11,7	17,9	0,2	0,018	0,56	0,06	0,58	0,17	0,61	1147,7	1040,0	1348,1	Estable	No Desliza
0,5	19,5	70,5	1,9	9,4	80,6	74,0	11,7	19,9	0,2	0,020	0,55	0,07	0,58	0,19	0,62	1178,3	1068,8	1387,7	Estable	No Desliza
0,55	21,5	68,5	2,1	10,4	79,6	75,5	11,7	22,0	0,2	0,022	0,54	0,08	0,58	0,21	0,63	1210,0	1101,5	1430,6	Estable	No Desliza
0,6	23,6	66,4	2,3	11,3	78,7	76,9	11,7	24,1	0,2	0,024	0,54	0,10	0,58	0,23	0,64	1243,4	1138,8	1477,4	Estable	No Desliza
0,65	25,7	64,3	2,5	12,3	77,7	78,1	11,7	26,3	0,3	0,026	0,53	0,12	0,58	0,25	0,65	1278,9	1181,5	1528,9	Estable	No Desliza
0,7	27,8	62,2	2,7	13,2	76,8	79,1	11,7	28,5	0,3	0,028	0,52	0,14	0,58	0,27	0,66	1317,1	1230,6	1586,2	Estable	No Desliza
0,75	30,0	60,0	2,9	14,2	75,8	80,0	11,7	30,7	0,3	0,030	0,51	0,17	0,58	0,29	0,67	1359,0	1287,3	1650,7	Estable	No Desliza
0,8	32,3	57,7	3,1	15,2	74,8	80,8	11,7	33,0	0,3	0,032	0,49	0,20	0,58	0,31	0,69	1405,6	1353,5	1724,0	Estable	Desliza

Tubo de 50”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	14,5	75,5	1,3	7,1	82,9	70,0	10,8	14,7	0,2	0,015	0,61	0,04	0,63	0,16	0,66	1198,6	1090,2	1408,1	Estable	No Desliza
0,45	16,3	73,7	1,5	7,9	82,1	72,3	10,8	16,6	0,2	0,017	0,61	0,05	0,63	0,18	0,66	1228,3	1114,4	1444,6	Estable	No Desliza
0,5	18,2	71,8	1,7	8,8	81,2	74,1	10,8	18,5	0,2	0,019	0,60	0,07	0,63	0,19	0,67	1258,7	1141,5	1483,5	Estable	No Desliza
0,55	20,1	69,9	1,8	9,7	80,3	75,6	10,8	20,5	0,2	0,020	0,60	0,08	0,63	0,21	0,68	1290,1	1171,9	1525,1	Estable	No Desliza
0,6	22,0	68,0	2,0	10,6	79,4	77,0	10,8	22,4	0,2	0,022	0,59	0,10	0,63	0,23	0,68	1322,8	1206,3	1570,1	Estable	No Desliza
0,65	24,0	66,0	2,2	11,5	78,5	78,1	10,8	24,4	0,3	0,024	0,58	0,11	0,63	0,25	0,69	1357,0	1245,1	1618,9	Estable	No Desliza
0,7	25,9	64,1	2,3	12,4	77,6	79,1	10,8	26,4	0,3	0,026	0,57	0,14	0,63	0,27	0,71	1393,4	1289,1	1672,3	Estable	No Desliza
0,75	27,9	62,1	2,5	13,3	76,7	80,0	10,8	28,5	0,3	0,028	0,56	0,16	0,63	0,29	0,72	1432,5	1339,3	1731,4	Estable	No Desliza
0,8	30,0	60,0	2,7	14,2	75,8	80,8	10,8	30,6	0,3	0,030	0,55	0,18	0,63	0,31	0,73	1475,1	1396,9	1797,3	Estable	No Desliza
0,85	32,1	57,9	2,9	15,1	74,9	81,5	10,8	32,7	0,3	0,032	0,54	0,21	0,63	0,33	0,75	1522,1	1463,3	1871,6	Estable	No Desliza
0,9	34,2	55,8	3,0	16,1	73,9	82,2	10,8	34,9	0,4	0,033	0,53	0,24	0,63	0,35	0,77	1574,9	1540,4	1956,3	Estable	Desliza

Tubo de 54”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	13,6	76,4	1,2	6,6	83,4	70,2	10,0	13,8	0,2	0,014	0,67	0,04	0,69	0,16	0,71	1278,8	1166,2	1505,1	Estable	No Desliza
0,45	15,3	74,7	1,3	7,5	82,5	72,4	10,0	15,6	0,2	0,016	0,66	0,05	0,69	0,18	0,71	1308,7	1189,3	1541,3	Estable	No Desliza
0,5	17,1	72,9	1,5	8,3	81,7	74,2	10,0	17,4	0,2	0,018	0,66	0,06	0,69	0,20	0,72	1339,1	1215,0	1579,7	Estable	No Desliza
0,55	18,9	71,1	1,6	9,2	80,8	75,7	10,0	19,2	0,2	0,019	0,65	0,08	0,69	0,22	0,72	1370,2	1243,7	1620,5	Estable	No Desliza
0,6	20,6	69,4	1,8	10,0	80,0	77,0	10,0	21,0	0,2	0,021	0,64	0,09	0,69	0,24	0,73	1402,4	1275,7	1664,1	Estable	No Desliza
0,65	22,5	67,5	1,9	10,8	79,2	78,1	10,0	22,8	0,3	0,023	0,63	0,11	0,69	0,26	0,74	1435,9	1311,5	1711,0	Estable	No Desliza
0,7	24,3	65,7	2,0	11,7	78,3	79,1	10,0	24,7	0,3	0,025	0,63	0,13	0,69	0,28	0,75	1471,0	1351,7	1761,7	Estable	No Desliza
0,75	26,1	63,9	2,2	12,5	77,5	80,0	10,0	26,6	0,3	0,026	0,62	0,15	0,69	0,30	0,76	1508,2	1397,1	1817,0	Estable	No Desliza
0,8	28,0	62,0	2,3	13,4	76,6	80,7	10,0	28,5	0,3	0,028	0,61	0,17	0,69	0,32	0,78	1548,1	1448,3	1877,7	Estable	No Desliza
0,85	30,0	60,0	2,5	14,3	75,7	81,4	10,0	30,5	0,3	0,030	0,59	0,20	0,69	0,34	0,79	1591,2	1506,6	1945,0	Estable	No Desliza
0,9	31,9	58,1	2,6	15,1	74,9	82,1	10,0	32,5	0,4	0,032	0,58	0,23	0,69	0,36	0,81	1638,6	1573,1	2020,2	Estable	No Desliza
0,95	33,9	56,1	2,8	16,0	74,0	82,6	10,0	34,5	0,4	0,033	0,57	0,26	0,68	0,38	0,83	1691,4	1649,7	2105,1	Estable	No Desliza
1	36,0	54,0	2,9	16,8	73,2	83,2	10,0	36,6	0,4	0,035	0,55	0,29	0,68	0,40	0,85	1751,1	1738,6	2202,1	Estable	No Desliza
1,05	38,1	51,9	3,1	17,7	72,3	83,7	10,0	38,8	0,4	0,037	0,54	0,33	0,68	0,42	0,87	1819,7	1842,6	2314,2	Inestable	Desliza

Tubo de 56”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	13,2	76,8	1,1	6,5	83,5	70,3	9,7	13,4	0,2	0,014	0,69	0,04	0,71	0,16	0,73	1318,9	1204,3	1553,6	Estable	No Desliza
0,45	14,9	75,1	1,2	7,3	82,7	72,5	9,7	15,1	0,2	0,015	0,69	0,05	0,71	0,18	0,74	1348,8	1226,9	1589,8	Estable	No Desliza
0,5	16,6	73,4	1,4	8,1	81,9	74,3	9,7	16,8	0,2	0,017	0,68	0,06	0,71	0,20	0,74	1379,2	1252,0	1628,0	Estable	No Desliza
0,55	18,3	71,7	1,5	8,9	81,1	75,8	9,7	18,6	0,2	0,019	0,68	0,07	0,71	0,22	0,75	1410,3	1279,9	1668,5	Estable	No Desliza
0,6	20,0	70,0	1,6	9,7	80,3	77,0	9,7	20,3	0,2	0,020	0,67	0,09	0,71	0,24	0,76	1442,3	1310,9	1711,5	Estable	No Desliza
0,65	21,8	68,2	1,8	10,5	79,5	78,1	9,7	22,1	0,3	0,022	0,66	0,11	0,71	0,26	0,77	1475,5	1345,5	1757,6	Estable	No Desliza
0,7	23,5	66,5	1,9	11,4	78,6	79,1	9,7	23,9	0,3	0,024	0,65	0,12	0,71	0,28	0,78	1510,1	1384,2	1807,3	Estable	No Desliza
0,75	25,3	64,7	2,1	12,2	77,8	80,0	9,7	25,7	0,3	0,026	0,64	0,14	0,71	0,30	0,79	1546,6	1427,5	1861,1	Estable	No Desliza
0,8	27,2	62,8	2,2	13,0	77,0	80,7	9,7	27,6	0,3	0,027	0,63	0,17	0,71	0,32	0,80	1585,4	1476,2	1919,8	Estable	No Desliza
0,85	29,0	61,0	2,3	13,8	76,2	81,4	9,7	29,5	0,3	0,029	0,62	0,19	0,71	0,34	0,81	1627,2	1531,2	1984,4	Estable	No Desliza
0,9	30,9	59,1	2,5	14,7	75,3	82,0	9,7	31,4	0,4	0,031	0,61	0,22	0,71	0,36	0,83	1672,5	1593,7	2056,0	Estable	No Desliza
0,95	32,8	57,2	2,6	15,5	74,5	82,6	9,7	33,4	0,4	0,032	0,60	0,25	0,71	0,38	0,85	1722,5	1664,9	2136,1	Estable	No Desliza
1	34,8	55,2	2,7	16,4	73,6	83,1	9,7	35,4	0,4	0,034	0,58	0,28	0,71	0,40	0,87	1778,4	1746,9	2226,7	Estable	No Desliza
1,05	36,8	53,2	2,9	17,2	72,8	83,6	9,7	37,4	0,4	0,036	0,57	0,32	0,71	0,42	0,89	1841,7	1841,9	2330,1	Inestable	No Desliza

Tubo de 58”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	12,8	77,2	1,0	6,3	83,7	70,4	9,3	13,0	0,2	0,013	0,72	0,04	0,74	0,16	0,76	1358,9	1242,4	1602,1	Estable	No Desliza
0,45	14,4	75,6	1,2	7,1	82,9	72,5	9,3	14,6	0,2	0,015	0,71	0,05	0,74	0,18	0,76	1388,8	1264,6	1638,3	Estable	No Desliza
0,5	16,1	73,9	1,3	7,9	82,1	74,3	9,3	16,3	0,2	0,017	0,71	0,06	0,74	0,20	0,77	1419,3	1289,2	1676,3	Estable	No Desliza
0,55	17,8	72,2	1,4	8,7	81,3	75,8	9,3	18,0	0,2	0,018	0,70	0,07	0,74	0,22	0,77	1450,3	1316,4	1716,5	Estable	No Desliza
0,6	19,4	70,6	1,5	9,5	80,5	77,1	9,3	19,7	0,2	0,020	0,69	0,09	0,74	0,24	0,78	1482,2	1346,5	1759,2	Estable	No Desliza
0,65	21,1	68,9	1,7	10,2	79,8	78,2	9,3	21,4	0,3	0,022	0,69	0,10	0,74	0,26	0,79	1515,2	1380,0	1804,6	Estable	No Desliza
0,7	22,8	67,2	1,8	11,0	79,0	79,1	9,3	23,2	0,3	0,023	0,68	0,12	0,74	0,28	0,80	1549,4	1417,2	1853,3	Estable	No Desliza
0,75	24,6	65,4	1,9	11,8	78,2	80,0	9,3	24,9	0,3	0,025	0,67	0,14	0,74	0,30	0,81	1585,3	1458,7	1905,9	Estable	No Desliza
0,8	26,3	63,7	2,1	12,7	77,3	80,7	9,3	26,7	0,3	0,026	0,66	0,16	0,74	0,32	0,82	1623,3	1505,2	1962,9	Estable	No Desliza
0,85	28,1	61,9	2,2	13,5	76,5	81,4	9,3	28,5	0,3	0,028	0,65	0,19	0,74	0,34	0,84	1663,8	1557,4	2025,1	Estable	No Desliza
0,9	29,9	60,1	2,3	14,3	75,7	82,0	9,3	30,4	0,4	0,030	0,64	0,21	0,74	0,36	0,85	1707,5	1616,3	2093,7	Estable	No Desliza
0,95	31,8	58,2	2,4	15,1	74,9	82,6	9,3	32,3	0,4	0,031	0,63	0,24	0,74	0,38	0,87	1755,2	1683,1	2169,8	Estable	No Desliza
1	33,7	56,3	2,6	15,9	74,1	83,1	9,3	34,2	0,4	0,033	0,61	0,27	0,74	0,40	0,89	1807,9	1759,2	2255,1	Estable	No Desliza
1,05	35,6	54,4	2,7	16,7	73,3	83,5	9,3	36,2	0,4	0,035	0,60	0,31	0,74	0,42	0,91	1867,0	1846,7	2351,5	Estable	No Desliza
1,1	37,6	52,4	2,8	17,5	72,5	84,0	9,3	38,2	0,4	0,036	0,58	0,35	0,74	0,44	0,93	1934,2	1948,0	2461,6	Inestable	No Desliza

Tubo de 60”

Dist. Rueda	α	β	γ	ω	σ	ϕ	λ	η	dr	d1	d2	d3	d4	d5	d6	R_1	R_2	U	CONDICIÓN	CONDICIÓN 2
0,4	12,5	77,5	1,0	6,1	83,9	70,5	9,0	12,6	0,2	0,013	0,74	0,04	0,76	0,16	0,78	1398,9	1280,6	1633,5	Estable	No Desliza
0,45	14,0	76,0	1,1	6,9	83,1	72,6	9,0	14,2	0,2	0,014	0,74	0,05	0,76	0,18	0,79	1428,9	1302,5	1667,6	Estable	No Desliza
0,5	15,6	74,4	1,2	7,7	82,3	74,4	9,0	15,8	0,2	0,016	0,73	0,06	0,76	0,20	0,79	1459,3	1326,5	1703,4	Estable	No Desliza
0,55	17,3	72,7	1,3	8,4	81,6	75,8	9,0	17,5	0,2	0,018	0,73	0,07	0,76	0,22	0,80	1490,4	1353,0	1741,2	Estable	No Desliza
0,6	18,9	71,1	1,5	9,2	80,8	77,1	9,0	19,1	0,2	0,019	0,72	0,08	0,76	0,24	0,81	1522,1	1382,4	1781,2	Estable	No Desliza
0,65	20,5	69,5	1,6	10,0	80,0	78,2	9,0	20,8	0,3	0,021	0,71	0,10	0,76	0,26	0,81	1554,9	1414,8	1823,8	Estable	No Desliza
0,7	22,2	67,8	1,7	10,7	79,3	79,1	9,0	22,5	0,3	0,023	0,71	0,12	0,76	0,28	0,82	1588,8	1450,8	1869,3	Estable	No Desliza
0,75	23,9	66,1	1,8	11,5	78,5	80,0	9,0	24,2	0,3	0,024	0,70	0,14	0,76	0,30	0,83	1624,2	1490,7	1918,3	Estable	No Desliza
0,8	25,6	64,4	1,9	12,3	77,7	80,7	9,0	25,9	0,3	0,026	0,69	0,16	0,76	0,32	0,84	1661,4	1535,2	1971,2	Estable	No Desliza
0,85	27,3	62,7	2,1	13,1	76,9	81,4	9,0	27,7	0,3	0,027	0,68	0,18	0,76	0,35	0,86	1700,9	1584,9	2028,8	Estable	No Desliza
0,9	29,0	61,0	2,2	13,9	76,1	82,0	9,0	29,4	0,4	0,029	0,67	0,21	0,76	0,37	0,87	1743,2	1640,7	2092,0	Estable	No Desliza
0,95	30,8	59,2	2,3	14,7	75,3	82,5	9,0	31,2	0,4	0,031	0,65	0,23	0,76	0,39	0,89	1789,0	1703,6	2161,7	Estable	No Desliza
1	32,6	57,4	2,4	15,5	74,5	83,0	9,0	33,1	0,4	0,032	0,64	0,26	0,76	0,41	0,90	1839,2	1774,8	2239,3	Estable	No Desliza
1,05	34,5	55,5	2,5	16,3	73,7	83,5	9,0	35,0	0,4	0,034	0,63	0,30	0,76	0,43	0,92	1894,8	1856,0	2326,4	Estable	No Desliza
1,1	36,4	53,6	2,7	17,1	72,9	83,9	9,0	36,9	0,5	0,035	0,61	0,33	0,76	0,45	0,95	1957,2	1949,1	2425,2	Estable	No Desliza
1,15	38,3	51,7	2,8	17,9	72,1	84,3	9,0	38,9	0,5	0,037	0,60	0,37	0,76	0,47	0,97	2028,4	2056,8	2538,4	Inestable	No Desliza

APÉNDICES B

APÉNDICE B.4
Factores de servicio para impulsadores de cadena
(MOTT, Robert. 1992)

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión integral con impulsor mecánico
Ligera (agitadores, ventiladores, transportadores que se someten a la acción uniforme de cargas ligeras)	1,0	1,0	1,2
Choque moderado (herramientas mecánicas, grúas, transportadores pesados, mezcladoras y moledoras de alimentos)	1,2	1,3	1,4
Choque pesado (prensas de punzón, molinos de martillo, transportadores recíprocos, impulsor de molino giratorio)	1,4	1,5	1,7

APENDICE B.6
Valores típico del coeficiente de transferencia de calor por convección
(Incropera, F.1996)

Proceso	h **(W/m² · K)**
Convección libre	
Gases	2-25
Líquidos	50-1000
Convección forzada	
Gases	25-250
Líquidos	50-20,000
Convección con cambio de fase	
Ebullición o condensación	2500-100,000

APENDICE B.7
Propiedades termofísicas de sólidos metálicos (Incropera, F. 1996)

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)									
						k (W/m · K)/c_p (J/kg · K)									
		ρ (kg/m³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m²/s)	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134 216	94.0 384	69.5 490	54.7 574	43.3 680	32.8 975	28.3 609	32.1 654		
Aceros al carbón															
Carbón ordinario (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7854	434	60.5	17.7			56.7 487	48.0 559	39.2 685	30.0 1169				
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			58.7 487	48.8 559	39.2 685	31.3 1168				
Carbón-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			49.8 501	44.0 582	37.4 699	29.3 971				
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			42.2 487	39.7 559	35.0 685	27.6 1090				
Aceros con cromo (bajo)															
½Cr−½Mo−Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			38.2 492	36.7 575	33.3 688	26.9 969				
1 Cr−½ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2			42.0 492	39.1 575	34.5 688	27.4 969				
1 Cr−V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1			46.8 492	42.1 575	36.3 688	28.2 969				
Aceros inoxidables															
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3 512	20.0 559	22.8 585	25.4 606				
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2 272	12.6 402	16.6 515	19.8 557	22.6 582	25.4 611	28.0 640	31.7 682		
AISI 316		8238	468	13.4	3.48			15.2 504	18.3 550	21.3 576	24.2 602				
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.8 513	18.9 559	21.9 585	24.7 606				

APÉNDICE B.8
Quemador

Model HSG

200/400 GAS BURNER

WAYNE Combustion Systems
A Scott Fetzer Company

Patent No. 4,388,064

HSG features:

The Wayne Model HSG power gas burners are designed for performance and reliability, and offer features such as:

- Higher static air pressure than standard power gas burners
- Good combustion in poor draft situations
- Capability to fire LP or Natural Gas
- Flame retention head to allow flame shapes to fit various combustion chambers
- Positive premixing of gas and air to provide excellent combustion characteristics (9 to 11% CO_2 on Natural Gas)

Designed For Easy Serviceability:

- No need to remove the burner for normal service – "Gas Gun" assembly is easily removed for complete service or replacement of components
- Easy, external orifice change
- Automatic, perfect alignment of combustion components
- Primary air adjustment with indicator

Designed For Installation Flexibility:

- Just change the orifice and adjust to fire LP or Natural Gas through the full burner range from 60M to 200M Btu and 200M to 400M Btu
- Complete range of marked orifice sizes supplied with each HSG burner
- Primary air inlet designed for optional outside air intake
- Industry proven components for excellent performance and reliability
- Automatic off-cycle air damper to minimize efficiency loss and provide maximum installation flexibility

BA PLUS BLUE ANGEL

C SA US

WAYNE COMBUSTION SYSTEMS • 801 Glasgow Ave. • Fort Wayne, IN 46803 • 260.425.9200 • Fax 260.424.0904 • www.waynecombustion.com

WAYNE COMBUSTION SYSTEMS • 801 Glasgow Ave. • Fort Wayne, IN 46803 • 260.425.9200 • Fax 260.424.0904 • www.waynecombustion.com

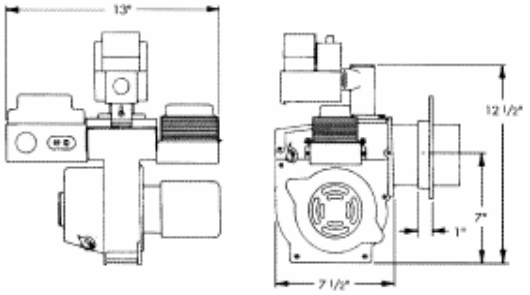
Specifications

200/400 GAS BURNER

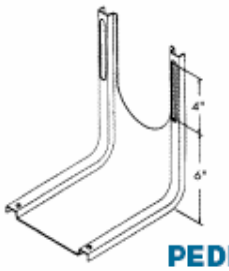
HSG 200 - 60M Btu to 200M Btu
HSG 400 - 200M Btu to 400M Btu

THE BLUE ANGEL™ POWER GAS BURNER - MODEL HSG	
Capacities	Firing rates from 60M through 400M Btu.
Fuel	Natural or LP Gas 2" to 4" water column - adjustable.
Controls	24-volt combination control 3/4" IPS, with redundant valve. Flamerod sensor 4 second safety shutdown.
Ignition	Direct spark ignition 7300-volt ignition transformer. Remove top cover for easy access to ignition components.
Motor	3450 RPM – 115V – 2.4A.
Fan Housing	Aluminum alloy, die cast housing. Maintains alignment of all moving parts throughout the lifetime of the burner.
Mounting	Adjustable flange (pedestal mount available.)
Air Tube	4" OD available in standard lengths of 6", 9" and 12".
Combustion Head	Stainless steel, precision stamping. No change for entire firing range.

DIMENSIONS



MOUNTINGS



PEDESTAL ASSEMBLY

Complete Burner:

All BLUE ANGEL Model HSG flame retention gas burners are supplied completely assembled and testfired. Additional orifices supplied. Combination redundant gas valve and ignition control package installed. The models at right include an adjustable flange with gasket as standard and are available for immediate shipment.

Shipping Information:

- Individually cartoned
- Weight: 26 lbs.
- 27 burners per pallet

ORDERING INFORMATION

Part No.	Model No.	Tube Length	Capacity - M Btu
62376C	HSG 200	6"	60-200
62377C	HSG 400	6"	200-400
62378C	HSG 200	9"	60-200
62379C	HSG 400	9"	200-400
62380C	HSG 200	12"	60-200
62381C	HSG 400	12"	200-400

C US

BLUE ANGEL

APÉNDICE B.9
Temperatura de salida de los equipos
(NILDS, R y Rosales R. 1996)

Tipo de equipo	Temperatura de salida ºC
Equipo de calefacción a gas natural con campana extractora	182
Equipo de calefacción a LPG con campana extractora	182
Equipo de calefacción a gas sin campana extractora	238
Equipo de calefacción a full-oil, residencial	293
Equipo de calefacción, tiro forzado superior a 400.000 Btu/h	182
Incinerador convencional	760
Incinerador con aire controlado	982-1.316
Incinerador de residuos sanitarios	982-1.538
(Escape de) turbina de gas	482-760
(Escape de) motor disel	482-760
Horno de cerámica	982-1.316

APÉNDICE B.10
Presión barométrica y altitud
(NILDS, R y Rosales R. 1996)

Altitud sobre el nivel del mar (m)	**Presión**	
	Hg	**Pa**
	29,92	101,293
610	27,8	94,116
1.219	25,8	87,345
1.829	24,0	81,251
2.438	22,3	75,496
3.048	20,6	69,740

APÉNDICE B. 11
Diámetros equivalentes de ducto para chimeneas

Dimensiones nominales del ducto (in)	Dimensiones interiores del ducto (in)	Dimensión interior o diámetro equivalente (in)	Área equivalente (in^2)	Típicas dimensiones exteriores de la camisa (in)
4x8	2 ½ x6 ½	4	12,2	
		5	19,6	
		6	28,3	
		7	38,5	
8x8	6 ¼ x6 ¼	7,4	42,7	16x16
		8	50,3	
8x12	6 ½ x10 ½	9	63,6	16x21
		10	78,5	
12x12	9 ¼ x9 ¼	10,4	83,3	21x21
		11	95,0	
12x16	9 ½ x13 ½	11,8	107,5	21x25
		12	113,0	
		14	153,9	
16x16	13 ¼ x13 ¼	14,5	162,9	25x25
		15	176,7	
16x20	13x7	16,2	206,1	15x29
		18	254,4	
20x20	16 ¾ x16 ¾	18,2	260,2	29x29
		20	314,1	
20x24	16 ½ x20 ½	20,1	314,2	29x34
		22	380,1	
24x24	20 ¼ x 20 ¼	22,1	380,1	34x34
		24	452,3	
24x28	20 ¼ x 20 ¼	24,1	456,2	34x38
28x28	24 ¼ x24 ¼	26,4	543,3	38x38
		27	572,5	
30x30	25 ½ x25 ½	27,9	607,0	48x48
		30	706,8	
30x36	25 ½ x31 ½	30,9	649,9	48x54
		33	855,3	
36x36	31 ½ x 31 ½	34,4	929,4	54x54
		36	1.017,9	

APÉNDICE 12
Densidad en función de la temperatura
(NILDS, R y Rosales R. 1996)

Temperatura ºC	Densidad kg/m^3	Temperatura ºC	Densidad kg/m^3
15,6	1,22	149	0,84
21,1	1,20	177	0,79
26,7	1,18	204	0,74
32,2	1,16	232	0,70
37,8	1,14	260	0,66
43,0	1,12	288	0,63
44,0	1,10	316	0,60
54,0	1,08	343	0,57
60,0	1,06	371	0,55
66,0	1,04	427	0,51
79,5	1,00	482	0,47
93,0	0,96	538	0,44
107,0	0,93	816	0,32
121,0	0,90	1.093	0,26
135,0	0,87		

APÉNDICE 14
Valores recomendado para la velocidad de captura
(AMEZQUITA, Uxmal. 1993)

Condiciones de dispersión del contaminante	Ejemplos	Velocidad de captura (PPM)	
		Inferior	**Superior**
Liberación con velocidad prácticamente nula en el aire quieto	Evaporación de tanques, desengrase, etc.	50	100
Liberación a baja velocidad en aire en movimiento moderado	Soldadura, decapado, baños electrolíticos, etc.	100	200
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire	Aplicación de pintura a pistola, llenado de recipientes, etc.	200	500
Liberación con alta velocidad inicial en una zona de movimiento de aire muy rápido	Pulido, esmerilado, chorro abrasivo, operaciones de abrasión en general	500	2000

TABLA 5-6 Diámetros equivalentes de conductos rectangulares

Lados conducto rectang.	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
100	63	67	72	76	80	84	88	91	94	98	101	104	107	109													
105	64	69	74	78	82	86	90	93	97	100	103	106	109	112	115												
110	65	70	75	80	84	88	92	95	99	102	105	109	112	115	117	120											
115	67	72	77	81	86	90	94	97	101	104	108	111	114	117	120	123	126										
120	68	73	78	83	87	91	95	99	103	107	110	113	117	120	123	126	128	131									
125	69	74	79	84	89	93	97	101	105	109	112	116	119	122	125	128	131	134	137								
130	70	76	81	86	90	95	99	103	107	111	114	118	121	124	128	131	134	137	139	142							
135	71	77	82	87	92	96	101	105	109	113	116	120	123	127	130	133	136	139	142	145	148						
140	72	78	84	89	93	98	102	107	111	115	118	122	125	129	132	135	139	142	145	147	150	153					
145	73	79	85	90	95	100	104	108	112	116	120	124	128	131	134	138	141	144	147	150	153	156	159				
150	75	80	86	91	96	101	106	110	114	118	122	126	130	133	137	140	143	146	150	153	156	158	161	164			
155	76	82	87	93	98	103	107	112	116	120	124	128	132	135	139	142	146	149	152	155	158	161	164	167	169		
160	77	83	88	94	99	104	109	113	118	122	126	130	134	137	141	144	148	151	154	157	161	164	166	169	172	175	
165	78	84	90	95	100	105	110	115	119	124	128	132	136	139	143	147	150	153	157	160	163	166	169	172	175	178	180
170	79	85	91	96	102	107	112	116	121	125	129	134	137	141	145	149	152	156	159	162	165	168	171	174	177	180	183
175	79	86	92	98	103	108	113	118	123	127	131	135	139	143	147	151	154	158	161	164	168	171	174	177	180	183	186
180	80	87	93	99	104	110	115	119	124	129	133	137	141	145	149	153	156	160	163	167	170	173	176	179	182	185	188
185	81	88	94	100	106	111	116	121	126	130	135	139	143	147	151	155	158	162	165	169	172	176	179	182	185	188	191
190	82	89	95	101	107	112	117	122	127	132	136	141	145	149	153	157	160	164	168	171	174	178	181	184	187	190	193
195	83	90	96	102	108	113	119	124	129	133	138	142	146	151	155	158	162	166	170	173	177	180	183	187	190	193	196
200	84	91	97	103	109	115	120	125	130	135	139	144	148	152	156	160	164	168	172	175	179	182	186	189	192	195	198
205	85	92	98	104	110	116	121	127	131	136	141	145	150	154	158	162	166	170	174	177	181	184	188	191	194	198	201
210	86	93	99	106	111	117	123	128	133	138	142	147	151	156	160	164	168	172	176	179	183	186	190	193	197	200	203
215	87	94	100	107	113	118	124	129	134	139	144	149	153	157	162	166	170	174	178	181	185	189	192	196	199	202	205
220	87	95	101	108	114	120	125	130	136	141	145	150	155	159	163	168	172	176	180	183	187	191	194	198	201	204	208
225	88	95	102	109	115	121	126	132	137	142	147	152	156	161	165	169	173	177	181	185	189	193	196	200	203	207	210
230	89	96	103	110	116	122	128	133	138	143	148	153	158	162	167	171	175	179	183	187	191	195	198	202	205	209	212
235	90	97	104	111	117	123	129	134	140	145	150	155	159	164	168	173	177	181	185	189	193	197	200	204	208	211	214
240	91	98	105	112	118	124	130	135	141	146	151	156	161	165	170	174	179	183	187	191	195	199	202	206	210	213	217
245	91	99	106	113	119	125	131	137	142	147	153	158	162	167	172	176	180	185	189	193	197	201	204	208	212	215	219
250	92	100	107	114	120	126	132	138	143	149	154	159	164	169	173	178	182	186	190	195	198	202	206	210	214	217	221
255	93	100	108	115	121	127	133	139	145	150	155	160	165	170	175	179	184	188	192	196	200	204	208	212	216	219	223

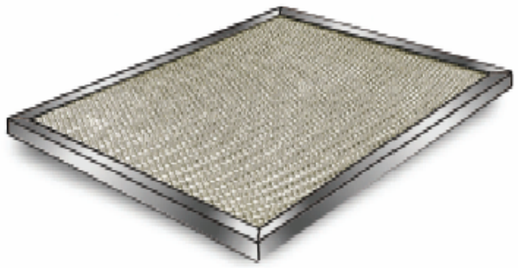
APÉNDICE B.17
Espesores de láminas recomendables para la construcción de ductos
(AMEZQUITA, Uxmal. 1993)

Clase	Diámetro del ducto recto em pulgadas			
	Hasta 8	Desde 8 hasta 18	Desde 18 hasta 30	Mas de 30
	Tipo de calibre			
Clase I	24	22	20	18
Clase II	22	20	18	16
Clase III	20	18	16	14
Clase IV	14 12	14 12	12 9	9 6

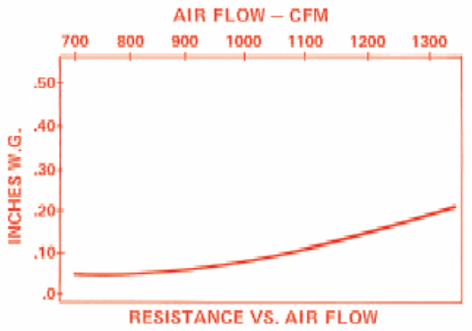
Equivalencias	
Espesor aproximado, lamina en pulgadas	***Calibre***
0,24	*3*
0,20	*6*
0,15	*9*
0,11	*12*
0,078	*14*
0,064	*16*
0,051	*18*
0,040	*20*
0,034	*22*
0,028	*24*

APÉNDICE B.18

FILCARACA®
FILTROS CARACAS C.A.
Desde 1975



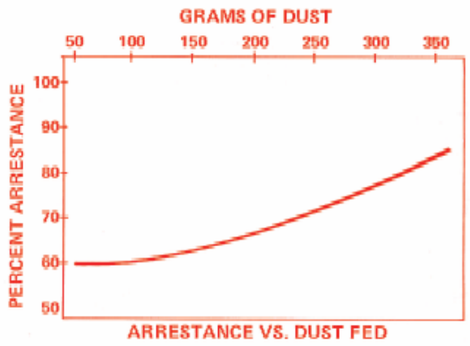
Serie
ALFO®
Filtros Permanentes o Lavables para Aire Acondicionado o Ventilación

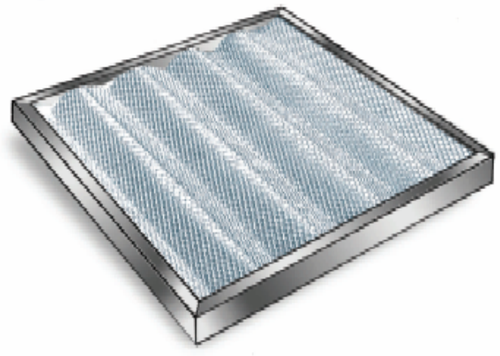


Son filtros permanentes y lavables fácil y rápidamente. Usados donde la mediana eficiencia y velocidad son requeridas. Construidos a base de Polyurethano expandido filtrante importado y químicamente tratado en un proceso de poros abiertos. Este material filtrante es enmarcado en canales de aluminio de distintos espesores y grosores.

El material filtrante (POLYURETHANO) debe ser del grado industrial. Tratado químicamente y teniendo una estructura de poros abiertos controlada a base de 20-30 poros por pulgadas lineal ±5 % . Este FOAM filtrante no debe tener menos de 1/2" de espesor para filtros de 1" y 2" . El material debe estar encajado entre dos piezas de hierro galvanizado expandido o aluminio ondulado en los filtros de 2". Este tipo de filtro permanente es fácilmente lavable con solamente agua fría o caliente y a presión normal, soportando una temperatura máxima de 250 grados centigrados.

USOS :
Industrial y Comercial. Laboratorios y en Sistemas Centrales de Aire Acondicionado, sustituyendo perfectamente los filtros de aluminio, siendo más eficiente, ya que este tipo de filtro de la serie **ALFO** no necesita ser impregnado en aceite para incrementar su eficiencia.





Centro Industrial VIANA, Carretera Petare-Sta. Lucía, Km. 01, Filas de Mariche. Caracas, Venezuela.
Fábrica: (212) 291-2684/ 2467 y 2207 Fax: (212) 291-2810 - Ventas: (212) 239-1679/ 0734 y 7531 Fax: (212) 239-1508
www.filtroscaracas.com - E-Mail: info@filtroscaracas.com

APENDICE B.19
Pérdida por fricción (Ventilación industrial. 1998)

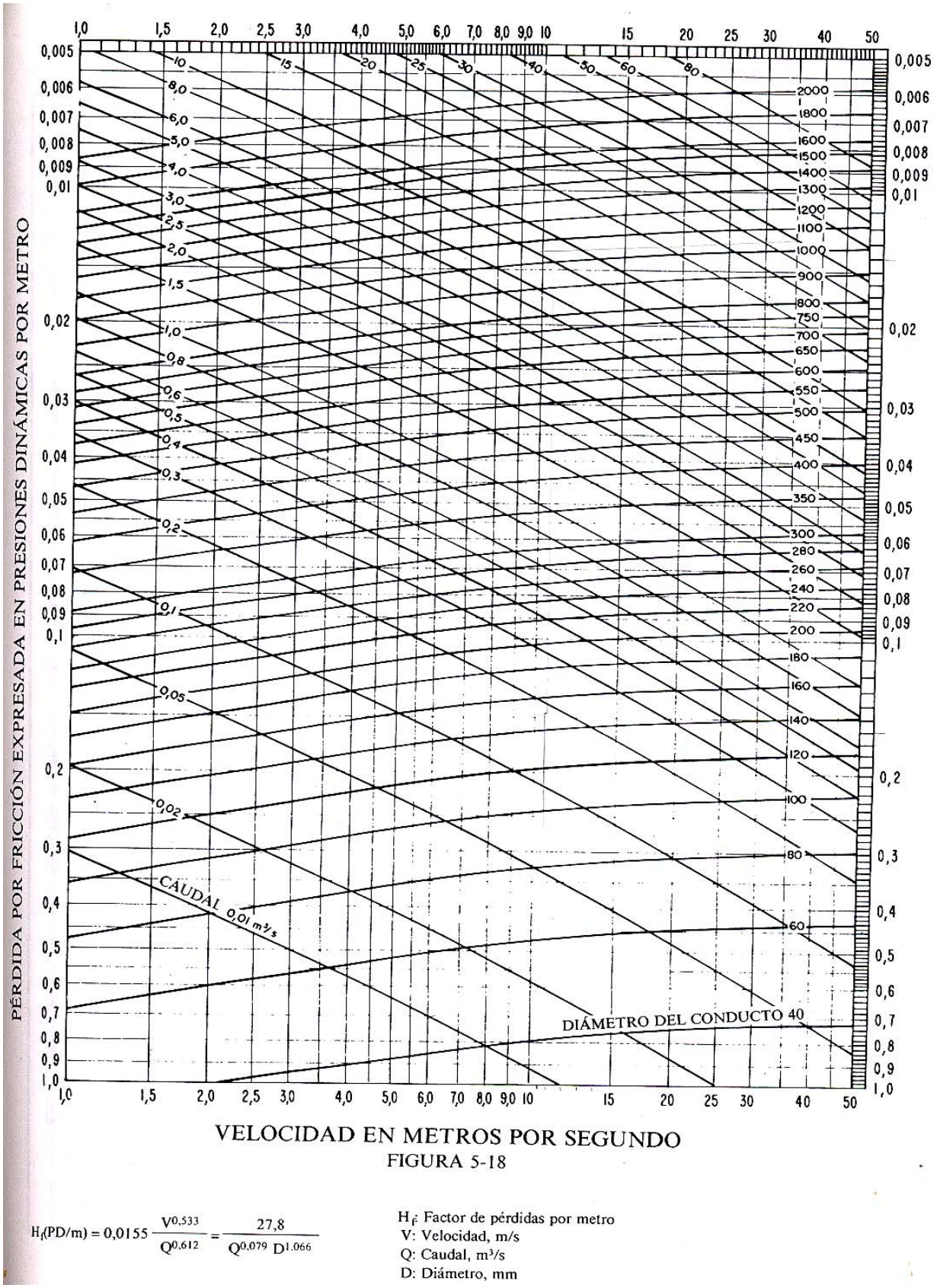


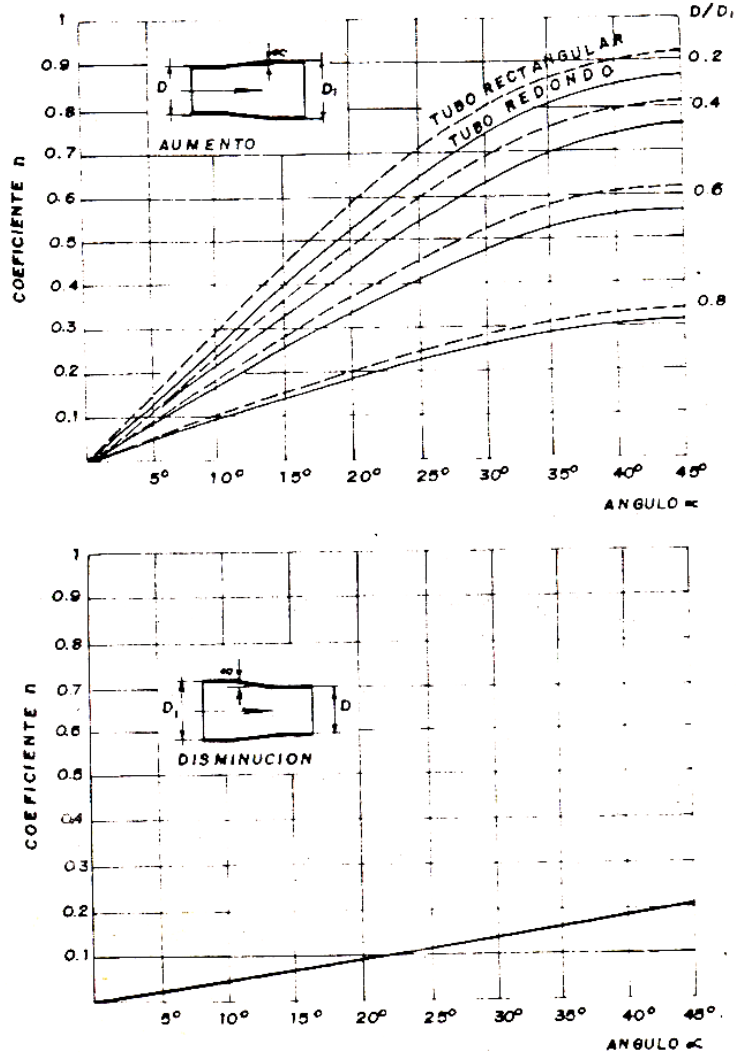
FIGURA 5-18

$$H_f(PD/m) = 0{,}0155\,\frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}} = \frac{27{,}8}{Q^{0.079}\,D^{1.066}}$$

H_f: Factor de pérdidas por metro
V: Velocidad, m/s
Q: Caudal, m³/s
D: Diámetro, mm

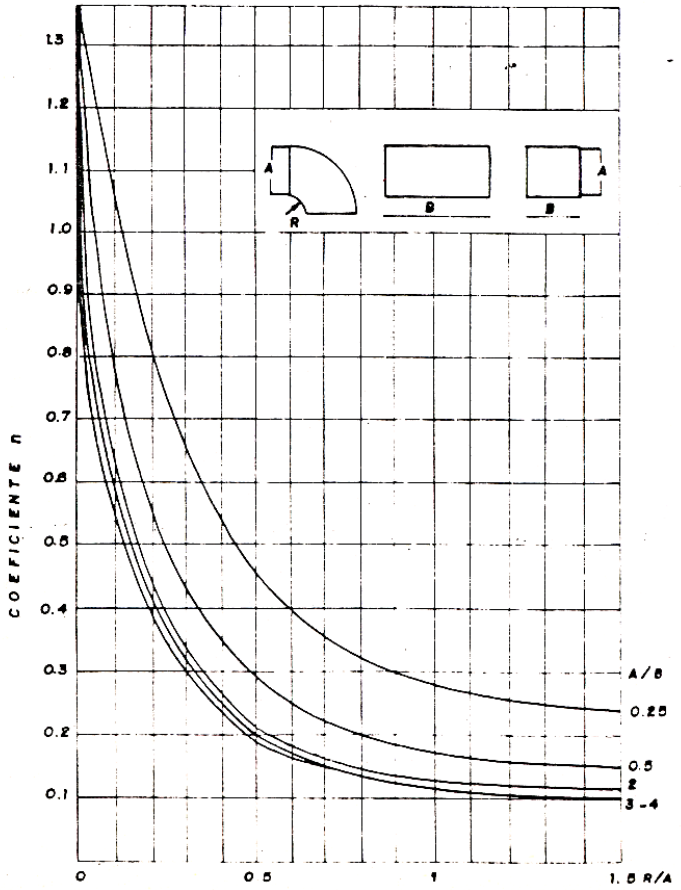
APENDICE B.20
Coeficientes de pérdida de carga (AMEZQUITA, Uxmal. 1993)

COEFICIENTES n DE PERDIDA DE CARGA REFERIDOS A LA VELOCIDAD DEL AIRE EN D



PERDIDA DE CARGA PRODUCIDA EN CODOS EN ANGULO RECTO DE SECCION RECTANGULAR

COEFICIENTES n DE PERDIDAS DE CARGA REFERIDOS A LA VELOCIDAD DEL AIRE D



APENDICE B.21
Conversión presión dinámica a velocidad (Ventilación industrial. 1998)

$V = 4{,}043 \sqrt{PD}$ DENSIDAD DEL AIRE = 1,2 Kg/m³

PD = PRESIÓN DINÁMICA EN mmcda V = VELOCIDAD EN m/s

PD	V	PD	V	PD	V	PD	V	PD	V	PD	V
0,1	1,28	5,1	9,13	11,0	13,41	61,0	31,58	111,0	42,59	161,0	51,30
0,2	1,81	5,2	9,22	12,0	14,00	62,0	31,83	112,0	42,79	162,0	51,46
0,3	2,21	5,3	9,31	13,0	14,58	63,0	32,09	113,0	42,98	163,0	51,62
0,4	2,56	5,4	9,39	14,0	15,13	64,0	32,34	114,0	43,17	164,0	51,77
0,5	2,86	5,5	9,48	15,0	15,66	65,0	32,59	115,0	43,35	165,0	51,93
0,6	3,13	5,6	9,57	16,0	16,17	66,0	32,84	116,0	43,54	166,0	52,09
0,7	3,38	5,7	9,65	17,0	16,67	67,0	33,09	117,0	43,73	167,0	52,24
0,8	3,62	5,8	9,74	18,0	17,15	68,0	33,34	118,0	43,92	168,0	52,40
0,9	3,84	5,9	9,82	19,0	17,62	69,0	33,58	119,0	44,10	169,0	52,56
1,0	4,04	6,0	9,90	20,0	18,08	70,0	33,82	120,0	44,29	170,0	52,71
1,1	4,24	6,1	9,99	21,0	18,53	71,0	34,07	121,0	44,47	171,0	52,87
1,2	4,43	6,2	10,07	22,0	18,96	72,0	34,30	122,0	44,65	172,0	53,02
1,3	4,61	6,3	10,15	23,0	19,39	73,0	34,54	123,0	44,84	173,0	53,18
1,4	4,78	6,4	10,23	24,0	19,81	74,0	34,78	124,0	45,02	174,0	53,33
1,5	4,95	6,5	10,31	25,0	20,21	75,0	35,01	125,0	45,20	175,0	53,48
1,6	5,11	6,6	10,39	26,0	20,61	76,0	35,24	126,0	45,38	176,0	53,63
1,7	5,27	6,7	10,46	27,0	21,01	77,0	35,48	127,0	45,56	177,0	53,79
1,8	5,42	6,8	10,54	28,0	21,39	78,0	35,71	128,0	45,74	178,0	53,94
1,9	5,57	6,9	10,62	29,0	21,77	79,0	35,93	129,0	45,92	179,0	54,09
2,0	5,72	7,0	10,70	30,0	22,14	80,0	36,16	130,0	46,10	180,0	54,24
2,1	5,86	7,1	10,77	31,0	22,51	81,0	36,39	131,0	46,27	181,0	54,39
2,2	6,00	7,2	10,85	32,0	22,87	82,0	36,61	132,0	46,45	182,0	54,54
2,3	6,13	7,3	10,92	33,0	23,22	83,0	36,83	133,0	46,62	183,0	54,69
2,4	6,26	7,4	11,00	34,0	23,57	84,0	37,05	134,0	46,80	184,0	54,84
2,5	6,39	7,5	11,07	35,0	23,92	85,0	37,27	135,0	46,97	185,0	54,99
2,6	6,52	7,6	11,15	36,0	24,26	86,0	37,49	136,0	47,15	186,0	55,14
2,7	6,64	7,7	11,22	37,0	24,59	87,0	37,71	137,0	47,32	187,0	55,28
2,8	6,76	7,8	11,29	38,0	24,92	88,0	37,93	138,0	47,49	188,0	55,43
2,9	6,88	7,9	11,36	39,0	25,25	89,0	38,14	139,0	47,66	189,0	55,58
3,0	7,00	8,0	11,43	40,0	25,57	90,0	38,35	140,0	47,84	190,0	55,73
3,1	7,12	8,1	11,51	41,0	25,89	91,0	38,57	141,0	48,01	200,0	57,17
3,2	7,23	8,2	11,58	42,0	26,20	92,0	38,78	142,0	48,18	210,0	58,59
3,3	7,34	8,3	11,65	43,0	26,51	93,0	38,99	143,0	48,35	220,0	59,96
3,4	7,45	8,4	11,72	44,0	26,82	94,0	39,20	144,0	48,51	230,0	61,31
3,5	7,56	8,5	11,79	45,0	27,12	95,0	39,40	145,0	48,68	240,0	62,63
3,6	7,67	8,6	11,86	46,0	27,42	96,0	39,61	146,0	48,85	250,0	63,92
3,7	7,78	8,7	11,92	47,0	27,72	97,0	39,82	147,0	49,02	260,0	65,19
3,8	7,88	8,8	11,99	48,0	28,01	98,0	40,02	148,0	49,18	270,0	66,43
3,9	7,98	8,9	12,06	49,0	28,30	99,0	40,23	149,0	49,35	280,0	67,65
4,0	8,09	9,0	12,13	50,0	28,59	100,0	40,43	150,0	49,51	290,0	68,85
4,1	8,19	9,1	12,20	51,0	28,87	101,0	40,63	151,0	49,68	300,0	70,02
4,2	8,29	9,2	12,26	52,0	29,15	102,0	40,83	152,0	49,84	310,0	71,18
4,3	8,38	9,3	12,33	53,0	29,43	103,0	41,03	153,0	50,01	320,0	72,32
4,4	8,48	9,4	12,40	54,0	29,71	104,0	41,23	154,0	50,17	330,0	73,44
4,5	8,58	9,5	12,46	55,0	29,98	105,0	41,43	155,0	50,33	340,0	74,55
4,6	8,67	9,6	12,53	56,0	30,25	106,0	41,62	156,0	50,49	350,0	75,63
4,7	8,76	9,7	12,59	57,0	30,52	107,0	41,82	157,0	50,66	360,0	76,71
4,8	8,86	9,8	12,66	58,0	30,79	108,0	42,01	158,0	50,82	370,0	77,77
4,9	8,95	9,9	12,72	59,0	31,05	109,0	42,21	159,0	50,98	380,0	78,81
5,0	9,04	10,0	12,78	60,0	31,32	110,0	42,40	160,0	51,14	390,0	79,84