

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE - QUITO**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: “DISEÑO DE PROCESO PARA EL PRETRATAMIENTO DE  
LÁMINAS METÁLICAS PREVIO A LA APLICACIÓN DE PINTURA  
ELECTROSTÁTICA”**

**AUTOR: MERCHÁN CEDEÑO MIGUEL ANGEL**

**DIRECTOR: Ing. OLGER PÉREZ SILVA**

**QUITO, JUNIO 2012**

Certifico que el presente trabajo ha sido  
realizado en su totalidad por el señor:  
Miguel Angel Merchán Cedeño

---

Ing. Olger Pérez Silva  
DIRECTO DE TESIS

## **DEDICATORIA**

MIGUEL ANGEL MERCHAN CEDEÑO

Este trabajo, va dedicado con amor a toda mi familia, especialmente a mi amada esposa Gladis Aguirre Valverde y a mi hijo Andrés Sebastián Merchán, por demostrarme que con constancia y esfuerzo se puede llegar a la meta, a la vez por ser mi apoyo incondicional en los momentos de alegría y tristeza durante mi carrera, siendo ellos la motivación y pilar fundamental para la realización de este proyecto.

## **AGRADECIMIENTO**

MIGUEL ANGEL MERCHAN CEDEÑO

Agradezco a Dios, por ser el guía y quién me levantaba cuando estaba caído en el duro y difícil camino de mi carrera, por brindarme también la oportunidad de educarme y enseñarme lo que no se aprende en ninguna universidad, que ante todo somos primero seres humanos antes que profesionales.

## INDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
Introducción	1
Planteamiento del problema	1
Justificación	3
Objetivos	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Hipótesis	4
Alcance	5
Variable	5
Variable independiente	5
Variable dependiente	6
Población y muestra	6
Localización	7
Metodología	8
Método científico	8
Método bibliográfico	8
Método analítico	8
Método teórico	9
Método matemático	9
Resumen	10

## CAPITULO I

### FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL PROCESO DE PRETRATAMIENTO

1.1 Historia de los recubrimientos en polvo	13
1.2 Definición y clasificación de los recubrimientos en polvo	15
1.2.1 Recubrimientos termoplásticos	15
1.2.2 Recubrimientos termoestables	15
1.3 Clases de recubrimientos en polvo	16

1.3.1 Epoxi	16
1.3.2 Poliéster / Tgic	16
1.3.3 Epoxi / Poliéster	16
1.3.4 Poliuretano	17
1.3.5 Acrílicos	17
1.4. Composición de los recubrimientos en polvo	18
1.4.1 Resinas	18
1.4.2 Endurecedores	19
1.4.3 Pigmentos	19
1.4.4 Cargas	20
1.4.5 Aditivos	20
1.4.5.1 Benzoina	21
1.4.5.2 Ceras	21
1.4.5.3 Acetobutirato de celulosa	21
1.4.5.4 Nivelantes	21
1.4.5.5 Mateantes	21
1.5 Aplicación de los recubrimientos en polvo	21
1.6 Ventajas y desventajas de los recubrimientos en polvo	22
1.6.1 Ventajas	22
1.6.2 Desventajas	23
1.7 Elemento para el proceso de pintura electrostática	23
1.7.1 Máquina para pintado electrostático	24
1.7.1.1 Depósito de pintura	24
1.7.1.2 Pistola electrostática	25
1.7.1.3 Panel de control	25
1.7.2 Cabina para la aplicación de pintura en polvo	26
1.7.3 Horno de polimerizado	26
1.8. Principio de aplicación de los recubrimientos en polvo	28
1.8.1 Sistema corona	28
1.8.2 Sistema tribo eléctrico	29
1.9 Pretratamiento de láminas metálicas	30
1.10 Procesos de pretratamiento de láminas metálicas	31
1.10.1 Proceso de aspersion	31
1.10.2 Proceso de inmersión	32

1.10.3 Proceso de ultrasonido	33
1.10.4 Proceso de electrólisis	34
1.10.5 Proceso de acción mecánica	34

## **CAPITULO II**

### **PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRETRATAMIENTOS DE LÁMINAS METÁLICAS**

2.1 Materia prima a ser procesada	36
2.2 Características de los productos a ser procesada	37
2.3 Cantidad de productos a ser procesados	41
2.4 Tiempo empleado en la limpieza de productos	42
2.5 Selección del proceso de limpieza	44
2.6 Proceso de limpieza por inmersión	46
2.6.1 Desengrase	48
2.6.1.1 Desengrase alcalino	49
2.6.2 Fosfato	50
2.6.2.1 Fosfato de hierro	51
2.6.3 Enjuague	51
2.7 Elementos requeridos para el proceso de limpieza	52
2.7.1 Canasta de carga	52
2.7.2 Tinajas de inmersión	53
2.7.3 Sistema de trasportación	54
2.7.4 Horno de polimerizado y secado	56
2.7.4.1 Hornos de convección	56
2.7.4.2 Hornos de radiación infrarroja	58
2.8 Selección del horno de secado	59

## **CAPITULO III**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO, CÁLCULO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y EQUIPOS PARA EL PROCESO DE LIMPIEZA POR INMERSIÓN**

3.1 Acero	61
3.2 Características del acero	62
3.3 Clasificación de los aceros	63
3.3.1 Aceros laminados en caliente y en frio	64
3.3.1.1 Aceros laminados en caliente	65
3.3.1.2 Aceros laminados en frio	65
3.3.2 Acero estructural tipo A-36	67
3.4 Ventajas del acero como material estructural	69
3.5 Desventajas del acero como material estructural	69
3.6 Métodos existentes para el cálculo de elementos	70
3.6.1 Método elástico (ASD)	70
3.6.2 Método de resistencia última (LRFD)	70
3.6.3 Método seleccionado para el diseño y cálculo de los elementos	71
3.7 Teoría para cálculo de vigas	72
3.8 Teoría para cálculo de espesores de láminas	76
3.9 Teoría para cálculo de pórtico	79
3.9.1 Método de rigideces sucesivas	79
3.9.2 Etapa preliminar	81
3.9.3 Etapa complementaria	81
3.10 Teoría para miembros sometidos a compresión	82
3.10.1 Estabilidad y relación de esbeltez	83
3.11 Teoría para cálculo de placas base de columnas	86
3.12 Teoría para pernos de anclaje	89
3.13 Teoría de esfuerzo de corte	90
3.14 Teoría de conexiones soldadas	91
3.14.1 Ventajas de la soldadura	92
3.14.2 Inspección de soldadura	93
3.14.2.1 Inspección visual	93

3.14.2.2 Líquidos penetrantes	93
3.14.2.3 Partículas magnéticas	94
3.14.2.4 Prueba ultrasónica	94
3.14.2.5 Procedimientos radiográficos	94
3.14.3 Clasificación de la soldadura	95
3.14.3.1 Tipos de soldaduras	95
3.14.3.2 Posición	96
3.14.3.3 Tipos de juntas	97
3.15 Esfuerzo permisible de la soldadura	100
3.15.1 Soldadura a filete	100
3.15.2 Soldadura a tope en tracción	101
3.15.4 Juntas soldadas a tensión	102
3.15.5 Juntas soldadas a flexión	102
3.16 Teoría para elementos de izase	105
3.16.1 Eslingas	105
3.17 Teoría para sistemas de calefacción de tinas	107
3.17.1 Trasferencia de calor por conducción	107
3.17.2 Trasferencia de calor por convección	111
3.17.3 Balance de energía para sistemas cerrados	112
3.17.4 Balance de energía para sistemas de flujo estacionarios	113
3.17.5 Sistemas con resistencia interna despreciable. Enfoque de parámetro de bulto	114
3.17.6 Coeficiente de transferencia de calor total U	116

## **CAPITULO IV**

### **DISEÑO, CÁLCULO Y SELECCIÓN DE ELEMETOS Y EQUIPOS PARA EL PROCESO DE LIMPIEZA**

4.1 Consideración inicial para el diseño	118
4.1.1 Cantidad y tiempo de producción estimado para el proceso de inmersión	119
4.2 Canasta de carga	122

4.3 Dimensiones de tinas de inmersión	126
4.3.1 Tinas de inmersión	126
4.3.1.1 Placa base de tina	126
4.3.1.2 Paredes de laterales de la tina	131
4.3.2 Refuerzos longitudinales y transversales de la tina	131
4.3.3 Base o cama de apoyo de tina	138
4.3.3.1 Vigüeta transversal de marco	138
4.3.3.2 Viga longitudinal de marco	141
4.3.4 Equipo requerido para calentar la tina de desengrase	143
4.3.4.1 Pérdidas de calor en las paredes y base de la tina	144
4.3.4.2 Pérdida de calor en la superficie del líquido	145
4.3.4.3 Ganancia de calor de producto a ser lavado	146
4.3.4.4 Pérdida de temperatura del líquido por la introducción del producto	147
4.3.4.5 Temperatura de las sustancias en el transcurso del tiempo	148
4.3.4.6 Potencia para calentar masa del líquido desde temperatura ambiente	150
4.3.4.7 Selección del equipo para el calentamiento	150
4.3.4.8 Equipo de calentamiento	151
4.3.4.9 Diseño de intercambiador calor para calentar tinas	153
4.3.4.10 Hogar para la combustión del quemador	156
4.4 Cálculo de estructura pórtico para el sistema de transportación	157
4.4.1 Cálculo de viga lapuente	158
4.4.2 Verificación de elementos del testero	161
4.4.3 Cálculo de viga soporte del testero	162
4.4.4 Calculo columnas pórtico	168
4.4.5 Cálculo de placa base de columnas	169
4.4.6 Cálculos para pernos de anclaje	174
4.4.7 Cálculos de elementos soldados	177
4.4.8 Cálculos de elementos de izaje	178
4.4.9 Diagrama de flujo	182
4.4.10 Parámetros para mantenimiento de equipo de limpieza	184

## **CAPITULO V**

### **COSTOS**

5.1 Costo de proceso limpieza manual	186
5.2 Costo de implementación de proceso por inmersión	187
5.2.1 Costo canasta de carga	185
5.2.2. Costo de bases de apoyo de tinas	188
5.2.3 Costo tina de enjuagues	188
5.2.4 Costo tina de desengrase y fosfatado	189
5.2.5 Costo pórtico para transporte	189
5.2.6 Costo total de implementación del proceso de limpieza por inmersión	190
5.3 Costo estimado de ejecución de proceso de inmersión	190
5.3.1 Costo de etapa de desengrase	191
5.3.2 Costo de etapa de fosfato	192
5.3.3 Costo de etapas de enjuagues	193
Conclusiones	194
Recomendaciones	196
Glosario	198
Bibliografía	206

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables Dependientes e Independientes	6
Tabla 1.1 Características de la Pinturas en Polvo	19
Tabla 2.1 Impurezas en las superficie metálica	36
Tabla 2.2 Producción promedio del año 2011 y estimación para el año 2012 de estanterías, góndolas de pared y góndolas centrales	41
Tabla 2.3 Producción promedio del año 2011 y estimación para el año 2012 de elementos de estanterías y góndolas	42
Tabla 2.4 Tiempo empleado en la limpieza de una estantería	43
Tabla 2.5 Tiempo empleado en la limpieza de góndola de pared	43
Tabla 2.6 Tiempo empleado en la limpieza de góndola central	43
Tabla 2.7 Tiempo total empleado en la limpieza de estantería y góndolas para el año 2012	44
Tabla 2.8 Parámetros para selección de procesos	45
Tabla 2.9 Tipos y aplicación de los desengrasantes	48
Tabla 2.10 Selección del desengrasante	49
Tabla 2.11 Tipos y aplicación industrial de fosfatos	50
Tabla 3.1 Clasificación de los acero según norma UNE 36010	64
Tabla 3.2 Tipos de perfiles laminados en caliente	67
Tabla 3.3 Impacto vertical, empuje y fuerza de tracción para grúas	76
Tabla 3.4 Deflexiones máximas en vigas	76
Tabla 3.5 Valores de $\alpha$ para placa con condición $b/a < 2.5$	78
Tabla 3.6 Valores de deformaciones unitarias $\epsilon_y$	79
Tabla 3.7 Tabla matriz del sistema de ecuaciones	80
Tabla 3.8 Fuerza $F_a$ en función de la relación de esbeltez	85
Tabla 3.9 Área resistente de tornillos de diámetro nominal	89
Tabla 3.10 Tamaño mínimo de soldadora de filete	103
Tabla 3.11 Metales de aporte según norma AWS D1.1	104
Tabla 3.12 Propiedades mínimas a la tensión del material soldante	104
Tabla 3.13 Esfuerzos permitidos por el reglamento AISC para metal soldante	104
Tabla 3.14 Coeficiente de sobre carga en función del ángulo entre ramales de sustentación	107
Tabla 3.15 Sobre carga en función del ángulo entre ramales de sustentación	107

Tabla 3.16 Valores de coeficiente conectivo de transferencia de calor	111
Tabla 4.1 Peso y cantidad de productos, bandejas sin doblar por carga	119
Tabla 4.2 Peso y cantidad de productos, bandejas y parantes doblados por carga	120
Tabla 4.3 Tiempo estimado en el proceso de inmersión para bandejas y parantes	120
Tabla 4.4 Tiempo estimado de limpieza para una estantería de 6 bandejas	121
Tabla 4.5 Tiempo empleado en limpieza para la producción anual de estanterías 2011 y estimada para el 2012 utilizando el proceso manual	121
Tabla 4.6 Tiempo empleado en limpieza para la producción anual de estanterías 2011 y estimada a 5 años empleando el proceso de inmersión.	121
Tabla 4.7 Peso de canasta de carga	124
Tabla 4.8 Disminución de la temperatura con el transcurso de tiempo	149
Tabla 4.9 Coeficientes de corrección por altura	152
Tabla 4.10 Coeficientes de transferencia de calor	155
Tabla 4.11 Pesos a considerar para cálculo de sistema de trasportación	157
Tabla 4.12 Diagrama de flujo, proceso de limpieza por inmersión	183
Tabla 5.1 Costo anual de mano de obra para limpieza manual	186
Tabla 5.2 Costo anual de insumos requeridos para limpieza manual	186
Tabla 5.3 Costo canasta de carga diseñada	187
Tabla 5.4 Costo de base para tinajas	188
Tabla 5.5 Costo tina de enjuague	188
Tabla 5.6 Costo tina de desengrase y fosfato	189
Tabla 5.7 Costo de pódico para transporte	189
Tabla 5.8 Costo total de elementos para proceso inmersión	190
Tabla 5.9 Número de estanterías producidas por tanda	190
Tabla 5.10 Número de inmersiones diarias para cubrir la producción anual actual y futura	191
Tabla 5.11 Costo de etapa de desengrase para proceso de inmersión	192
Tabla 5.12 Costo de etapa de fosfatado para proceso de inmersión	192
Tabla 5.13 Costo de etapa de enjuagues para proceso de inmersión.	193

## INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Localización del Colegio Técnico Salesiano Don Bosco y Obra Mecánica Don Bosco	7
Fig. 1.1 Producción mundial por tipo de resina	17
Fig. 1.2 Máquina para la aplicación del recubrimiento de pintura en polvo	24
Fig. 1.3 Pistola para la aplicación del recubrimiento de pintura en polvo	25
Fig. 1.4 Panel de control, máquina para pintura electrostática	25
Fig. 1.5 Cabina para la aplicación de pintura en polvo.	26
Fig. 1.6 Horno por convección a gas para polimerizado de productos	27
Fig. 1.7 Sistema corona para recubrimiento de pintura en polvo	29
Fig. 1.8 Sistema tribo eléctrico para recubrimiento de pintura en polvo	30
Fig. 1.9 Túnel de aspersión para limpieza de bandejas	32
Fig. 1.10 Tina para limpieza por inmersión	33
Fig. 1.11 Equipos de limpieza por ultrasonido	33
Fig. 1.12 Cuba de limpieza para proceso electrolítico	34
Fig. 1.13 Elementos empleados en el proceso de limpieza por acción mecánica.	35
Fig. 2.1 Láminas de tool provenientes de fábrica	37
Fig. 2.2 Bandejas y parantes de tool previo al pretratamiento superficial de desengrase y fosfatado	38
Fig. 2.3 Estanterías metálicas para carga liviana con recubrimiento de pintura en polvo	38
Fig. 2.4 Estanterías metálicas para carga pesada con recubrimiento de pintura en polvo	39
Fig. 2.5 Góndolas metálicas para supermercados con recubrimiento de pintura en polvo	39
Fig. 2.6 Muebles y Guarda ropas de tool con recubrimiento de pintura en polvo	40
Fig. 2.7 Sillas y pupitres con recubrimiento de pintura en polvo	40
Fig. 2.8 Proceso completo de tratamiento de superficies por inmersión	47
Fig. 2.9 Canasta para proceso de inmersión	52
Fig. 2.10 Tina para proceso de limpieza por inmersión	54
Fig. 2.11 Sistema de transportación por tren aéreo y polipasto	55
Fig. 2.12 Horno eléctrico por convección	57
Fig. 2.13 Horno a gas por convección	58

Fig. 2.14 Horno continuo por radiación infrarroja	59
Fig. 3.1 Curva Esfuerzo - Deformación del Acero	63
Fig. 3.2 Esfuerzo – Deformación unitaria del Acero	68
Fig. 3.3 Viga con carga concentrada en el centro doblemente empotrada.	73
Fig. 3.4 Viga con carga distribuida doblemente empotrada	73
Fig. 3.5 Viga con carga puntual desplazada del centro doblemente empotrada	74
Fig. 3.6 Viga simplemente apoyada con dos cargas puntuales	74
Fig. 3.7 Viga simplemente apoyada con carga distribuida	75
Fig. 3.8 Viga simplemente apoyada con carga puntual	75
Fig. 3.9 Placa empotrada en sus cuatro lados	79
Fig. 3.10 Esquema de rigideces	80
Fig. 3.11 Cargas actuantes en columnas	82
Fig. 3.12 Efecto de esfuerzos en columnas	83
Fig. 3.13 Factor K para diferentes tipos de apoyo	83
Fig. 3.14 Dimensiones consideradas para la placa base	86
Fig. 3.15 Fuerza y Momentos en placa base para 4 pernos de anclaje	89
Fig. 3.16 Esfuerzo de corte en placa	90
Fig. 3.17 Esfuerzo de corte único y doble para pernos	90
Fig. 3.18 Esfuerzo de apoyo en placa	91
Fig. 3.19 Diferentes ejemplos de soldadura	95
Fig. 3.20 Diferentes ejemplos de posiciones de soldadura	97
Fig. 3.21 Tipos de Juntas	97
Fig. 3.22 Símbolos Complementarios de Soldadura	98
Fig. 3.23 Descripción del símbolo de soldadura	98
Fig. 3.24 Diferentes tipos de juntas.	99
Fig. 3.25 Conexión soldada en placa base con un ancho de soldadura “a”	102
Fig. 3.26 Clases de eslinga para izaje	105
Fig. 3.27 Ángulo formado por los cables de las eslingas	106
Fig. 3.28 Determinación de signo para la transmisión de calor por conducción	108
Fig. 3.29 Conducción de calor a través de un muro plano	109
Fig. 3.30 Conducción de calor a través de varios muros plano	110
Fig. 4.1 Diagrama de medidas y cargas en canasta	124
Fig. 4.2 Diagramas y fórmulas para viga empotrada	122
Fig. 4.3 Canasta de carga para lavado de productos	125

Fig. 4.4 Distancias a tomar para razón $n = b / a$ , placa base dividida en tres espacios	127
Fig. 4.5 Distancias a tomar para razón $n = b / a$ , placa entera.	129
Fig. 4.6 Diagrama de presión sobre la pared de la tina.	131
Fig. 4.7 Distancias de anchos cooperantes para refuerzos laterales de tina	132
Fig. 4.8 Diagramas y fórmulas para viga empotrada	132
Fig. 4.9 Propiedades y refuerzo lateral para tinas	133
Fig. 4.10 Tina de lavado de productos a procesar	138
Fig. 4.11 Ancho cooperante de viguetas	139
Fig. 4.12 Diagramas y fórmulas para viga empotrada	139
Fig. 4.13 Diagramas y fórmulas para viga simplemente apoyada	141
Fig. 4.14 Cama o base de apoyo de tinas de lavado	142
Fig. 4.15 Disminución de la temperatura con el transcurso de tiempo	149
Fig. 4.16 Dimensiones de hogares para combustión de quemador	156
Fig. 4.17 Diagrama y fórmulas para viga puente simplemente apoyada con carga central	158
Fig. 4.18 Diagrama y fórmulas para viga simplemente apoyada cargada con su propio peso	159
Fig. 4.19 Diagrama y fórmula para viga testeros simplemente apoyada con carga central	161
Fig. 4.20 Diagrama de momentos viga soporte de testeros	163
Fig. 4.21 Diagrama de momentos rigideces	164
Fig. 4.22 Diagrama de momentos hiperestáticos	165
Fig. 4.23 Diagrama de cargas testero	170
Fig. 4.24 Reacciones por cargas vivas	170
Fig. 4.25 Reacciones por cargas propias de viga (cargas muertas)	170
Fig. 4.26 Pórtico para transportar productos	176
Fig. 4.27 Proceso completo para pretratamiento de láminas metálicas	180
Fig. 4.28 Proceso completo para pretratamiento de láminas metálicas implementado en el área destinada para este	181

## **ANEXOS**

Anexo 1 Cronograma de actividades

Anexo 2 Layout y Planos generales

Anexo 3 Productos químicos

Anexo 4 Productos de acero

Anexo 5 Equipos mecánicos, térmicos y accesorios

Anexo 6 Especificaciones de soldadura para elementos

Anexo 7 Cotizaciones

## **INTRODUCCIÓN.**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En el Colegio Técnico Salesiano Don Bosco se busca siempre el desarrollo de nuevas formas de auto financiamiento, por tal motivo se han creado obras productivas, las cuales son económicamente independientes y autónomas, es decir los costos de funcionamiento de estas deben ser cubiertos con los resultados económicos de las mismas, la finalidad de estas obras es colaborar económicamente para el funcionamiento del plantel educativo, cubriendo con los resultados obtenidos el déficit económico que se genera en la institución al mantener carreras técnicas, a esto se lo conoce como “Obras Salesianas de Autogestión”, con lo cual se proporciona a jóvenes de bajos recursos una educación técnica de alta calidad, para que en lo posterior se conviertan en entes productivos para la sociedad.

En la Obra de Mecánica Don Bosco existen dos secciones productivas, mecánica y toolés. Como línea de producción de la Sección de Mecánica se encuentran, piñones, ejes, matrices, moldes, y todo repuesto requerido por la industria de la construcción, automotriz, textil, petrolera, aeronáutica, etc. Como línea de producción de la Sección de Toolés se encuentra, estanterías para soportar carga livianas y pesada, góndolas, guarda ropa, muebles y accesorios de oficina, placas viales y prediales, pupitres, servicio de pintura electrostática, servicio de cortadoras y plegadoras hidráulicas, además de todo trabajo que implique el procesamiento de tuberías y láminas de metal.

Algunos de los productos mencionados requieren un proceso de pre tratamiento superficial, el cual prepara la superficie metálica para que sea buena receptora de recubrimientos con pintura en polvo, actualmente el proceso de pretratamiento de láminas se lo realiza en la sección toolés de forma manual, utilizando sustancias químicas las cuales limpian las superficies metálicas de grasas, óxidos y elementos extraños que perjudican la adherencia de la pintura, al ser este un proceso manual tiene como resultado varios factores negativos como son:

- Excesivo tiempo para la limpieza manual de productos, empleando aproximadamente 55 días de 8 horas diarias durante un año con 4 personas fijas en el proceso de limpieza, para los productos procesados en la obra mencionada.
- Consumo mensual excesivo de recursos como guantes, paños de limpieza, productos químicos, antiparras, mascarillas, los cuales se deben adquirir quincenalmente con un promedio aproximado de 16 pares de guantes de cuero, 16 pares de guantes de PVC, 16 pares de antiparras, 16 mascarillas faciales, 16 mandiles de cuero, 50 Kg de paño de limpieza y 2 canecas de productos químicos desengrasante - fosfatizante para la limpieza de los productos.
- Retraso de limpieza en días fríos o lluviosos, ya que el producto químico empleado debe tener un ambiente adecuado para poder ser aplicado, pues este con una baja temperatura ambiente disminuye su eficiencia.
- Limpieza defectuosa en superficies no uniformes, esto se debe a que manualmente no se puede acceder a ciertas partes ocasionando en lo posterior el desprendimiento de pintura.
- Riesgo en la salud de las personas que realizan la limpieza por contacto con las sustancias químicas empleadas, mala postura ergonómica y continua exposición a factores ambientales.
- Posible desprendimiento de la pintura aplicada por no tener una limpieza correcta y uniforme de su superficie, lo cual ocasiona reproceso de los productos con su respectiva pérdida de tiempo y recursos.
- Evacuación inadecuada y convencional de los paños con productos químicos contaminados con grasas y residuos provenientes de la limpieza de las láminas metálicas.

El principal empeño de las autoridades de la institución es dar mayor fuerza productiva a las obras de autogestión, mejorando sus ventas e ingresos por medio de los productos que en estas se procesan; por tal motivo se ha visto la necesidad de implementar un proceso en el cual se disminuya tiempo y recursos empleados en la limpieza de los productos, así como prevenir el riesgo a la salud de las personas que laboran en dicha obra, colaborando con la preservación adecuada del medio

ambiente y con ello ser más eficientes y competitivos en el mercado actual, brindando mayor garantía y calidad en los productos fabricados y comercializados a nuestros clientes.

## **JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad donde se vive constantes cambios en todas las empresas las cuales buscan mayor productividad, mejorar sus ventas y estar un paso adelante de la competencia con el fin de permanecer más tiempo en el mercado, es necesario tomar acciones en la Obra de Mecánica Don Bosco las cuales ayuden a mejorar los tiempos de producción, obteniendo mejor calidad en los productos procesados y precios más competitivos, ya que conformarse con lo que se produce y vende, con los clientes conocidos y con nichos de mercado marcaría el principio del fin para cualquier empresa, por tal motivo se ve la necesidad imperiosa de cambiar el proceso de limpieza manual a un proceso de limpieza el cual cumpla con los siguientes requerimientos:

- Mejorar la calidad de la superficie metálica para la recepción del recubrimiento de pintura.
- Evitar el riesgo de reproceso de los productos pintados a causa de un mal pretratamiento de la superficie.
- Reducir el tiempo empleado en el tratamiento de la superficie garantizando mayor eficiencia y calidad.
- Incrementar la producción y venta de los productos procesados en la obra como son, estanterías, góndolas, muebles etc.,
- Disminuir los recursos e insumos empleados por el personal en el proceso de limpieza.
- Eliminar el tiempo perdido a causa de la espera de un medio ambiente adecuado para la aplicación manual del producto químico que se emplea actualmente en la limpieza.
- Resguardar la salud del personal.
- Realizar una adecuada evacuación los productos químicos empleados.

Con los requerimientos mencionados se apunta a una mayor producción con su respectivo cumplimiento en las ventas proyectadas para los próximos años, además de la obtención de nuevos clientes basados en la calidad y garantía del producto procesado por medio de este nuevo sistema de limpieza.

## **OBJETIVOS.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

Diseño de proceso para el pretratamiento de laminas metálicas previo a la aplicación de pintura electrostática

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Definir el proceso de pretratamiento de láminas metálicas más adecuado.
- Seleccionar los productos químicos más adecuados para el pretratamiento de limpieza de láminas metálicas.
- Diseñar los elementos necesarios y requeridos para el proceso de limpieza y transporte de los productos a ser procesados
- Seleccionar los equipos necesarios para el funcionamiento los elementos diseñados.
- Seleccionar el sistema de secado apropiado para los productos procesados.
- Realizar el análisis económico del proceso diseñado, para con ello determinar el costo de implementación del mismo.

## **HIPÓTESIS.**

Con la implementación de un proceso de limpieza, diseño de los elementos y selección de los equipos requeridos se estima disminuir el tiempo actual de limpieza en un 60%, garantizando una mejor superficie receptora de los recubrimientos de pintura en polvo, mejorando su calidad.

## **ALCANCE.**

- Realizar el estudio de los procesos de pretratamiento de láminas metálicas previo a la pintura electrostática así como de los productos químicos a emplearse.
- Realizar el estudio del medio de transporte más adecuado para los productos a ser procesados
- Realizar el Lay - Out de distribución de los elementos diseñados, para la optimización de los espacios designados para implementar este proceso.
- Realizar el Flujo - Grama del proceso de limpieza basado en los elementos diseñados y equipos seleccionados.
- Aplicar normas técnicas en el diseño de los elementos necesarios para el proceso de pretratamiento de láminas metálicas, con lo cual se obtiene seguridad e higiene requeridas para el cuidado de la salud de las personas.

## **VARIABLE**

“Objeto, proceso o característica que está presente, en el fenómeno que un científico o investigador quiere estudiar. Los objetos, procesos o características reciben el nombre de variables en la medida en que su modificación provoca un cambio en otro objeto, proceso o característica.”<sup>1</sup>

## **VARIABLE INDEPENDIENTE**

“Se denomina variable independiente a todo aquel aspecto, hecho, situación, rasgo, etcétera, que se considera como la “causa de” en una relación entre variables.”<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>GARZA, Mercado Ario, Manual de Técnicas de Investigación, (México, DF. 1979), P. 12

<sup>2</sup>BERNAL, César Augusto, Metodología de la Investigación para Administración y Economía, (Santa Fe de Bogotá, D. C., Colombia 2000), P. 132

## VARIABLE DEPENDIENTE

“El objeto, proceso o característica a estudiar y que modifica su estado con la modificación de la variable independiente (es decir que depende de ella y que en esa medida es un efecto) se llama variable dependiente.”<sup>3</sup> En la tabla 1 se muestra el indicador de cualitativo de las variables dependientes e independientes.

<b>VARIABLES</b>		
<b>VARIABLES Independientes</b>	<b>VARIABLES Dependientes</b>	<b>Indicador</b>
Diseño	Tamaño y forma Forma Utilización Espacio Físico	Funcionalidad
Costo	Diseño Materia Prima Insumos Mano de Obra Depreciación Mantenimiento	Presupuesto  Reducción de Costos
Seguridad	Salud	Números de accidentes al año. Trabajar bajo normas

Tabla 1. Variables Dependientes e Independientes

## POBLACIÓN Y MUESTRA

En la obra Mecánica Don Bosco se procesan mensualmente según la fluencia de pedidos realizados por los clientes aproximadamente un promedio de, 250 estanterías para carga liviana, 20 góndolas de pared y 10 góndolas centrales en varias medidas según el requerimiento del cliente, tomando un tiempo aproximado de 55 días anuales empleando 4 personas fijas para realizar la limpieza de los elementos que constituyen estos productos, se debe considerar que estos productos son los que se encuentran cuantificados y registrados ya que son de línea fija de producción mensual.

---

<sup>3</sup>GARZA, Mercado Ario, Manual de Técnicas de Investigación, (México, DF. 1979), P. 12

Adicionalmente se procesan varios productos diferentes a los mencionados los cuales también requieren de un pretratamiento en la superficie para posteriormente ser pintados siendo algunos de estos: estructuras de sillas y pupitres, pasamanos, puertas, piezas y partes de máquinas, muebles, guarda ropas, estanterías para carga pesada, etc., el tiempo empleado para la limpieza y la cantidad procesadas de estos productos no se encuentra registrada ya que son productos realizados bajo pedido y no como línea fija de producción mensual.

## LOCALIZACIÓN

El Colegio Técnico Salesiano Don Bosco y la Obra Mecánica Don Bosco se encuentran ubicados en sector norte de la Ciudad de Quito – Ecuador, en las calles José Rafael Bustamante E6-87 y Gonzalo Zaldumbide (Ciudadela Kennedy), ver figura 1.



Fig. 1 Localización del Colegio Técnico Salesiano Don Bosco y Obra Mecánica Don Bosco (Ciudadela Kennedy)  
Fuente. Google Earth

## **METODOLOGÍA**

**1. MÉTODO CIENTÍFICO.-** "Implica un conjunto de pasos fijados de antemano con el fin de alcanzar conocimientos válidos mediante instrumentos confiables."<sup>4</sup>

Con la realización y cumplimiento del cronograma de actividades se desarrollará cada capítulo en el tiempo estimado en el mismo, en los capítulos I, II, III, se verá reflejada la aplicación de este método.

**2. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO.-** "El método de investigación bibliográfica es el método que se sigue para obtener información contenida en documentos."<sup>5</sup>

El procedimiento a seguir será la recopilación de información relacionada al tema para identificar aquella que contengan especificaciones y propiedades que sean útiles a la investigación.

Este método será aplicado en los capítulos I, II, III, IV, en los cuales esta fuente bibliográfica será la base para el desarrollo de dichos capítulos.

**3. MÉTODO ANALÍTICO.-** "Es el método de investigación, que consiste en la desmembración de un todo, descomponiendo en sus partes o elementos para observar las causas naturales o efectos."<sup>6</sup>

Conocer el funcionamiento de cada equipo o elemento de la planta de pretratamiento de láminas metálicas con lo cual se puede explicar, realizar analogías y comprender de mejor manera su comportamiento y manejo para con ello establecer nuevas teorías, dando inicio a la investigación de posibles ventajas que pueden permitir un mejor diseño de la misma.

---

<sup>4</sup>CARVAJAL, Lizardo, Metodología de la Investigación, Edit. Futuro, Cali, 1994, Cap. III, P. 122

<sup>5</sup>VAN-DALLEN Y MAYER, Manual de Técnicas de Investigación Educativa. Edit. Paidós, Buenos Aires, 1981, Cap. IV, P. 220

<sup>6</sup>VAN-DALLEN Y MAYER, P.12

Este método se lo aplicará en el capítulo III para el desarrollo del diseño de cada uno de los elementos necesarios, para obtener resultados que serán decisivos en la selección de los equipos adicionales para el funcionamiento correcto del proceso de pretratamiento de láminas metálicas.

**4. MÉTODO TEÓRICO.-** “Permite ver las relaciones fundamentales del objeto de investigación siendo este fundamental para la comprensión de los hechos”.

Con la realización del (LAY-OUT), se determinará las dimensiones y distribución óptima de cada uno de los elementos que comprende la planta de pretratamiento de láminas metálicas, con ello se podrá apreciar el área requerida para considerar las normas y riesgos que esta involucra los cuales están relacionados directamente con la elaboración de la presente tesis.

La aplicación de este método se ve reflejado en los capítulo II y III una vez conocidos los conceptos fundamentales se los aplicara en la determinación del proceso de limpieza y en el diseño de los elementos necesarios, para este proceso de pretratamiento de láminas metálicas se a el mas adecuado para los productos a procesarse.

**5. MÉTODO MATEMÁTICO.-** “Los resultados científicos más importantes han sido alcanzados por hombres que no estaban interesados en problemas metodológicos.”<sup>7</sup>

Con el método matemático se obtendrá resultados numéricos los cuales se podrán interpretar para seleccionar la geometría, sus dimensiones y comportamiento de los materiales a utilizar en el diseño de los elementos requeridos.

Este método será aplicado en el desarrollo del capítulo IV ya que con este se podrá determinar valores paramétricos técnicos que se requiere para el diseño, debiendo estar estos valores dentro de rangos aceptables según las restricciones de diseño.

---

<sup>7</sup>ASTIVIERA, Armando, Metodología de la Investigación, edit. Kapelusa. Cap. III, Buenos Aires, 1973. P.156

## **RESUMEN.**

El objetivo principal del presente trabajo fue diseñar un proceso para el pretratamiento de láminas metálicas, mediante el cual se prepare la superficie de dicha lámina para la buena recepción de los recubrimientos en polvo tratados electrostáticamente, basados en el diseño, cálculo y selección de elementos y equipos que cumplan con las exigencias requeridas para este proceso.

### **Capítulo 1. FUNDAMENTO TEÓRICO PROCESO DE PRETRATAMIENTO.**

En este capítulo se recopila la información general sobre los recubrimientos en polvo sus propiedades, composición y características así como los equipos requeridos para su aplicación determinando con ello sus ventajas y desventajas, se continua con los varios procesos para la limpieza de los metales existentes y cuales son empleados previo a la aplicación de este tipo de recubrimientos.

### **Capítulo 2. ANÁLISIS DE PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRETRATAMIENTO DE LÁMINAS METÁLICAS.**

En este capítulo se analiza las características de las superficies de la materia prima (láminas metálicas) empleada en la fabricación de los diferentes productos procesados en la Obra Mecánica Don Bosco, así como las cantidades de productos procesados anualmente y su requerimiento de limpieza, fundamentados en estas características, cantidades y requerimientos de limpieza se selecciona y describe el proceso de limpieza más adecuado para dichos productos, así como las sustancias químicas que este requiere para su funcionamiento. Seguidamente se definen los elementos y equipos necesarios requeridos para la adecuada implantación del proceso de limpieza seleccionado.

### **Capítulo 3. FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO, CÁLCULO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y EQUIPOS PARA EL PROCESO DE LIMPIEZA POR INMERSIÓN.**

En este capítulo se recopila la información teórica la cual será de vital importancia y sustento para la realización del diseño, cálculo y selección de los elementos requeridos en el proceso de limpieza por inmersión.

### **Capítulo 4. DISEÑO, CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS Y EQUIPOS PARA EL PROCESO DE LIMPIEZA.**

Una vez determinada la información técnica requerida para la implementación de proceso de limpieza a emplear se realiza el diseño, cálculo y selección de los equipos para este, basados inicialmente en el análisis de la cantidad y tiempo empleados en la producción actual y la cantidad de producción estimada con el proceso a ser diseñado, finalmente se selecciona el elemento de secado basados en los requerimientos de los productos.

### **Capítulo 5. COSTOS**

Se determina los costos del proceso de limpieza manual empleado en la actualidad, el costo de implementación del proceso de limpieza por inmersión, y el costo estimado de operación de este proceso para un período determinado, finalmente se establecen sus ventajas del proceso a ser implementado frente al proceso manual que se lleva a cabo en la actualidad.

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En las conclusiones y recomendaciones, se puede destacar que al concluir el diseño se llega a determinar si los objetivos planteados en esta investigación fueron cumplidos y responden a las inquietudes señaladas en la hipótesis.

Para el Diseño del Proceso de Limpieza de Láminas Metálicas por Inmersión se realizó el dibujo en dos y tres dimensiones en los programas AutoCAD V. 2010 y

Solid Works V. 2011 respectivamente, utilizando estos en el desarrollo de los planos de los elementos diseñados, el análisis estructural y revisión de cálculos de uno de los elementos se lo realizó en el programa SAP 2000 V. 14

# **CAPITULO I**

## **FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL PROCESO DE PRETRATAMIENTO**

En el presente capítulo se definirá el origen y tipos de los recubrimientos en polvo, resinas empleadas en su fabricación, su utilización, así como las ventajas y desventajas de su empleo, se continuará con el principio de aplicación de estos y el equipo requerido para el mismo. Se describirán los diversos procesos de limpieza de los sustratos que se pueden emplear según las características finales que se desean obtener en los productos.

### **1.1 HISTORIA DE LOS RECUBRIENTOS EN POLVO**

Una breve reseña de la evolución del proceso de recubrimiento por medio de pintura en polvo lleva a la década de los años 50 en donde se realizaron los primeros intentos de producir este tipo de pintura con resinas epoxi, resultando su fabricación muy costosa por medio de molinos de bolas y su aplicación por medio de lecho fluidificado, en los años 60 se retoma esta iniciativa desarrollando nuevas resinas epoxi y nuevos procesos de fabricación, los cuales emplean máquinas extrusoras en un proceso continuo que permite bajas costos de producción.

De igual forma en Europa y en los Estados Unidos se comienza a utilizar para su aplicación pistolas para recubrimientos con pintura en polvo, cambiando el método de aplicación de lecho fluidificado empleado hasta esa época; entre los años 1966 y 1973 se desarrollaron los recubrimientos de pinturas a base de resinas epoxi, híbrida, poliuretano y poliéster - Tgic, siendo la industria de electrodomésticos la primera en utilizarla en sus líneas de producción; a finales de la década de los años 70 en Europa se produce un gran crecimiento del uso de estos recubrimientos y a comienzos de los años 80 ocurre lo mismo en Estados Unidos y Japón; entre los años 1985 y 1993 se introduce al mercado recubrimientos con resinas acrílicas utilizadas principalmente en el parque automotor.

En los primeros años del siglo XXI el reto de los recubrimientos en polvo fue llegar a mercados restringidos como son la aplicación sobre madera, plásticos, etc., desarrollando sistemas de polimerizado a baja temperatura y sistemas con rayos ultravioletas.

Con la aceptación y rápido crecimiento de la tecnología de recubrimientos en polvo y debido a que las leyes en todos los países obligan a un control de las emisiones de disolventes orgánicos a la atmosfera así como el ahorro energético para la utilización de estos procesos, el proceso de recubrimiento por medio de pintura en polvo tomo fuerza ya que era el que mejor cumplía con estas exigencias ambientales y energéticas, incentivando así el desarrollo de avances técnicos tanto en la producción de la materia prima como en sus equipos de aplicación, llegando a obtener en la actualidad procesos autónomos los cuales cubren las altas exigencias de producción y calidad.

La implantación de esta tecnología sigue dos etapas, la primera constituida por las plantas que cambian su sistema de acabado pasando de recubrimientos con pintura líquida a recubrimientos con pintura en polvo, y la segunda constituida por la creación de plantas que van a utilizar directamente los recubrimientos de pintura en polvo como sistema de recubrimiento superficial principal, atribuyéndose la decisión de este cambio a factores como:

- Excelente acabado
- Facilidad de aplicación
- Facilidad de limpieza de área de trabajo
- Ahorro Energético
- Economía
- Ecología

## **1.2 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RECUBRIENTOS EN POLVO**

“Son materiales orgánicos, coloridos o no, que son aplicados en forma sólida, excluyendo el uso de solventes. Necesitan pasar por un proceso térmico para fijar y formar una película continua para alcanzar sus propiedades.”<sup>8</sup>

Existen en el mercado dos grupos de recubrimientos en polvo denominados.

- Recubrimientos Termoplásticos.
- Recubrimientos Termoestables.

### **1.2.1 RECUBRIMIENTOS TERMOPLÁSTICOS**

Son conocidos por su durabilidad y resistencia a las sustancias químicas, se aplican sobre una superficie precalentada a temperatura mucho más alta que la de fusión de los recubrimientos en polvo y cuando la capa de pintura se enfría desarrolla sus características físicas.

“No sufren reacción química durante el curado, se ablandan si son calentados aun después de curados.”<sup>9</sup>

### **1.2.2 RECUBRIMIENTOS TERMOESTABLES**

Se aplican generalmente sobre superficies a temperatura ambiente, estos contienen un agente catalizador que se activa cuando la temperatura se eleva sobre el punto de fusión del polvo el cual es de 121 – 135 °C, encontrándose la temperatura de polimerizado entre los 150 – 210 °C dependiendo esta temperatura del tipo de recubrimiento empleado.

“Reaccionan químicamente durante el curado; no se ablandan después de curadas aunque sean expuestas al calor.”<sup>10</sup>

---

<sup>8</sup><http://www.epristinta.com.br/manual%20tecnico%20versao%20-%20espanhol.pdf>

<sup>9</sup><http://www.epristinta.com.br/manual%20tecnico%20versao%20-%20espanhol.pdf>

### **1.3 CLASES DE RECUBRIMIENTOS EN POLVO**

Existen cinco clases de recubrimientos en polvo nombrados principalmente por el tipo de resina empleada para su producción.

- Epoxi
- Poliéster / Tgic
- Epoxi / Poliéster
- Poliuretano
- Acrílicos

#### **1.3.1 EPOXI**

Recubrimientos de pintura constituidos por resinas epoxídicas puras, fueron las primeras desarrolladas y se las utiliza principalmente donde se requiera alta resistencia química y mecánica como en máquinas industriales, aparatos eléctricos y componentes automotrices.

#### **1.3.2 POLIÉSTER / TGIC**

Recubrimientos de pintura constituido por resinas poliésteres endurecidas por triglicidilisocianurato (TGIC), empleados netamente en ambientes expuestos a la intemperie.

#### **1.3.3 EPOXI / POLIÉSTER**

Constituidos por resinas poliéster endurecidas con resinas epoxis, son de uso extendido para aplicaciones interiores debido a su menor costo como en estanterías, muebles metálicos, electrodomésticos, juguetes, herramientas, no se recomienda para piezas destinadas a un medio ambiente externo.

---

<sup>10</sup><http://www.epristinta.com.br/manual%20tecnico%20versao%20-%20espanhol.pdf>

### 1.3.4 POLIURETANO

Recubrimientos de pintura constituidos por resinas de poliéster endurecidas con isocianatos, desarrolladas principalmente para uso exterior y superficies de exigente acabado.

### 1.3.5 ACRÍLICOS

Pintura constituida por resinas acrílicas, utilizadas para productos destinados al exterior, de uso muy limitado por su elevado costo de producción.

En la figura 1.1 se muestra la producción mundial de acuerdo a los requerimientos de producción de los países industrializados que más emplean este tipo de recubrimiento.

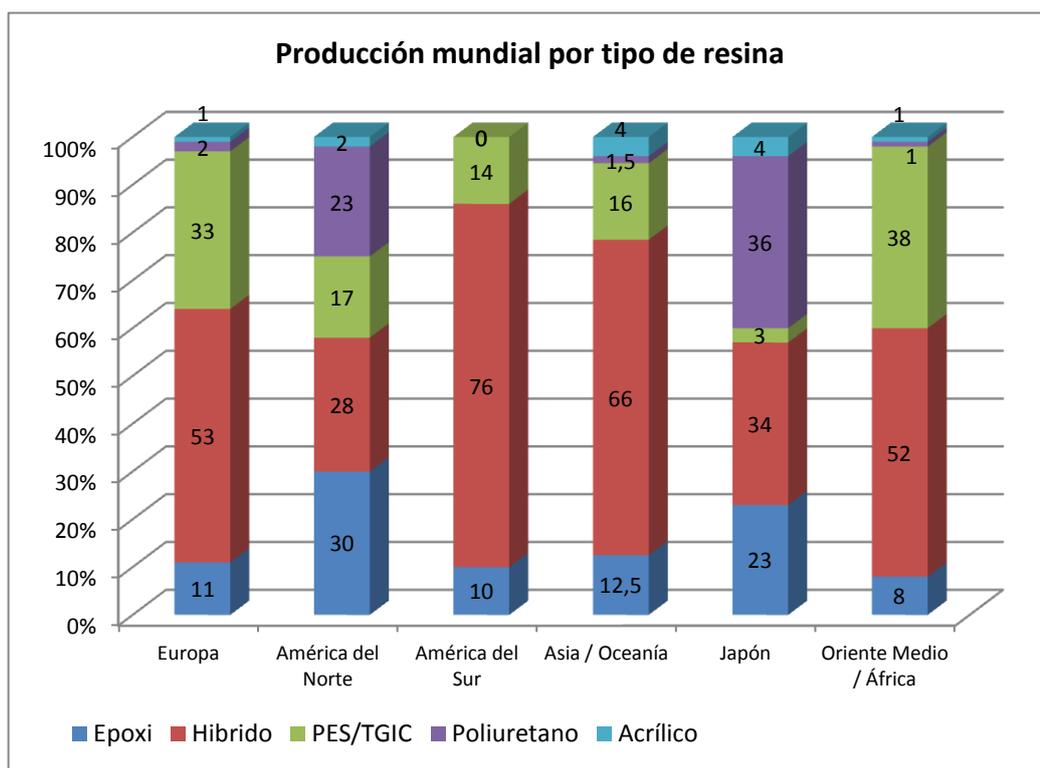


Fig. 1.1 Producción mundial por tipo de resina.  
Fuente. Manual Técnico de Pinturas en Polvo Epristinta Brasil

## **1.4 COMPOSICIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS EN POLVO**

Los recubrimientos de pintura en polvo están compuestos por varios elementos empleados como materias primas, siendo los porcentajes de estos elementos los que determinan las características visuales, mecánicas y químicas, estos compuestos son:

- Resinas
- Endurecedores
- Pigmentos
- Cargas
- Aditivos

### **1.4.1 RESINAS**

Las resinas son la base de los recubrimientos de pintura en polvo, estos polímeros empleados en la fabricación de la pintura otorgan la mayoría de propiedades a la misma, considerándose un buen recubrimiento de pintura en polvo el que contenga no menos de un 50 a 55% en peso de resina, incrementándose este porcentaje si se desea mejorar sus características como por ejemplo alto brillo o resistencia al tratamiento mecánico.

Las resinas utilizadas tiene en general una baja “temperatura de transición vítrea” Tg, produciéndose un ablandamiento de esta resina a temperaturas no muy elevadas, (30 - 35 °C), por tal motivo al almacenarse en climas cálidos esta sufre un apelmazamiento que compromete sus propiedades y dificulta su aplicación,

Esta característica es particularmente más importante para las pinturas transparentes o clears, ya que al tener un 90% de resina se debe tener muy en cuenta las condiciones de almacenamiento, recomendándose su almacenaje en ambientes controlados.

En la tabla 1.1 se exponen las principales resinas empleadas en la fabricación de pintura en polvo en la cual se puede apreciar las características de cada recubrimiento de pintura, según el medio a la que van a estar expuestas.

	<b>EPOXI</b>	<b>HIBRIDA</b>	<b>POLIÉSTER TGIC</b>	<b>POLIURETANO</b>	<b>ACRÍLICOS</b>
<b>Dureza</b>	excelente	muy buena	muy buena	buena	buena
<b>Flexibilidad</b>	excelente	excelente	excelente	excelente	mediocre
<b>Resistencia al Sobre Horneo</b>	mediocre	muy buena	excelente	muy buena	excelente
<b>Resistencia al Exterior</b>	mala	mala	excelente	excelente	excelente
<b>Resistencia a la Corrosión</b>	excelente	muy buena	muy buena	buena	muy buena
<b>Resistencia Química</b>	muy buena	excelente	muy buena	buena	buena
<b>Propiedades Mecánicas</b>	regular	buena	muy buena	buena	regular

Tabla 1.1 Características de la Pinturas en Polvo  
Fuente. <http://orbita.starmedia.com/polpin/clases.htm>

#### 1.4.2 ENDURECEDORES

Son los compuestos que hacen reacción con la resina, permitiendo que esta cure en el proceso de polimerizado, los endurecedores son específicos para cada resina, así por ejemplo las resinas poliéster curan con triglicidilisocianurato Tgic.

Las resinas híbridas (epoxi y poliéster) no requieren de un endurecedor específico pues reaccionan entre sí logrando así endurecerse.

#### 1.4.3 PIGMENTOS

Los pigmentos son de fundamental importancia en la formulación ya que son los que brindan el color a los recubrimientos de pintura, debiendo tratarse con sumo cuidado para lograr las tonalidades requeridas por los clientes o normas internacionales de colores.

Para mantener las tonalidades en las sucesivas producciones existen equipos de medición y ajuste de color,

Los pigmentos utilizados para recubrimientos de pinturas en polvo son específicos pues deben resistir la temperatura de curado y cumplir con las características del tipo recubrimiento, por ejemplo un recubrimiento para exteriores debe ser del tipo poliéster y el pigmento debe soportar agentes ambientales como lluvia, polvo, rayos ultravioletas etc.

#### **1.4.4 CARGAS**

Las cargas sirven hacer competitivos a los recubrimientos en polvo frente a los recubrimientos líquidos, extendiendo su superficie de aplicación, adicionalmente dan al producto final importantes propiedades mecánicas, como aumentar la resistencia al impacto, ayudan también a mejorar su apariencia visual mateando el brillo excesivo.

Las cargas más frecuentemente utilizadas son el sulfato de bario y el carbonato de calcio y en algunas ocasiones del carbonato de calcio y magnesio a la vez.

#### **1.4.5 ADITIVOS**

Los aditivos son compuestos que se incluyen en cantidades porcentuales pequeñas en la composición de los recubrimientos en polvo, existen varios tipos de aditivos y cada uno de estos dan propiedades específicas en su aspecto superficial o acabado como por ejemplo superficies texturizadas o micro texturizadas, también se puede proteger a los recubrimientos de pintura del ataque de hongos, bacterias, etc. siendo los aditivos nombrados a continuación los más utilizados.

- Basona
- Ceras
- Acetobutirato de celulosa
- Nivelantes
- Mateantes

#### **1.4.5.1 BENZOINA**

Utilizada en pinturas híbridas y epoxídicas para ayudar a la extracción de gases que se producen durante el curado y evitar que se produzcan defectos en la película.

#### **1.4.5.2 CERAS**

Son polímeros de polietileno o polipropileno, su propósito es aumentar la dureza superficial de la pintura dando resistencia al rayado, generalmente no supera el 2% en la composición.

#### **1.4.5.3 ACETOBUTIRATO DE CELULOSA**

Es un agente que produce el aspecto y efecto superficial texturizado en la pintura, para ciertos acabados.

#### **1.4.5.4 NIVELANTES**

Son agentes que proporcionan el acabado lizo de la pintura, evitando así la piel de naranja.

#### **1.4.5.5 MATEANTES**

Son endurecedores específicos que disminuyen el brillo superficial, tornando a la pintura de un aspecto opaco o mate, esto se utiliza para casos en los que no se requiera de reflejo producidos por el sol o luces de exhibición.

### **1.5 APLICACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS EN POLVO**

En la actualidad el uso en la industria de este tipo de recubrimientos de pintura es muy amplio teniendo su principal aplicación en el pintado de elementos metálicos empleados en electrodomésticos, marcos, gabinetes eléctricos, estanterías, muebles metálicos, galpones, silos, herramientas, tuberías, elementos sanitarios, estructuras

de bicicletas, aros, carrocerías de automóviles, piezas o partes galvanizadas o cincadas, perfiles de aluminio, artesanías, exhibidores, etc.

Este proceso también se ha extendido a materiales no ferrosos como plástico y madera, lo que implica un mayor cuidado en el tratamiento de las superficies a ser pintadas así como en el proceso de aplicación y polimerizado de la pintura.

## **1.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS RECUBRIMIENTOS EN POLVO**

El uso del proceso de recubrimiento por medio de pintura en polvo tiene sus características específicas las cuales se definen a continuación, cabe mencionar que no existe proceso industrial en el cual se pueda considerar solo ventajas o solo desventajas, debiendo evaluar estos parámetros para definir si el proceso que se desea emplear es el más apropiado para obtener los resultados deseados.

### **1.6.1 VENTAJAS**

- No existe vaporización de solventes.
- Ambiente de trabajo más agradable para el operario
- Bajo riesgo de explosión al mantener niveles inferiores a 10 g de pintura por m<sup>3</sup> de aire.
- Rápida y fácil limpieza de la zona de trabajo por menor contaminación de productos.
- Alta eficiencia de aplicación, pudiendo alcanzar hasta un 99% de aprovechamiento.
- Facilidad de aplicación y control del espesor de la capa de pintura variando esta entre 20 a 100 µm.
- No se requiere el uso de “primer” para acabado superficial.
- Resistencia química y mecánica superior a las pinturas convencionales.
- Posibilidad de aplicación en superficies calientes luego del proceso de pretratamiento de láminas.
- Una sola aplicación en la mayoría de casos disminuye el tiempo en producción.

- Fácil implementación y automatización ya que permite flexibilidad en el diseño de las líneas de pintado.
- Permite la aplicación y adaptación de la pintura para grandes volúmenes de producción.
- Eliminación del tiempo de espera entre aplicaciones y aplicación.
- Existe recuperación del producto aprovechándose de mejor manera la materia prima.

### **1.6.2 DESVENTAJAS**

- Generación de polvo, se requiere limpiar el área de trabajo por medio de aspiración.
- Imposibilidad de pintar productos que se deterioran con excesivo calor, como plástico, madera etc., para lo cual se debe tener ambientes controlados para estos materiales.
- El acabado superficial brillante en la pintura en polvo es algo inferior, comparado con el acabado superficial que proporciona la pintura líquida.
- Se debe utilizar más de un recipiente en la aspersion la pintura suspendida en el proceso de pintado si se desea que la pintura no se mezcle.
- Control continuo por agentes contaminantes de la pintura en polvo, para ello se debe limpiar cuidadosamente los equipos.
- No se recomienda mezclar pintura nueva con pintura almacenada y si esto es necesario se debe tamizar, más aun si la pintura a utilizar es reciclada de procesos anteriores.
- Se debe realizar retoques manuales en lugares de difícil acceso cuando se emplear procesos automáticos ya que no siempre se puede llegar con las pistolas robots a estos lugares.

### **1.7 ELEMENTOS PARA EL PROCESO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA**

Para la aplicación de los recubrimientos en polvo se requiere equipos diseñados para este fin como son:

- Máquina para pintado electrostático.
- Cabina de pintura.
- Horno de curado.

### 1.7.1 MÁQUINA PARA PINTADO ELECTROSTÁTICO

Las máquinas para la aplicación de los recubrimientos en polvo están constituidas de varios elementos siendo los principales los siguientes, figura 1.2.

- Depósito de pintura.
- Pistola electrostática.
- Panel de control.



Fig. 1.2 Máquina para la aplicación del recubrimiento de pintura en polvo.  
Fuente: Mecánica Don Bosco

#### 1.7.1.1 DEPÓSITO DE PINTURA

Consta de un tanque de acero inoxidable el cual tiene una membrana porosa en su base y sobre esta se deposita la pintura la cual es suspendida por medio de una corriente de aire a presión que se inyecta debajo de dicha membrana, de este modo las partículas forman un lecho fluidificado de polvo, similar a un líquido siendo estas partículas bombeadas por la presión de aire interno a través de una manguera a la pistola de la máquina la cual carga eléctricamente a estas partículas de pintura.

### 1.7.1.2 PISTOLA ELECTROSTÁTICA

En este elemento del equipo figura 1.3, se carga las partículas de pintura por medio de electrodos que proporcionan al polvo una carga eléctrica con valores de voltaje y amperaje definidos, así el peligro de un choque eléctrico disminuye, la pistola dispone de un cañón así como de elementos reguladores de flujo, boquillas con geometrías diversas para diferentes trabajos además de un interruptor para poner en funcionamiento el equipo.



Fig. 1.3 Pistola para la aplicación del recubrimiento de pintura en polvo.  
Fuente: Mecánica Don Bosco

### 1.7.1.3 PANEL DE CONTROL

Desde el panel de control figura 1.4 se registran y regulan el caudal de aire, el voltaje según el tipo de equipo empleado así como la presión en el depósito de pintura para que esta sea proyectada a la superficie a ser pintada de una manera adecuada.



Fig.1.4 Panel de control, máquina para pintura electrostática  
Fuente: Mecánica Don Bosco

### 1.7.2 CABINA PARA LA APLICACIÓN DE PINTURA EN POLVO

Es en la cual se procede a colgar los elementos a ser pintados, la misma que requiere de varios parámetros para su buen funcionamiento, sea esta para un proceso manual o automático ver figura 1.5, estos parámetros son:

- Menor número de rincones, ángulos, ranuras etc. para facilitar su limpieza.
- Buena iluminación para poder observar bien el contorno de las piezas.
- Conexión a tierra para evitar acumulación de electricidad estática.
- Limpieza de elementos de sujeción para colocar las piezas.
- Sistemas de aspiración para reciclar las partículas de pintura suspendidas durante el proceso de pintado.



Fig. 1.5 Cabina para la aplicación de pintura en polvo.  
Fuente: Mecánica Don Bosco

### 1.7.3 HORNO DE POLIMERIZADO

Los hornos de curado o polimerizado figura 1.6, influyen de gran manera en el acabado de las piezas pintadas por tal motivo deben cumplir con parámetros de funcionamiento como:

- Sistema de combustión o generador de calor
- Sistema de control de temperatura.
- Sistema de recirculación de aire caliente si es requerido.
- Sistema de extracción de gases de combustión.



Fig.1.6 Horno por convección a gas para polimerizado de productos  
Fuente: Mecánica Don Bosco

Adicionalmente a los elementos empleados y equipo para la aplicación de los recubrimientos en de pintura polvo, se suman varios factores que influyen a lo largo del proceso para obtener un producto de alta calidad, siendo los principales los que se describen a continuación.

- Sistema de secado del aire empleado en el equipo de pintura.
- Sistema de compresión de aire.
- Calidad y tipo de recubrimiento de pintura a usar.
- Condiciones de operación y aplicación.
- Buena limpieza del equipo en los cambios de color.
- Pretratamiento de la superficie a ser pintada.
- Secado y enfriado los productos pintados.

## **1.8 PRINCIPIO DE APLICACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS EN POLVO**

El principio de aplicación de los recubrimientos de pintura en polvo por proceso electrostático se fundamenta en la rama de la física llamada electrostática, la cual estudia los fenómenos producidos por las distribuciones de las cargas eléctricas, basados en este fenómeno se procede a cargar eléctricamente las partículas de pintura en polvo para depositarlas en la superficie de metal que se desea pintar, este al estar conectado a tierra actúa como un polo positivo el cual atrae las partículas de pintura cargadas negativamente, permaneciendo estas adheridas a la superficie del metal por la atracción que se ejercen las cargas opuestas.

Existen dos sistemas principales que proporcionan la carga eléctrica a las partículas de los recubrimientos de pintura en polvo siendo estos.

- Sistema Corona
- Sistema Triboeléctrico

### **1.8.1 SISTEMA CORONA**

Este sistema es el más empleado en la industria por su gran versatilidad y la aceptación de todo tipo de pintura, utiliza una fuente o generador de alta tensión conectado a un electrodo de descarga, el cual genera un intenso campo eléctrico de polaridad negativa entre la pistola y el objeto a recubrir, situado a 20 ó 25 cm frente a ella, y que previamente habrá sido pre-tratada y conectado a tierra, (potencial cero) constituyendo el polo positivo.

Las partículas de polvo proyectadas, cruzan la zona ionizada durante su trayecto hacia la pieza, adquiriendo un nivel de carga, el cual dependerá del tiempo de permanencia de la partícula en la zona de ionización y guiadas por las líneas de fuerza del campo electrostático generado.

Una de las principales características que supone la trayectoria de la partícula a través de las líneas de campo es el fenómeno de efecto envolvente sobre las piezas,

normalmente se utilizan valores de tensión entre 40 y 80 kv, pudiendo llegar hasta los 100 kv con amperajes máximos del orden de los 70 - 100 microamperios.

Aunque la polaridad del campo eléctrico generado sea negativa para la mayor parte de recubrimientos en polvo termoestables, la polaridad para los recubrimientos en polvo termoplásticos debe ser positiva.

En las figuras 1.7a y b, se aprecia la forma de distribución de las partículas de polvo cargadas electrostáticamente sobre la superficie a ser pintada, apreciándose su efecto envolvente. En la figura 1.6b se aprecia el fenómeno de “Jaula de Faraday” el cual impide el acceso de la pintura a lugares geoméricamente no uniformes.

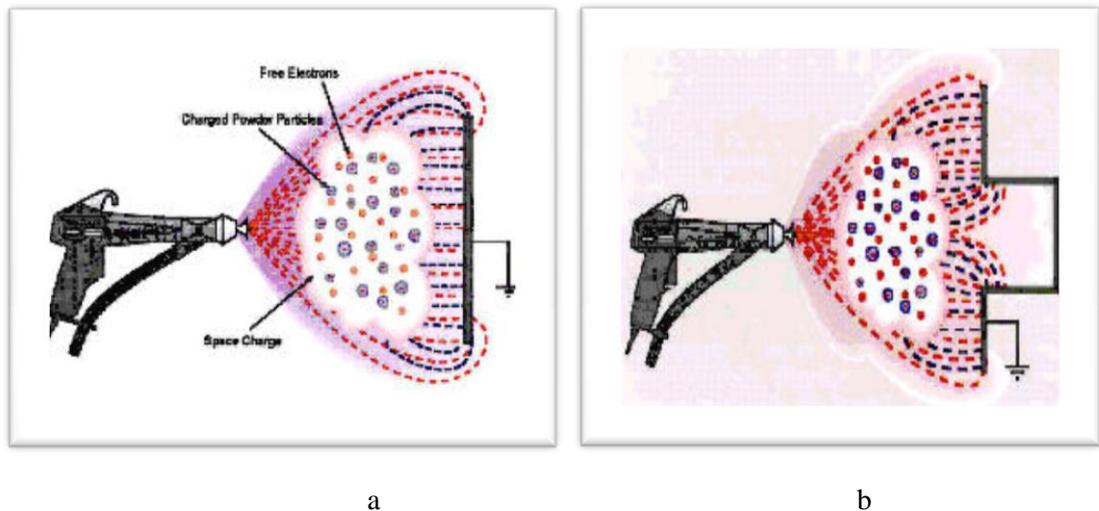


Fig. 1.7 Sistema corona para recubrimiento de pintura en polvo  
a) Efecto Envolvente, b) Fenómeno Jaula de Faraday.

Fuente: <http://perso.wanadoo.es/lavidaescolor/photo.htm>

## 1.8.2 SISTEMA TRIBO ELÉCTRICO

Este sistema está especialmente indicado para aquellas piezas de geometría irregular, en las que se dificulta el acceso del recubrimiento de pintura en polvo si se utiliza el sistema corona, debido a la presencia del llamado efecto "Jaula de Faraday".

En este sistema las partículas el polvo adquieren su carga debido a la fricción que ejercen las mismas con las paredes de los conductos internos de la pistola,

controlando la velocidad de la partícula por medio de la presión de aire en la pistola para que el contacto partícula - superficie interna sea lo más duradero posible.

Debido a las características de los materiales en rozamiento y a sus funciones de emisores o receptores de carga, la partícula de polvo adquiere una carga positiva, la ausencia de aire ionizado y consecuentemente de líneas de campo, permite obtener un excelente acceso, pero reduce considerablemente el efecto envolvente.

En la figura 1.8 se puede apreciar que las partículas de polvo cargadas positivamente, ingresan en los espacios en los cuales se produciría el fenómeno de “Jaula de Faraday” si se empleara el sistema corona, pero no tiene el efecto envolvente generado con el proceso corona.

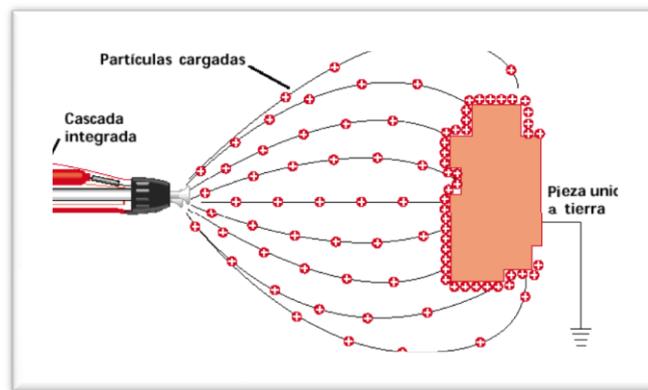


Fig. 1.8 Sistema tribo eléctrico para recubrimiento de pintura en polvo  
Fuente: <http://perso.wanadoo.es/lavidaescolor/photo.htm>

## 1.9 PRETRATAMIENTO DE LÁMINAS METÁLICAS

El pretratamiento de láminas metálicas es de suma importancia previo a la aplicación de cualquier recubrimiento de pintura sea esta líquida o en polvo, ya que este proceso tiene la función de limpiar las impurezas de su superficies para que dicha superficie sea buena receptora del recubrimiento a ser aplicado.

Además este proceso tiene la función de promover la adherencia entre los recubrimiento y la superficie metálica, ya que es preferible tener una superficie bien

tratada en combinación con una pintura aceptable, que una superficie con mal tratamiento aplicada la mejor pintura del mundo, pues esta se desprenderá, por tal motivo se desarrollaron diferentes procesos de limpieza los cuales preparan la superficie para que esta sea optima según el trabajo a desempeñar.

## **1.10 PROCESOS DE PRETRATAMIENTOS DE LÁMINAS METÁLICAS**

Para preparar la superficie de los elementos metálicos que llevan recubrimiento de pintura en polvo se han desarrollado varios procesos, los cuales están estrechamente relacionados con los siguientes factores.

- Materia prima a procesar.
- Grado de limpieza superficial que se desea obtener.
- Forma y dimensiones de los productos a ser procesados.
- Cantidad de productos a ser procesados en un periodo de tiempo.
- Costo de implementación y desarrollo antes y después del proceso.

Considerando los factores mencionados anteriormente se han desarrollado los siguientes procesos de limpieza.

- Proceso de aspersión
- Proceso de inmersión
- Proceso de ultrasonido
- Proceso de electrolisis
- Proceso de acción mecánica

### **1.10.1 PROCESO DE ASPERSIÓN.**

El proceso de aspersión es empleado en grandes y exigentes líneas continuas y automatizadas de limpieza figura 1.9, para productos con superficies lisas con formas y dimensiones preestablecidas, lo cual facilita el calibrado del equipo y concentración de químicos. Los productos a ser limpiados se cuelgan e ingresan a una cabina tipo túnel en la cual estos químicos se aplican en el interior a presión

sobre los productos a ser limpiados una vez realizado este proceso salen los productos por el otro extremo de la cabina, los productos que se limpian con más frecuencia son láminas planas sin áreas de difícil acceso ya que esto facilita su limpieza en serie.



Fig. 1.9 Túnel de aspersión para limpieza de bandejas  
Fuente: <http://www.prelectronic.com/paint.html>

### **1.10.2 PROCESO DE INMERSIÓN.**

El proceso de inmersión es empleado en líneas de menores exigencias de limpieza y en productos de forma diversa figura 1.10, los cuales se sumergen en cubas que contienen químicos para su limpieza llegando estos a toda la superficie del producto, permaneciendo sumergidos estos un periodo de tiempo determinado y con su posterior proceso de fosfatado, enjuague y secado quedan aptos para la aplicación de los recubrimientos en polvo, para su implementación no se requiere de grandes recursos económicos.

Este proceso es empleado en la limpieza en bandejas, parantes, ángulos, tubos, estructuras y piezas de forma, que puedan ingresa en las tinas de lavado según las dimensiones de esta.

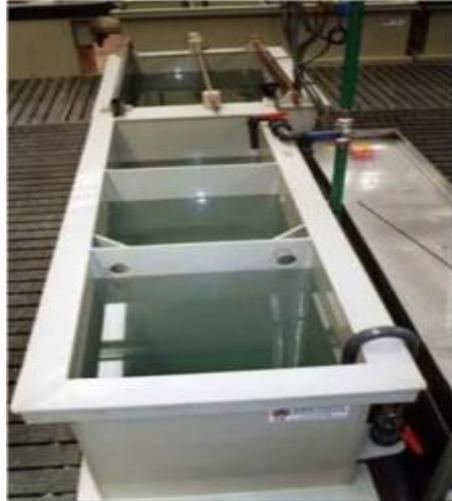


Fig. 1.10 Tina para limpieza por inmersión  
Fuente: [http://www.genq.mx/?attachment\\_id=43](http://www.genq.mx/?attachment_id=43)

### 1.10.3 PROCESO DE ULTRASONIDO.

El proceso de ultrasonido es empleado en productos con altas exigencias de limpieza figura 1.11, utiliza ultrasonido generalmente entre 15 y 400 KHz con una solución desengrasante que depende del producto a ser limpiado, su funcionamiento se basa en la cavitación siendo eficiente en geometrías complejas, se recomienda por su máxima eficacia con mínimo impacto, rápido desengrase, completa des carbonización y máxima calidad de acabado en equipos deportivos, de impresión, marinos, médicos, farmacéuticos, de galvanoplastia, joyería, electrónica y automovilísticos, los equipos empleados para este proceso son generalmente elementos pequeños y su costo es muy elevado.



Fig. 1.11 Equipos de limpieza por ultrasonido  
Fuente: <http://www.ultrasonidosatu.com/Serie%20E.htm>

#### **1.10.4 PROCESO DE ELECTROLISIS.**

El proceso de electrolisis figura 1.12 es empleado en productos con alta exigencia de limpieza donde la energía eléctrica cambia a energía química, liberando de escamas, oxido, pintura y materiales extraños.

Los productos son sumergidos en una solución acuosa de sales disueltas, esta solución da la posibilidad que los iones de estos productos se transfirieran entre dos electrodos, cátodo y ánodo y por medio de esta trasferencia quede limpia su superficie.



Fig. 1.12 Cuba de limpieza para proceso electrolítico

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/ransohoff/cubas-de-limpieza-por-ultrasonidos-22615-52155.html>

#### **1.10.5 PROCESO DE ACCIÓN MECÁNICA.**

El proceso de acción mecánica figura 1.13, es empleado por su gran eficacia para remover carbonos, virutas e impurezas que los otros procesos no las remueven, este proceso requiere un alto esfuerzo y los elementos empleados como cepillos, gratas, elementos de fricción, etc. son de alto consumo al realizar la limpieza además de los costos de los equipos y productos químicos empelados, ya que su operación puede ser manual o automática dependiendo esto de la superficie a ser limpiada, siendo el proceso manual el más empleado.

Empleando este proceso se corre el riesgo de una limpieza deficiente y sin un buen acabado superficial con lo cual se disminuye el buen desempeño del recubrimiento de pintura en polvo.



Fig. 1.13 Elementos empleados en el proceso de limpieza por acción mecánica.  
Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/3m-manufacturing-and-industry-abrasives/discos-abrasivos-para-aleacion-de-acero-inoxidable-titano-17948-39905.html>

## CAPITULO II

### PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRETRATAMIENTO DE LÁMINAS METÁLICAS

En el presente capítulo se define las características de la materia prima, cantidad de productos procesados en la Obra Mecánica Don Bosco, así como el tiempo empleado en la limpieza de los mismos para en lo posterior seleccionar el proceso de limpieza más adecuado, sus diferentes etapas, los insumos, elementos y equipos requeridos para el proceso seleccionado.

#### 2.1 MATERIA PRIMA A SER PROCESADA

Los productos procesados en la Obra Mecánica Don Bosco emplean el acero en lámina Cold – Roller equivalente al acero laminado en frío en espesores de 0.70, 0.75, 0.9, 1.1, 1.4 y 1.9 mm, siendo esta el primer parámetro a considerar para el diseño del proceso de limpieza, estas láminas de acero presentan en su superficie una cantidad de aceite remanente entre 100 – 300 mg/m<sup>2</sup> y residuos de laminación entre 50 – 200 mg Fe/m<sup>2</sup> descritos en la tabla 2.1, estas impurezas son las que se desean eliminar de la superficie metálica para que sea buena receptora de los recubrimientos de pintura en polvo a emplear, siendo estas láminas empleadas en la fabricación de estanterías, góndolas y muebles en general, figura 2.1.

Material	Aceite Remanente mg/m <sup>2</sup>	Residuos de laminación mg Fe/m <sup>2</sup>
Acero Cold - Rolled	100 - 300	50 - 200
Material para embutido profundo	100 - 200	50 - 150
Lámina aceitada contra la corrosión	Más de 2000 mg / m <sup>2</sup>	
Galvanizado electrolítico	Máximo 12 mg aceite/ m <sup>2</sup>	
Niquelado electrolítico	Máximo 10 mg aceite/ m <sup>2</sup>	

Tabla 2.1 Impurezas en las superficie de láminas metálicas

Fuente: Procesos de pretratamiento previo a pintura, Darío Aguilera Castro, Metalquímica Galvano



Fig. 2.1 Láminas de tool provenientes de fábrica  
Fuente: Mecánica Don Bosco

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS PROCESADOS

Las características de forma y dimensión de los productos a procesarse figura 2.2, es el segundo parámetro, ya que estas características proporcionarían las dimensiones de los productos para realizar el diseño de los elementos requeridos para la limpieza y su sistema de transportación, para en lo posterior seleccionar el equipo de secado que permita concluir con el proceso de limpieza obteniendo la superficie deseada.

La necesidad de procesar productos diferentes con variaciones en forma, tamaño y cantidad indica que, no se puede disponer de una línea continua de pretratamiento de láminas, es decir de un proceso automatizado, ya que se estaría restringiendo el proceso de limpieza para productos específicos en forma y dimensión, por tal motivo se ha determinado las dimensiones de los productos que generalmente se procesarían en la Obra mecánica Don Bosco, siendo estos.

- Estanterías metálicas figura 2.3 y 2.4 para bodegaje de productos livianos y pesados fabricadas en tool de 0.70, 0.75, 1.10, 1.90, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 (mm) de espesor, de varios formatos según requerimientos de los clientes.  
Largo bandejas 0.80, 0.90, 1.00 1.13 (m)  
Ancho bandejas 0.30, 0.40, 0.52, 0.60 (m), figura 2.2.

Alto de parantes, estanterías para carga liviana 1.80, 1.90, 2.0, 2.10, 2.20, y 2.40 (m). Alto de parantes, estanterías para carga pesada 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, hasta 12 (m), figura 2.2



Fig. 2.2 Bandejas y parantes de tool previo al pretratamiento superficial de desengrase y fosfatado  
Fuente: Mecánica Don Bosco



Fig. 2.3 Estanterías metálicas para carga liviana con recubrimiento de pintura en polvo  
Fuente: Mecánica Don Bosco



Fig. 2.4 Estanterías metálicas para carga pesada con recubrimiento de pintura en polvo  
Fuente: Mecánica Don Bosco

- Góndolas metálicas figura 2.5, para exhibir productos en supermercados y locales comerciales, fabricadas en tool de 0.70, 0.75, 1.10 y 1.90 (mm) de espesor con tubería circular y rectangular de varias medidas y varios formatos según requerimientos de clientes.

Largo bandejas 0.80, 0.90, 1.00 (m)

Ancho bandejas móviles 0.30, 0.40 (m) y Ancho bandeja base 0.40, 0.52 (m)

Alto de parantes 1.65, 1.80, 1.90, 2.0, 2.10, 2.20, 2.40 (m)



Fig. 2.5 Góndolas metálicas para supermercados con recubrimiento de pintura en polvo  
Fuente: Mecánica Don Bosco

- Muebles figura 2.6, en tool de varios espesores 0.75, 0.9, 1.1, 1.4, 1.9 (mm) y varios formatos según requerimientos de clientes.

Alto 1.70, 1.80, 1.90, 2.00 (m)

Ancho 0.40, 0.77, 1.15 (m)

Fondo 0.45, 0.55 (m)



Fig. 2.6 Guarda ropas y muebles de oficina con recubrimiento de pintura en polvo  
Fuente: Mecánica Don Bosco

- Sillas en tubo de sección circular, cuadrada o rectangular de 7/8", 3/4, 1" con dimensiones generales de (0.80 x 0.50) m, o bajo pedido de clientes.
- Pupitres y mesas figura 2.7 de sección circular, cuadrada o rectangular de 7/8", 3/4, 1", 1 1/2" y 2" con dimensiones generales de (0.750 x 0.50 x 0.50) m, o bajo pedido de clientes.



Fig. 2.7 Sillas y pupitres con recubrimiento de pintura en polvo  
Fuente: Mecánica Don Bosco

### 2.3 CANTIDAD DE PRODUCTOS A SER PROCESADOS

La cantidad de productos procesados en el año 2011 es el tercer parámetro que se analizará para determinar el proceso más adecuado de limpieza de los productos tabla 2.2 y 2.3, en la actualidad la cantidad de producción está determinada por los pedidos solicitados directamente por el cliente a la obra de mecánica, sea por medio de teléfono, fax o correo electrónico, sin que exista un departamento de ventas que este direccionado a la búsqueda de pedidos y nuevos clientes, con la implementación del proceso de limpieza por inmersión se busca el incremento de producción y la creación de un departamento de ventas que este destinado netamente a la búsqueda de nuevos clientes e incremento de pedidos de los clientes conocidos actualmente.

Se considera como referencia para la selección del proceso de limpieza la cantidad de estanterías y góndolas de pared y centrales producidos en el año 2011 ya que estos productos como se indico han mantienen una línea constante de producción durante el periodo mencionado, pues estos son los de mayor demanda y rotación, “existe para estos productos un incremento promedio anual de producción del 16.66% en los últimos 3 años”<sup>11</sup>.

La cantidad producida en el año 2011 de muebles, sillas, mesas, productos varios, etc., no se encuentran registrados en la Obra Mecánica Don Bosco, ya que estos están en función de requerimientos específicos y esporádicos dependiendo de las necesidades de los clientes.

<b>Producto</b>	<b>Promedio de producción mensual</b>	<b>Meses producidos</b>	<b>Total producido año 2011</b>	<b>Proyección de año 2012 Incremento (16.66%)</b>
Estanterías	250	12	<b>3000</b>	<b>3498</b>
Góndolas de pared	20	12	<b>240</b>	<b>279.84</b>
Góndolas centrales	10	12	<b>120</b>	<b>139.92</b>

Tabla 2.2 Producción promedio del año 2011 y estimación para el año 2012 de estanterías, góndolas de pared y góndolas centrales  
Fuente: Mecánica Don Bosco.

<sup>11</sup>Mecánica Don Bosco

<b>Cantidad de estanterías producidas en el 2011</b>	<b>Elementos que componen la estantería</b>	<b>Cantidad de elementos</b>	<b>Total Año 2011</b>	<b>Estimación año 2012 Incremento 16.66%</b>
3000 (und)	Bandejas	6	18000	20988
	Refuerzos	6	18000	20988
	Parantes	4	12000	13992
	Esquineros	16	48000	55968
<b>Cantidad de góndolas de pared producidas en el 2011</b>	<b>Elementos que componen la góndola de pared</b>	<b>Cantidad de elementos</b>	<b>Total Año 2011</b>	<b>Estimación año 2012 Incremento 16.66%</b>
240	Bandejas móviles	4	960	1113.6
	Bandejas verticales	4	960	1113.6
	Bases	1	240	278.4
<b>Cantidad de góndolas centrales producidas en el 2011</b>	<b>Elementos que componen la góndola central</b>	<b>Cantidad de elementos</b>	<b>Total Año 2011</b>	<b>Estimación año 2012 Incremento 16.66%</b>
120	Bandejas móviles	8	960	1113.6
	Bandejas verticales	8	960	1113.6
	Bases	2	240	278.4

Tabla 2.3 Producción promedio del año 2011 y estimación para el año 2012 de elementos de estanterías y góndolas  
Fuente: Mecánica Don Bosco

## 2.4 TIEMPO EMPLEADO EN LA LIMPIEZA DE PRODUCTOS

El tiempo empleado en la limpieza de los productos es el cuarto parámetro que se analizará para determinar el proceso más adecuado de limpieza, este tiempo en la actualidad está en función de la habilidad, destreza y rapidez del personal que realiza éste proceso, así como también del medio ambiente que lo rodea, ya que en días con climas fríos la limpieza de estos productos se torna difícil y retardada por el apelmazamiento del aceite remanente que la lámina contiene, debiendo calentarse dicha lámina de tool por medio de mecheros a gas para ablandar esta grasa.

En las tablas 2.4, 2.5, 2.6 se determina el tiempo requerido en la limpieza de bandejas y parantes empleados en estanterías y góndolas metálicas, siendo estos los

productos de mayor cantidad a procesar en la Obra Mecánica Don Bosco, el tiempo presentado en las tablas es el tiempo real de limpieza tomada durante la ejecución de éste empleando una persona en cada producto.

<b>Componentes por Estantería</b>	<b>Cantidad (und.)</b>	<b>Tiempo de limpieza empleando una persona (min.)</b>	<b>Total (min)</b>
Bandejas	6	2.5	15
Refuerzos	6	1	6
Parantes	4	2	8
Esquineros	16	0.03125	0.5
<b>TOTAL</b>			<b>29.5</b>

Tabla 2.4 Tiempo empleado en la limpieza de una estantería  
Fuente: Mecánica Don Bosco

<b>Componentes Góndola de pared</b>	<b>Cantidad (und)</b>	<b>Tiempo de limpieza empleando una persona (min.)</b>	<b>Total (min)</b>
Bandejas móviles	4	3	12
Bandejas verticales	4	2	8
Parantes	2	3	6
Base	1	2.5	2.5
<b>TOTAL</b>			<b>28.5</b>

Tabla 2.5 Tiempo empleado en la limpieza de góndola de pared  
Fuente: Mecánica Don Bosco

<b>Componentes Góndola central</b>	<b>Cantidad (und.)</b>	<b>Tiempo de limpieza empleando una persona (min.)</b>	<b>Total (min)</b>
Bandejas móviles	8	3	24
Bandejas verticales	8	2	16
Parantes	2	3	6
Base	2	2.5	5
<b>TOTAL</b>			<b>51</b>

Tabla 2.6 Tiempo empleado en la limpieza de góndola central  
Fuente: Mecánica Don Bosco

<b>Producto</b>	<b>Producción total año 2011</b>	<b>Tiempo empleado en limpieza por unidad (min)</b>	<b>Tiempo total empleado en limpieza año 2011 (min)</b>	<b>Tiempo total empleado en limpieza año 2011 (horas)</b>	<b>Tiempo total empleado en limpieza año 2012 (días)</b>
Estanterías	3000	29.5	88500	1475	184.375
Góndola pared	240	28.5	6840	114	14.25
Góndola central	120	51	6120	102	12.75
<b>Total</b>	<b>3360</b>	<b>109</b>	<b>101460</b>	<b>1691</b>	<b>211.375</b>

Tabla 2.7 Tiempo total empleado en la limpieza de estanterías y góndolas año 2011 y estimado para el año 2012

Fuente: Mecánica Don Bosco

Como señala la tabla 2.7 el tiempo total empleado en el año para la limpieza de los productos es de 211.4 días de 8 horas diarias con una persona, esto equivale a 10.57 meses, debiendo emplearse 4 personas para que este tiempo disminuya a 2.64 meses, y se logre cubrir el requerimiento de limpieza para los productos procesados anualmente, es de suma importancia considerar el incremento en la producción que se ha tenido en los últimos tres años en la Obra Mecánica Don Bosco, siendo en promedio este incremento de 16.66% como se menciono anteriormente, con lo cual se puede proyectar la cantidad de productos a procesarse en periodo similar.

## 2.5 SELECCION DEL PROCESO DE LIMPIZA

Determinados y analizados los parámetros como, materia prima, características, cantidades y tiempos empleados en la limpieza de los productos procesados en la Obra Mecánica Don Bosco, se comparará los procesos que se disponen para realizar la limpieza superficial y los que se adapten de mejor manera a estos, considerando como requerimientos principales los que se detallan a continuación.

- Exigencia de limpieza
- Producción en un período de tiempo
- Facilidad de adquisición de insumos
- Capacidad de procesar formas y tamaños diversos
- Capacidad de suspender el proceso
- Costo de implementación

Mencionados estos requerimientos se realizará el análisis y valoración de cada uno de ellos, para llegar a determinar el proceso más adecuado de limpieza que cubra la exigencia requerida para los productos fabricados.

Para poder cuantificar e identificar el grado de importancia de los parámetros mencionados anteriormente y según el proceso analizado, se han dado valores numéricos a estos, para con ello poder determinar y cuantificar su importancia.

Con este valor numérico se realizará una sumatoria la cual dará como resultado un valor que indicará el proceso más conveniente según los requerimientos analizados tabla 2.8, siendo este el proceso de mayor incidencia el desarrollado como tema central de esta tesis.

CARACTERISTICA	EXIGENCIA DE LIMPIEZA			COSTO IMPLEMENTACION			PRODUCCION EN UN PERIODO DE TIEMPO			FACILIDAD DE ADQUISICON DE INSUMOS			CAPACIDAD DE PROCESAR FORMAS Y TAMAÑOS DIVERSOS			CAPACIDAD DE SUSPENDER EL PROCESO			Total
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
ASPERSIÓN	3			3			3					1			1		2		13
INMERSIÓN	3				2		3			3			3			3			17
ULTRASONIDO	3			3					1			1			1			1	10
ELECTROLISIS	3			3					1			1			1			1	10
MECÁNICA			1		2					1			2				2		10

Alto = 3, Medio = 2, Bajo = 1

Tabla 2.8 Parámetros para selección de procesos  
Realizado. Miguel Angel Merchán

Una vez comparados los procesos de limpieza de láminas metálicas basados en la tabla 2.8, se determina que el proceso de **INMERSIÓN** es el más adecuado para los productos procesados en la Obra Mecánica Don Bosco por las siguientes características.

- El costo de la infraestructura para la implementación de este proceso de limpieza es inferior a los procesos automatizados por aspersion, químicos, eléctricos y mecánicos, los cuales requieren de equipos con alta tecnología,
- Permite la limpieza eficiente a bajo costo de láminas de tool laminadas en frío, procesadas en la Obra Mecánica Don Bosco
- Capacidad de procesar formas, tamaños y cantidades diversas de productos con la opción de interrumpir el proceso, sin que esto perjudique el tratamiento de limpieza de los productos.
- Facilidad de adquisición de insumos empleados en el proceso, ya que en el medio industrial de nuestro país la gran mayoría de empresas realizan el proceso de pretratamiento de los productos por inmersión.
- Respaldo técnico por parte de proveedores de productos e insumos requeridos para la limpieza.
- Los desechos producidos por el proceso se los recolecta de una manera eficiente por medio de una empresa denominada gestor ambiental (Metalquímica Galvano) que realizan la descomposición de los mismos en plantas de tratamiento de aguas, contribuyendo de esta manera a mantener un medio ambiente sin contaminación.
- Se puede realizar el pretratamiento de los productos por tandas de carga, si que se requiera de una cantidad mínima para ponerlo en ejecución como en una línea continua de producción.

## **2.6 PROCESO DE LIMPIEZA POR INMERSIÓN**

En la figura 2.8 se muestra el proceso de inmersión completo con sus diferentes etapas para la limpieza de láminas metálicas, siendo este proceso el ideal para productos de alta exigencia de limpieza y de formas diversas como son por ejemplo las carrocerías de automóviles etc., siendo sus etapas las siguientes.

- Desengrase
- Enjuague
- Refinado
- Fosfatado
- Enjuague
- Pasivado

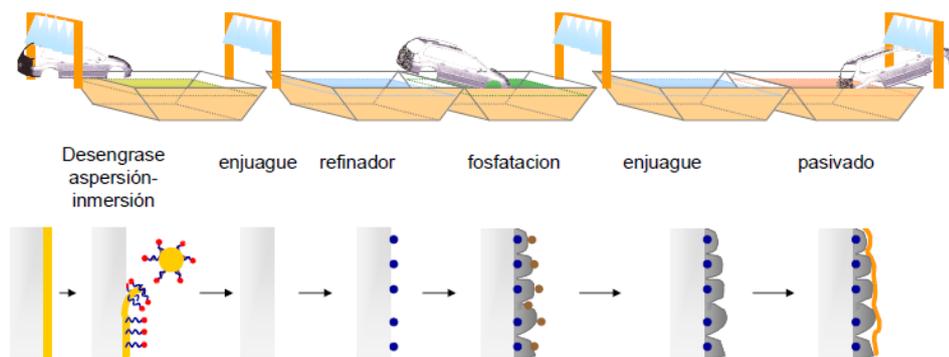


Fig. 2.8 Proceso completo de tratamiento de superficies por inmersión  
Fuente: Procesos de pretratamiento previo a pintura, Darío Aguilera Castro, Metalquímica Galvano

En la Obra Mecánica Don Bosco no se requiere de un proceso de limpieza por inmersión tan exigente como el mencionado, logrando eliminar algunas etapas como el refinado y pasivado, que son procesos que mejoran considerablemente la resistencia a la corrosión y la adherencia de los recubrimientos de pintura colocados sobre la superficie metálica, a la vez al eliminarse estas dos etapas se reduce los costos finales en la implementación del proceso, definiéndose las siguientes etapas como las requeridas y recomendadas a emplearen el proceso de inmersión para los productos procesados en la Obra Mecánica Don Bosco.

- Desengrase
- Enjuague
- Fosfatado
- Enjuague

## 2.6.1 DESENGRASE

Por medio del proceso de desengrase se realiza un barrido de las impurezas de la superficie metálica con el objetivo de eliminar:

- Los productos de protección superficial, utilizados en el almacenamiento.
- Los contaminantes orgánicos, minerales, líquidos, sólidos causados por el almacenamiento.
- Los contaminantes aportados por las operaciones previas de formado y conformado, lubricantes, aceites y grasas, etc.

Existen una gama amplia de desengrasantes o limpiadores tabla 2.9, su empleo puede ser en frío o caliente y está en función de las características del producto a limpiarse.

<b>TIPOS DE DESENGRASANTES</b>	<b>APLICACIONES</b>
<b>ORGANICOS</b> Hidrocarburos - Hidrocarburos Clorados y Florados, Emulsionantes	Se usan generalmente puros y como pre-desengrase para eliminar el aceite y grasas gruesas, se aplica por trapeado, rocío, inmersión con o sin unidades de agitación o en equipos desengrasantes por vapor.
<b>ACUOSO DISOLVENTES EN AGUA</b> Ácidos Alcalinos	<b>Ácidos:</b> Utiliza generalmente el ácido fosfórico previo a la pintura y, para eliminar escamas de tratamientos térmicos, de soldaduras, óxidos, productos de corrosión y manchas de humedad. <b>Alcalinos:</b> Combinan sales para eliminar aceite e impurezas de las superficies metálicas, recomendado para procesos de limpieza de láminas metálicas por inmersión, siendo el más utilizado, anexo 3.

Tabla 2.9 Tipos y aplicación de los desengrasantes  
Realizado: Miguel Angel Merchán

Una vez analizados los tipos de desengrasantes existentes se define que el **DESENGRASANTE ALCALINO** es el más apropiado para los procesos de limpieza por inmersión seleccionado.

### 2.6.1.1 DESENGRASANTE ALCALINO

Los desengrasantes alcalinos combinan diversas sales alcalinas tales como hidróxido de sodio, metasilicato, ortosilicato o trisilicato de sodio, carbonato de sodio, tetraborato de sodio, fosfato trisodico, pirofosfato tetrasodico o polifosfatos de sodio, junto con productos coloidales como jabones y agentes tensoactivos,

A diferencia de los solventes que disuelven los aceites, los detergentes alcalinos los desplazan y suspenden o los emulsifican en la solución, también reaccionan con los aceites formando jabones solubles. Los detergentes alcalinos son usados para eliminar aceites y el polvo que se adhiere a la superficie. No deben emplearse soluciones fuertemente alcalinas sobre aluminio o zinc, en estos casos deben emplearse desengrasantes especialmente inhibidos que eviten el ataque al metal.

A continuación compara entre tres productos desengrasantes alcalinos similares que en el mercado existen según los requerimientos del proceso, para con ello determinar el más adecuado para su empleo cuantificándolos de acuerdo a los siguientes parámetros.

CARACTERISTICA	RESPALDO TECNICO			EFICIENCIA			COSTO			TOTAL
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
PRODUCTO										
F - 301		2			2			2		6
DETEOL AL			1		2			2		5
PARCO CLEANER 617	3			3				2		<b>8</b>

Alto = 3, Medio = 2, Bajo = 1

Tabla 2.10 Selección del desengrasante  
Realizado: Miguel Angel Merchán

Basados en el análisis de los productos de la tabla 2.10 se determina que el producto desengrasante más adecuado para emplearen el proceso de inmersión es el denominado **PARCO CLEANER 617**, anexo 3.

## 2.6.2 FOSFATADO

El fosfatado es el proceso en el cual se genera un cristal químicamente ligado a la superficie del metal el cual es insoluble en agua y muy adherente que actúa como un gancho entre la lámina metálica y los recubrimientos de pintura sean líquida o en polvo.

Los recubrimientos fosfatados son usados en piezas metálicas, principalmente de acero con los siguientes objetivos.

- Proporcionar una barrera física para prevenir la corrosión.
- Como base para recubrimientos posteriores de pintura.
- Mejorar la lubricación en procesos de conformado o embutición.

Existen una gama amplia de fosfatos y su empleo está en función de las características del producto a tratarse.

<b>TIPO DE FOSFATO</b>	<b>APLICACION INDUSTRIAL</b>
FOSFATO DE HIERRO	Previo a la pintura en talleres automotrices, piezas industriales, electrodomésticos y muebles metálicos,
FOSFATO DE CINC.	Líneas de deformación en frío de aceros planos y productos tubulares, trefilado de alambres y varillas.
FOSFATO DE CINC - CALCIO	Tratamiento previo al pintado industrial.
FOSFATO DE CINC - NIQUEL	Tratamiento previo al pintado de bobinas de acero
FOSFATO TRICACIONICO	Tratamiento previo en líneas de acero plano para automóvil, línea blanca.
FOSFATO DE MANGANESO	Como tratamiento antifricción en roscas y transmisiones

Tabla No 2.11 Tipos y aplicación industrial de fosfatos  
Realizado: Miguel Angel Merchán

Una vez analizados los tipos de fosfatos existentes se define que el **FOSFATO DE HIERRO** es el más apropiado para los procesos de limpieza por inmersión seleccionado en la tabla 2.11.

### 2.6.2.1 FOSFATO DE HIERRO

Están basados en una solución de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) y sales de fosfato de hierro que son aplicadas por aspersión o inmersión y que reaccionan químicamente con la superficie del metal, para formar una capa o película de cristales de fosfato no soluble la cual promueve la adherencia de la pintura y disminuye la oxidación, se lo puede utilizar con o sin pasivado posterior, ya que esta etapa de pasivado es necesario para el caso de piezas que serán almacenadas por largo tiempo antes de ser pintadas.

Basados en el desengrasante seleccionado es recomendable el empleo del fosfato de la misma casa comercial siendo este el fosfato de hierro **BONDERITE 1070** de marca **HENKEL**, anexo 3, ya que como se vio en la tabla 2.10, esta marca presenta mayor respaldo técnico en sus productos comercializados.

### 2.6.3 ENJUAGUE

Una de las operaciones más críticas en el proceso de inmersión es la limpieza por enjuague, donde este es un proceso de dilución de los productos empleados en la limpieza de las láminas metálicas, y su principal función es remover el exceso de productos restantes en la superficie dejados en procesos anterior como desengrase y fosfatado.

El enjuague se lo puede realizar de diferentes formas como, inmersión, cascada o aspersión, utilizando solamente agua al clima común y corriente, en algunas ocasiones se puede utilizar agua caliente, el enjuague tiene otros propósitos adicionales como:

- Prevenir la contaminación.
- Descargar de la superficie residuos sucios.
- Preservar la integridad química de los procesos.
- Remoción de partículas metálicas y mugre.

## 2.7 ELEMENTOS REQUERIDOS PARA EL PROCESO DE LIMPIEZA

Para realizar el proceso de limpieza por inmersión basados en los productos a limpiarse, se requiere de varios elementos y equipos los cuales deben cumplir con características técnicas específicas.

- Canasta de carga
- Tinas o cubas de inmersión
- Sistemas de transportación
- Horno de secado

### 2.7.1 CANASTA DE CARGA

Los productos a ser procesados deben ser inmersos en tinas figura 2.9, las cuales contienen sustancias para el proceso de limpieza definidas anteriormente, por tal motivo se requiere de un elemento el cual cumpla con la función de inmersión, se logra esto por medio de una canasta construida de perfiles metálicos en la cual se colocan los productos a ser limpiados, esta canasta cuelga de un sistema de transportación el cual tiene un equipo llamado polipasto que realiza la acción de subir y bajar la canasta, a la vez este equipo está colocado en una estructura la cual permite el desplazamiento de una tina a otra para que ingresen los productos en ellas y cumplan con todas etapas de limpieza.



Fig. 2.9 Canasta para proceso de inmersión

Fuente: Procesos de pretratamiento previo a pintura, Darío Aguilera Castro, Metalquímica

## 2.7.2 TINAS DE INMERSIÓN

Para realizar la inmersión de los productos a limpiar se requiere de tinas figura 2.10 que contengan agua en las cuales están disueltas las sustancias químicas como desengrasantes y fosfatos según la composición recomendada por los fabricantes de estos productos, anexo 3, como se indicó la cantidad de etapas empleadas depende de la característica y calidad final de limpieza superficial que se desea obtener en la lámina, requiriendo para el proceso de limpieza por inmersión definido anteriormente de 4 tinas siendo estas, tina para desengrase, enjuague, fosfatado y enjuague.

La tina de desengrase, fosfatado y enjuagues puede ser fabricada en laminas de acero inoxidable calidad, 304, 316 y laminas de hierro tipo A-36, recomendados estos materiales por los fabricantes de los productos químicos, anexo 3, si se emplea el acero A-36 al construir las tinas se recomienda que se recubra el interior de las tinas con una lámina de poliuretano, especialmente en la tina de fosfatación ya que este producto es sumamente corrosivo y al estar directamente en contacto con la lamina de hierro acero A-36 esta sería expuesta a su rápido deterioro, al realizar el recubrimiento recomendado se logra alargar la vida útil de las tinas de lavado.

Las tinas de desengrase y fosfatado requieren de una base o cama donde estas se apoyen para su posterior desplazamiento si fuera necesario, adicionalmente se requiere de un sistema para calentar las sustancias empleadas en las tinas de desengrase y fosfatado hasta su temperatura de trabajo, anexo 3.

La tina de enjuague también requiere de una base o cama no requiere de sistema de calentamiento, pero no requiere de sistema de calentamiento para el agua de enjuague logrando trabajar con agua a temperatura ambiente.

Cabe mencionar que para la buena ejecución del proceso y un incremento en la vida útil de las tinas se debe controlar el PH de los productos químicos que estas contienen, determinados los rangos adecuados de trabajo por el fabricante en las fichas técnicas de estos, anexo 3.



Fig. 2.10 Tina para proceso de limpieza por inmersión

Fuente: Procesos de pretratamiento previo a pintura, Darío Aguilera Castro, Metalquímica Galvano 200

### 2.7.3 SISTEMA DE TRANSPORTACIÓN

El transporte de los productos sometidos a un proceso de pretratamiento previo a la pintura electrostática es de suma importancia, ya que este debe ser fácil de operar y a la vez confiable en su ejecución, se emplean generalmente estructuras diseñadas especialmente para este fin desde su ejecución inicial, a su vez también se utilizan estructuras independientes que se adaptan a estructura existentes.

El sistema de transportación por medio de un pórtico y polipasto figura 2.11, se emplea generalmente en el proceso de inmersión el cual permite la producción por tandas, este sistema de transporte es maniobrado por un operario el cual coloca los productos en la canasta de carga, procede a levantar esta canasta por medio del polipasto y realizar movimientos verticales a lo largo de las tinas siguiendo la secuencia del proceso de limpieza por inmersión.

Una vez concluido el proceso se descarga la canasta y se procede a colocar los productos en un coche para introducirlos en el horno de secado siendo este el último paso para obtener las características superficiales requerida en los productos procesados en la Obra Mecánica Don Bosco



Fig. 2.11 Sistema de transportación por tren aéreo y polipasto  
Fuente: Empresa Galvanorte

Los elementos principales del puente grúa requerido son:

- Viga puente
- Vigas longitudinales
- Vigas columnas
- Placas base
- Testeros
- Polipasto
- Sistema de izaje
- Sistema de electrificación y control

## **2.7.4 HORNO DE POLIMERIZADO Y SECADO**

El principio de funcionamiento de los hornos es la transferencia de calor hacia el producto colocado en el interior de este, por el principio térmico de conducción, convección o radiación, de las tres formas de transmisión de calor mencionadas las de mayor ventaja práctica son las de convección y radiación utilizándolas independientes o en ocasiones juntas, según los requerimientos de los productos.

El horno empleado en la polimerización de la pintura o secado dentro de un proceso se lo determina de acuerdo a la característica y cantidad de los productos que se polimerizan o secan, siendo requisito indispensable controlar la temperatura y tiempo de permanencia de estos dentro del horno, para así poder mantener los parámetros y requisitos de cada recubrimiento aplicado.

Como se mencionó los hornos se caracterizan por el tipo de energía que emplean para su funcionamiento, siendo los principales empleados para el polimerizado y secado los siguientes tipos de hornos.

- Horno por convección
- Hornos por radiación

### **2.7.4.1 HORNOS DE CONVECCIÓN**

Estos hornos consiguen llegar a la temperatura de polimerizado o secado a través del calentamiento del aire dentro de un compartimiento, donde se colocan los productos, siendo el aire el vehículo para el transporte de calor.

Para lograr el calentamiento del aire se utilizan tanto resistencia eléctrica como quemadores de gas, y si se requiere sistemas con recirculación de aire para generar la convección forzada del calor, a su vez estos hornos se pueden utilizar en forma estática (trabajo por tandas o lotes) o en forma continua (línea continua de producción).

- **Horno Eléctrico por Convección**

Conocidos como hornos electro – térmicos figura 2.12, en el que se genera el calor al pasar corriente eléctrica por un elemento resistivo que rodea el interior del horno, estos hornos son sumamente útiles en aplicaciones donde se requiera un control exigente de la temperatura.

Existen diferentes resistencias según las aplicaciones y productos a secarse, donde la ubicación de estas resistencias dentro del horno cumple un papel muy importante para que se genere y transfiera un calor uniforme al producto colocado en su interior.



Fig. 2.12 Horno eléctrico por convección

Fuente: <http://www.archiexpo.es/prod/inoksan/hornos-electricos-de-conveccion-para-uso-profesional-58901-142292.html>

- **Horno a Gas por Convección**

Los hornos a gas por convección figura 2.13 son muy similares a los de resistencia eléctrica, la diferencia es la fuente de la energía calorífica que se va a transferir a los productos que se desean polimerizar o secar, en estos hornos el elemento que genera esta energía calorífica se llama quemador el cual genera una combustión entre el gas y el oxígeno del aire circundante, generada esta combustión en una pre-cámara el calor producido por la llama calienta el aire que se encuentra en esta transfiriéndose este aire caliente al interior del horno, para en lo posterior transmitir este calor a los productos que se introducirán o que se encuentran en su interior.



Fig. 2.13 Horno a gas por convección

Fuente: <http://www.mecahor.com/galeria/Photos/show/hornos-de-coccion-y-estufas-de-secado-105/horno-estatico-para-polimerizado-de-perfiles-210>

#### **2.7.4.2 HORNOS DE RADIACIÓN INFRARROJA**

La calefacción infrarroja es un proceso convectivo el cual consiste en la transferencia de energía térmica desde una fuente a un material, esta energía es radiada en forma ondas electromagnéticas atravesando el aire hacia el cuerpo o recubrimiento, absorbiendo el aire circundante muy poca energía.

Este tipo de hornos ofrece ventajas importantes para determinados procesos industriales otorgándoles mayor efectividad por su rapidez y menor costo operacional que los sistemas de calentamiento por convección, siendo su campo de aplicación, procesos de polimerizado de pinturas en polvo y epóxicas, secado de agua sobre metales, solventes, tintas, adhesivos, calentamiento y deformación por termo formado, los hornos infrarrojos pueden ser eléctricos o a gas.

- **Horno de Radiación Infrarroja Eléctricos**

Los hornos infrarrojos eléctricos pueden disponer de pantallas radiantes conformadas por diversos tipos de calefactores: cerámicos, tubulares, o de cuarzo, los hornos infrarrojos eléctricos son por lo general de producción continua, debido a que las piezas deben estar en contacto directo con la radiación, situación que no es posible en los hornos de secado por tandas convencionales.

- **Horno de Radiación Infrarroja a Gas**

Los hornos infrarrojos a gas figura 2.14, cuentan con placas cerámicas multicanales en los que se produce la combustión del gas natural o licuado, al mezclarse este con el oxígeno del aire en la superficie de la placa o en un canal previo colocado en las paredes laterales de este trasmite este calor a los productos en su interior. Este tipo de horno infrarrojo se emplea con muy buenos resultados si se desea secar pintura metal, sobre, madera, plástico u otros, o simplemente se necesita secar algún material, ofreciendo mayores ventajas en cuanto a efectividad y velocidad de secado.

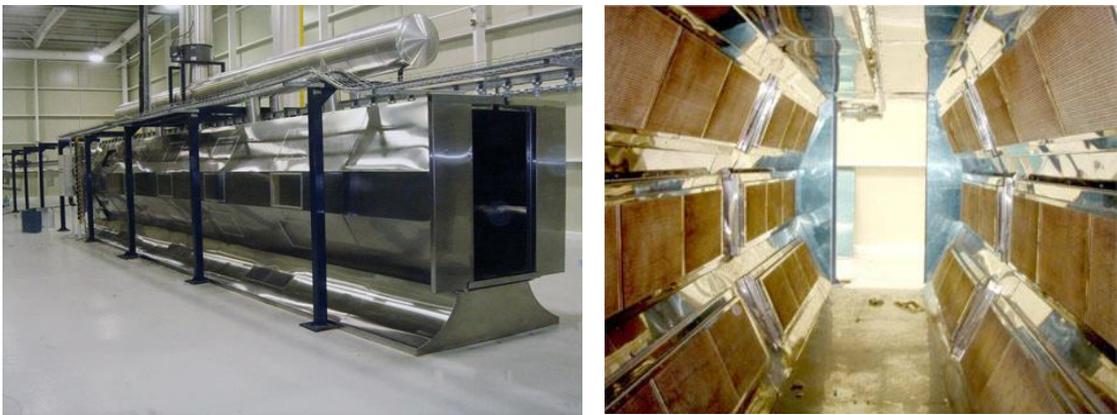


Fig. 2.14 Horno continuo por radiación infrarroja

Fuente: <http://hornosdeinfrarrojo.com/empresa-de-hornos-de-infrarrojo.html>

## **2.8 SELECCIÓN DEL HORNO DE SECADO**

Previo a la aplicación de los recubrimientos de pintura como se indicó se realiza un proceso de pretratamiento de láminas, para finalizar este proceso se requiere de un elemento el cual permita el secado de los productos, ya que estos al ser inmersas en soluciones químicas acuosas para su desengrase, fosfatado y posteriores enjuagues deja su superficie húmeda por el agua empelada en estos procesos de limpieza, siendo imposibles la aplicación de los recubrimientos sobre ella especialmente los recubrimientos en polvo.

La eliminación de la humedad de los productos se logra con un proceso manual de secado por paños siendo este proceso manual ineficiente, para lograr una superficie óptima se debe realizar el secado de los productos por medio de un horno de secado,

en él se debe controlar la temperatura y tiempo de permanencia de los productos dentro de este.

- La temperatura de secado ideal se encuentra entre los rangos de (100 – 110) °C, para productos que deben permanecer durante un tiempo prolongado en el interior del horno por tamaño, forma y dimensión con lo cual se logra el secado total de la superficie.
- La temperatura máxima de secado es de 125 °C requiriendo estas temperaturas por un lapso no mayor de 3 a 5 minutos, siendo esta temperatura no recomendada ya que se torna muy difícil el control de la temperatura vs. tiempo, llegando en ocasiones a dañar el proceso de fosfatado.

Estas temperaturas y tiempos sugeridos deben ser respetadas estrictamente, pues cuando se realiza el proceso de fosfatación en el pretratamiento de los productos, se forman cristales químicamente incrustados a la superficie de las láminas los cuales son de suma importancia para la adherencia de la pintura, estos cristales formados contienen entre 15.7% y 16% de agua de cristalización correspondiendo esto a 4 moles, estas 4 moles se transforman en 2 con el proceso de secado, disminuyendo de este modo el tamaño del cristal y tornándolo menos quebradizo, produciendo mejores resultados contra la corrosión y adherencia del recubrimiento de pintura y mejorando el tiempo de resistencia de la misma a los agentes ambientales.

El horno más adecuado para finalizar el proceso de limpieza por inmersión de los productos que en la Obra Mecánica Don Bosco es el **HORNO A GAS POR CONVECCION**, ya que permite un proceso de secado por tandas o por cargas de productos con un control apropiado de la temperatura en un periodo de tiempo, cabe mencionar que el horno de secado requerido y el coche para colocar los productos y transportarlos a su interior ya se dispone en la Obra Mecánica Don Bosco utilizando estos elementos en el proceso de polimerizado de pintura en polvo electrostática, lo que disminuye de esta manera el costo de implementación del proceso de limpieza por inmersión.

## CAPITULO III

### FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO, CÁLCULO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y EQUIPOS PARA EL PROCESO DE LIMPIEZA POR INMERSIÓN

En el presente capítulo se describe la información técnica requerida para el diseño y cálculos de elementos así como para la selección de los equipos empleados en el proceso de limpieza por inmersión, se inicia realizando un resumen de la teoría del acero y en lo posterior definir el método empleado para el cálculo de los elementos, se continua con la teoría requerida para el diseño de los elementos necesarios para el proceso de limpieza por inmersión, finalmente se determinar el quipo para el calentamiento de las sustancias químicas.

#### 3.1 ACERO

Para el diseño de los elementos como canasta, tinas de lavado y pórtico para trasportar los productos se emplearan láminas y perfiles estructurales los cuales están fabricados de acero, siendo este material el predominante empleado en el diseño de los elementos requeridos, por esta razón que se define a continuación el concepto de acero.

“El acero es un producto férreo generalmente apto para la conformación en caliente. Con excepción de ciertos aceros de alto contenido en cromo, el contenido en carbono es igual o inferior al 2%, límite que los separa de las fundiciones.”<sup>12</sup>

Los porcentajes mayores que el 2,0% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar (a diferencia de los aceros), se moldean.

Los aceros son las aleaciones más utilizadas en la construcción de, herramientas, maquinaria, edificios y obras públicas, ya que abunda en la naturaleza facilitando su alta producción contribuyendo al alto nivel de desarrollo tecnológico de la sociedad,

---

<sup>12</sup>Norma Española UNE 36-004

sin embargo en ciertos sectores como la construcción aeronáutica el acero apenas se utiliza debido a que es un material muy denso, casi tres veces más denso que el aluminio (7850 kg/m<sup>3</sup> de densidad frente a los 2700 kg/m<sup>3</sup> del aluminio).

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DEL ACERO

Si bien es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero debido a que estas varían con los ajustes en su composición y los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que pueden conseguirse aceros con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones, se pueden citar algunas propiedades generales, adicionalmente en la fig. 3.1 se presenta el diagrama de esfuerzo y deformación del acero.

- Su densidad media es de 7850 kg/m<sup>3</sup>.
- En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.
- El punto de fusión del acero esta alrededor de 1375 °C.
- La dureza de los aceros varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos entre los cuales quizá el más conocido es el temple del acero, aplicable a aceros con alto contenido en carbono, que permite cuando es superficial, conservar un núcleo tenaz en la pieza templada.
- Facilidad de soldar.
- La corrosión es la mayor desventaja de los aceros ya que el hierro se oxida con suma facilidad incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que posibilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la pieza por completo. Tradicionalmente los aceros se han venido protegiendo mediante tratamientos superficiales diversos.
- Dilatación por el incremento de temperatura con su efecto de aumento en la longitud del mismo, este aumento se puede valorar por  $\Delta L = \alpha (\Delta T) L$ , siendo  $\alpha$  el coeficiente de dilatación, siendo este para el acero aproximadamente  $1,2 \text{ E } 10^{-5}$  (es decir  $\alpha = 0,000012$ ). siempre que exista libertad de dilatación sin que esto ocasione grandes problemas posteriores.

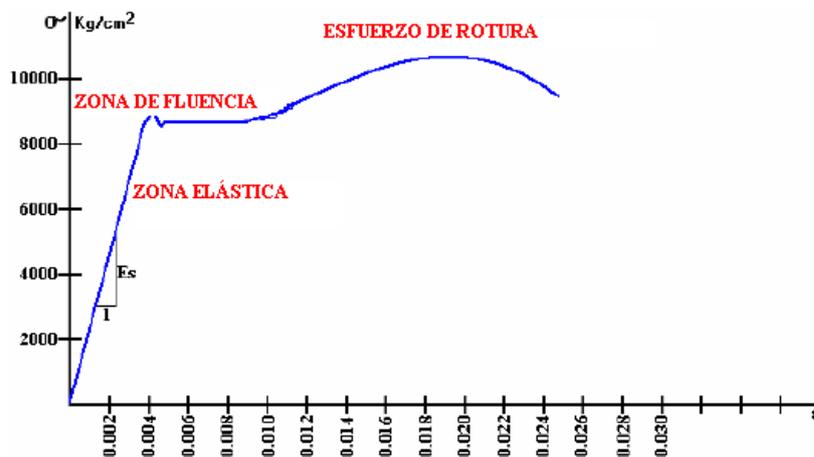


Fig. 3.1 Curva Esfuerzo - Deformación del Acero  
 Fuente: <http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/materiales/materials3.html>

### 3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS

A continuación se presenta en la tabla 3.1 la clasificación de los aceros por su contenido de carbono según la norma española UNE 36010, agrupándolos según sus propiedades y aplicaciones.

<b>Clasificación de los aceros según NORMA UNE 36010:</b>		
<b>SERIE</b>	<b>GRUPO</b>	<b>PROPIEDADES APLICACIONES</b>
<b>1</b> <b>Aceros finos de construcción general</b>	<b>1. (Finos al carbono)</b> <b>2 y 3. (Aleados de gran resistencia)</b> <b>4. (Aleados de gran elasticidad)</b> <b>5 y 6. (De cementación)</b> <b>7. (De nitruración)</b>	<b>Propiedades:</b> Son no aleados. Cuanto más carbono contienen son más duros y menos soldables, pero también más resistentes a los choques. Se incluyen también aceros con tratamientos térmicos y mecánicos específicos para dar resistencia, elasticidad, ductilidad, y dureza superficial. <b>Aplicaciones:</b> Necesidades generales de la ingeniería de construcción, tanto industrial como civil y comunicaciones.
<b>2</b> <b>Aceros para usos especiales</b>	<b>(De fácil mecanización)</b> <b>2. (De fácil soldadura)</b> <b>3. (De propiedades magnéticas)</b> <b>4. (De dilatación térmica específica)</b> <b>5. (Resistentes a la fluencia)</b>	<b>Propiedades:</b> Generalmente son aceros aleados o tratados térmicamente. <b>Aplicaciones:</b> <b>Grupos 1 y 2:</b> Tornillería, tubos y perfiles. <b>Grupo 3:</b> Núcleos de transformadores, motores de bobinado. <b>Grupo 4:</b> Piezas de unión de materiales férricos con no férricos sometidos a temperatura. <b>Grupo 5:</b> Instalaciones químicas, refinerías y para altas temperaturas.

<p style="text-align: center;"><b>3</b> <b>Aceros resistentes a la oxidación y corrosión</b></p>	<p><b>1. (Inoxidables)</b> <b>2 y 3. (Resistentes al calor)</b></p>	<p><b>Propiedades:</b> Basados en la adición de cantidades considerables de cromo y níquel, a los que se suman otros elementos para otras propiedades más específicas. Resistentes a ambientes húmedos, a agentes químicos y a altas temperaturas.</p> <p><b>Aplicaciones:</b> <b>Grupo 1:</b> Cuchillería, elementos de máquinas hidráulicas, instalaciones sanitarias, piezas en contacto con agentes corrosivos. <b>Grupos 2 y 3:</b> Piezas de hornos en parrillas, válvulas y elementos de motores de explosión y, en general, piezas cometidas a corrosión y temperatura.</p>
<p style="text-align: center;"><b>5</b> <b>Aceros para herramientas</b></p>	<p><b>1. (Al carbono para herramientas)</b> <b>2, 3 y 4. (Aleados para herramientas)</b> <b>5. (Rápidos)</b></p>	<p><b>Propiedades:</b> Son aceros aleados con tratamientos térmicos que les dan características muy particulares de dureza, tenacidad y resistencia al desgaste y a la deformación por calor.</p> <p><b>Aplicaciones:</b> <b>Grupo 1:</b> maquinaria de trabajos ligeros en general, desde la carpintería y agrícola, hasta de máquinas <b>Grupos 2, 3 y 4:</b> Para maquinaria con trabajos más pesados. <b>Grupo 5:</b> Para trabajos y operaciones de desbaste y de mecanización rápida que no requieran gran precisión.</p>
<p style="text-align: center;"><b>8</b> <b>Aceros de moldeo</b></p>	<p><b>1. (Al carbono de moldeo de usos generales)</b> <b>3. (De baja radiación)</b> <b>4. (de moldeo inoxidables)</b></p>	<p><b>Propiedades:</b> Para verter en moldes de arena, por lo que requieren cierto contenido mínimo de carbono que les dé maleabilidad.</p> <p><b>Aplicaciones:</b> Piezas de formas geométricas complicadas, con características muy variadas. Estrictamente hablando no difieren de los aceros de otras series y grupos más que en su moldeabilidad.</p>

Tabla 3.1 Clasificación de los acero según norma UNE 36010  
Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html>

### 3.3.1 ACEROS LAMINADOS EN CALIENTE Y EN FRIO

La laminación del acero es la deformación plástica de los metales o aleaciones, que este contiene, se realiza por acción mecánica entre rodillos para obtener perfiles y láminas de formas y dimensiones específicas.

### **3.3.1.1 ACEROS LAMINADOS EN CALIENTE**

En el proceso de laminado en caliente el lingote colado se calienta al rojo vivo donde básicamente las palanquillas o tochos de acero, se elevan a una temperatura entre los 900°C y los 1.200°C. Estas se calientan con el fin de proporcionar ductilidad y maleabilidad para que sea más fácil la reducción de área a la cual va a ser sometido.

Durante el proceso de calentamiento de las palanquillas se debe tener en cuenta:

- Una temperatura alta de calentamiento del acero puede originar un crecimiento excesivo de los granos y un defecto llamado “quemado” del acero que origina grietas que no son eliminables.
- Una temperatura baja de calentamiento origina la disminución de la plasticidad del acero, eleva la resistencia de deformación y puede originar grietas durante la laminación.

A continuación del proceso de calentamiento se hace pasar los lingotes entre una serie de rodillos metálicos colocados en pares que lo aplastan hasta darle la forma y tamaño deseados, la distancia entre los rodillos va disminuyendo a medida que se reduce el espesor del acero. A demás de las chapas de acero colocadas en bobina después del trabajo en caliente, también se pueden producir perfiles con formas en L, H, U, T, barras redondas y cuadradas, platinas etc., esto se hace por medio de rodillos que tienen estrías que proporcionan la forma adecuada.

### **3.3.1.2 ACEROS LAMINADOS EN FRIO**

La laminación en frío es el proceso mediante el cual se obtiene de las bobinas de acero laminadas en caliente un acero de menor grosor y planitud, a temperaturas inferiores a la del proceso de laminación en caliente, los espesores de las láminas obtenidas por este proceso van desde 0.31 mm hasta 1.90mm.

Las principales ventajas alcanzadas como resultado de una correcta laminación son:

- Produce láminas con mínimas tolerancias y alta planitud.
- Alta productividad para grados de acero carbón, inoxidable y especiales.

En la tabla 3.2 se presenta los tipos de perfiles más comunes.

<b>Tipo de Perfil</b>	<b>Descripción</b>
<b>Ángulos estructurales L</b>	Es el producto de acero laminado que se realiza en longitudes iguales que se ubican equidistantemente en la sección transversal con la finalidad de mantener una armonía de simetría, en ángulo recto. Su uso está basado en la fabricación de estructuras para techados de grandes luces, industria naval, plantas industriales, almacenes, torres de transmisión, carrocerías, también para la construcción de puertas y demás accesorios en la edificación de casas.
<b>Vigas H</b>	Producto de acero laminado que se crea en caliente, cuya sección tiene la forma de H. Existen diversas variantes como el perfil IPN, el perfil IPE o el perfil HE, todas ellas con forma regular y prismática. Se usa en la fabricación de elementos estructurales como vigas, pilares, cimbras metálicas, etc., sometidas predominantemente a flexión o compresión y con torsión despreciable. Su uso es frecuente en la construcción de grandes edificios y sistemas estructurales de gran envergadura, así como en la fabricación de estructuras metálicas para puentes, almacenes, edificaciones, barcos, etc.
<b>Canales U</b>	Acero realizado en caliente mediante láminas, cuya sección tiene la forma de U. Son conocidas como perfil UPN. Sus usos incluyen la fabricación de estructuras metálicas como vigas, viguetas, carrocerías, cerchas, canales, etc.
<b>Perfiles T</b>	Al igual que en anterior su construcción es en caliente producto de la unión de láminas. Estructuras metálicas para construcción civil, torres de transmisión, carpintería metálica, etc. Y78 T56IU8975T4R7I78
<b>Barras redondas lisas y pulidas</b>	Producto laminado en caliente, de sección circular y superficie lisa, de conocimiento muy frecuente en el campo de la venta de varillas. Sus usos incluyen estructuras metálicas como lo pueden ser puertas, ventanas, rejas, cercos, elementos de máquinas, ejes, pernos y tuercas por recalcado en caliente o mecanizado; y también ejes, pines, pasadores, etc.
<b>Platinas</b>	Producto de acero laminado en caliente, de sección rectangular. Entre sus usos está la fabricación de estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas, etc.

<b>Barras cuadradas</b>	Producto realizado en caliente por láminas, su uso es muy frecuente y muy conocido. Se usan en la fabricación de estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas, etc.
<b>Barras hexagonales</b>	De igual manera que en los anteriores su composición es de láminas producidas en caliente, de sección hexagonal, y superficie lisa. Generalmente se observa en la fabricación de elementos de ensamblaje para, pernos, tuercas, ejes, pines, chavetas, herramientas manuales como barretas, cinceles, puntas, etc. Los cuales pueden ser sometidos a revenido y a temple según sea el caso
<b>Perfiles generados por soldadura o unión de sus elementos</b>	<p>Esto son elemento ensamblados de estructuras generalmente de forma rectangular, la composición de las barras y diferentes elementos está generado por soldadura de las mismas, la ventaja que tiene este tipo de perfil es que se adecúa perfectamente a los requerimientos de diseño de acuerdo al análisis estructural que se realiza. Las relaciones de las dimensiones en perfiles típicos H, I.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ CS, tienen la forma de H y su altura es igual al ancho del ala, <math>h=b</math>.</li> <li>❖ CVS, tienen forma de H y la proporción entre la altura y el ancho es de 1.5:1</li> <li>❖ VS, son de sección tipo I y la proporción entre la altura y el ancho del ala es de 2:1 y 3:1</li> </ul>
<b>Chapa</b>	Se lamina el acero hasta conseguir rollos de diferentes grosores de chapa. La chapa se utiliza en calderería, y en la fabricación de carrocerías de automóviles.
<b>Acero corrugado para hormigón armado</b>	Las acerías que reciclan chatarra, son en su mayoría productoras del acero corrugado que se utiliza para formar estructuras de hormigón armado y cimentaciones.

Tabla 3.2 Tipos de perfiles laminados en caliente

### 3.3.2 ACERO ESTRUCTURAL TIPO A - 36

El acero más comúnmente usado es el denominado A-36, que tiene un punto de fluencia de 36000 PSI (2530 kg/cm<sup>2</sup>), aunque en la actualidad la tendencia es hacia

un acero de resistencia superior como el acero grado A-572 caracterizado por tener un límite de fluencia mayor que el acero A-36, siendo este de 50.000 psi.

En la figura 3.2 se indican algunas curvas para varios productos fabricados de acero como; alambres, varillas, lámina delgada rolada en frío y acero estructural A572.

Las características estructurales del acero tipo A-36 el cual se empleará en los elementos a diseñar y calcular, se pueden apreciar mediante las curvas “esfuerzo-deformación unitaria” a tensión mostradas a continuación.

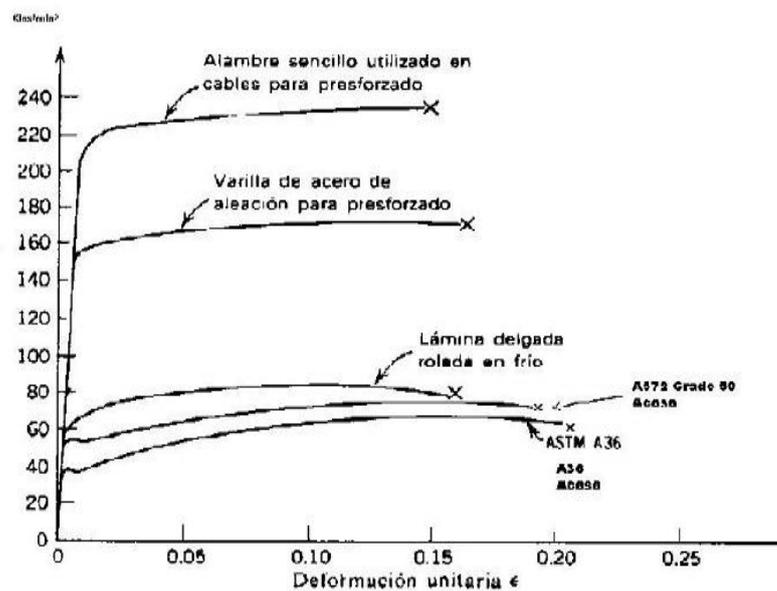


Fig. 3.2 Esfuerzo – Deformación unitaria del Acero  
Fuente: Acerías de Caldas (ACASA)

- **Zona Elástica.-** Hasta un esfuerzo alto, se aplican las relaciones lineales entre el esfuerzo y la deformación, definidas por la teoría de la elasticidad, los parámetros básicos son el esfuerzo de fluencia ( $\sigma_y$ ) y la deformación unitaria de fluencia ( $\epsilon_y$ ).
- **Zona Plástica.-** En la cual el esfuerzo permanece prácticamente constante, pero aumenta continuamente la deformación unitaria.
- **Punto de Falla o Ruptura.-** La deformación unitaria en la falla es de 0,20 (curva inferior de la figura) para el acero estructural A-36 usado corrientemente en la construcción de estructuras.

Los aceros de alta resistencia como los usados en cables de pre esforzados no presentan el esfuerzo de fluencia bien definido y no tienen ductilidad como la tiene el acero A-36 el cual se muestra en la figura 3.2, la deformación del acero a partir de la fluencia es denominada ductilidad, esta es una cualidad muy importante en el acero como material estructural y es la base de los métodos de diseño plástico, esta permite, que la estructura absorba grandes cantidades de energía por deformación, circunstancia muy importante en zonas sísmicas, en las cuales es necesario que la estructura libere la energía introducida en su base por los terremotos.

### 3.4 VENTAJAS DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

- **Alta resistencia.-** La alta resistencia del acero por la unidad de peso significa que el peso de la estructura se hallará al mínimo, esto es de mucha eficacia en puentes de amplia luz entre soportes.
- **Semejanza.-** Las propiedades del acero no cambian perceptiblemente con el tiempo.
- **Durabilidad.-** Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado duraran tiempos indefinidos.
- **Elasticidad.-** El acero es el que más se acerca en su comportamiento a la hipótesis de diseño ya que sigue la ley de Hook hasta esfuerzos muy altos.
- **Ductilidad.-** La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente, evitando así fallas prematuras.
- **Tenacidad.-** Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.

### 3.5 DESVENTAJAS DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

- **Costo de mantenimiento.-** La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al agua y al aire y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente.

- **Costo de la protección contra el fuego.-** Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios.
- **Pandeo.-** Entre más largos y esbeltos sean los miembros a compresión mayor es la posibilidad del pandeo debiendo usarse más material para hacer mas rígidos estos miembros
- **Fatiga.-** Producida por el gran número de cambios de magnitud del esfuerzo de tensión.

### 3.6 METODOS EXISTENTES PARA EL CÁLCULO DE ELEMENTOS

#### 3.6.1 MÉTODO ELÁSTICO (ASD)

La gran mayoría de las estructuras existentes actualmente se han diseñadas bajo el método de Diseño por Esfuerzos Admisibles “ASD” (Allowable Stress Desing), es un método en el cual el diseñador estima el esfuerzo elástico de trabajo  $\sigma_t$  empleando un factor de seguridad para que la estructura resista los esfuerzos producidos por las cargas vivas y estáticas, se diseñan basados en ciertos esfuerzos permisibles siendo estos fracciones obtenidos de los esfuerzos de fluencia del material  $\sigma_y$ , en este método las secciones de los elementos estructurales sujetos a flexión se diseñan basados en una proporcionalidad entre el esfuerzo y su deformación  $\sigma$  y  $\epsilon$ , con el concepto adicional de  $\sigma_t$  para cada en cada uno de los materiales.

Con este método se asegura de que los materiales trabajen con un factor de seguridad para que no excedan los valores permisibles de trabajo, teniendo el acero un esfuerzo de fluencia  $\sigma_y$  de  $2530 \text{ kg/cm}^2$ , para fines de cálculo se determina un factor de seguridad Fs igual a 1.1, al emplear este factor de seguridad la sección de los elementos calculados serán más esbeltas.

#### 3.6.2 MÉTODO DE RESISTENCIA ÚLTIMA (LRFD)

Este método conocido como Diseño por Factor de Carga y Resistencia “LRTD” (Load and Resistance Factor Design), es un método de resistencia última donde las

cargas de trabajo se estiman y se multiplican por ciertos factores de carga y se comparan con la capacidad de resistente de los elementos.

El diseño por el método LRFD se basa en los conceptos de estados límite, los mismos que describen una condición en la que una estructura, o alguna parte de ella deja de cumplir su función, conocido como condición de falla.

Este estado límite se puede sub-categorizar en dos tipos:

- Los de resistencia (bajo condiciones de cargas extremas)
- Los de servicio (bajo condiciones de cargas normales)

Los estados límite de resistencia se basan en la seguridad o capacidad de carga de las estructuras e incluye las resistencias plásticas, de pandeo, de fractura, de fatiga, de torsión etc.

Mientras que los estados límite de servicio se refieren al comportamiento de las estructuras bajo cargas normales de servicio, las mismas que tienen que ver con el uso y la ocupación como deflexiones excesivas, deslizamientos, vibraciones y agrietamientos.

### **3.6.3 MÉTODO SELECCIONADO PARA EL DISEÑO Y CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS**

El método que se empleará en el cálculo de los elementos requeridos para el proceso de limpieza por inmersión es el método por Diseño por Esfuerzos Admisibles “ASD” o Método Elástico por las siguientes consideraciones que se detallan a continuación.

- Método más difundido para el diseño.
- Método más empleado en el diseño.
- Método con mayor información técnica disponible.
- Método estudiado en el trascurso de la carrera de Ingeniería Mecánica.

### 3.7 TEORÍA PARA CÁLCULO DE VIGAS

El momento máximo estimado como límite por el método de esfuerzo admisible, es aquel en que el esfuerzo en las fibras más alejadas alcanza inicialmente el punto de fluencia, sin embargo, la verdadera resistencia a la flexión de una viga es aún mayor que este valor utilizado comúnmente porque la viga no fallará en estas condiciones, cuando se aplica una fuerza en una viga, las fibras exteriores de esta viga sometida a una deformación se estiran mientras que las fibras interiores se comprimen hasta que las mismas alcancen el esfuerzo de fluencia y posteriormente su rotura.

El proceso descrito que se acaba de mencionar, sólo es válida si la viga permanece estable en los demás aspectos esto es, tener suficiente apoyo lateral para impedir el pandeo lateral del patín de compresión y debe tener suficiente espesor para impedir el pandeo local. El manual AISC da diferentes valores del esfuerzo permisible a la flexión para diferentes condiciones, ara la mayoría de los casos el esfuerzo admisible a la flexión es:

$$\sigma = 0.66 \sigma_y \quad (\text{Ecuación 1}^{13})$$

Esta expresión se usará para perfiles compactos, laminados en caliente para secciones compuestas a excepción de aquellos miembros fabricado con acero A-514 que tiene  $\sigma = 90$  a  $100$  ksi o estructuras armadas con acero de diferentes límites de fluencia "llamados perfiles híbridos", casi todos los perfiles del tipo W (H) y los I de acero A36 y un gran porcentaje de los mismos perfiles hechos con acero de alta resistencia se consideran compactos según los requerimientos de las normas AISC.

Para perfiles no compactos soportados lateralmente, las normas AISC permiten un esfuerzo admisible de flexión (tensión a compresión en los extremos) de  $\sigma = 0.6 \sigma_y$ , mientras que en los perfiles compactos lateralmente soportados, se permite un incremento en el valor del esfuerzo admisible del 10% es decir a  $0.66 \sigma_y$ .

---

<sup>13</sup>Manual AISC, Novena Edición, P. 5-45

Para el análisis estructural de los miembros sometidos a esfuerzos en los elementos a diseñar se empleará el método de momentos y las formulas ya deducidas para vigas, según la característica dada para cada caso en particular determinada por las ecuaciones presentadas en las figuras, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8.

- Viga con carga concentrada en el centro doblemente empotrada.

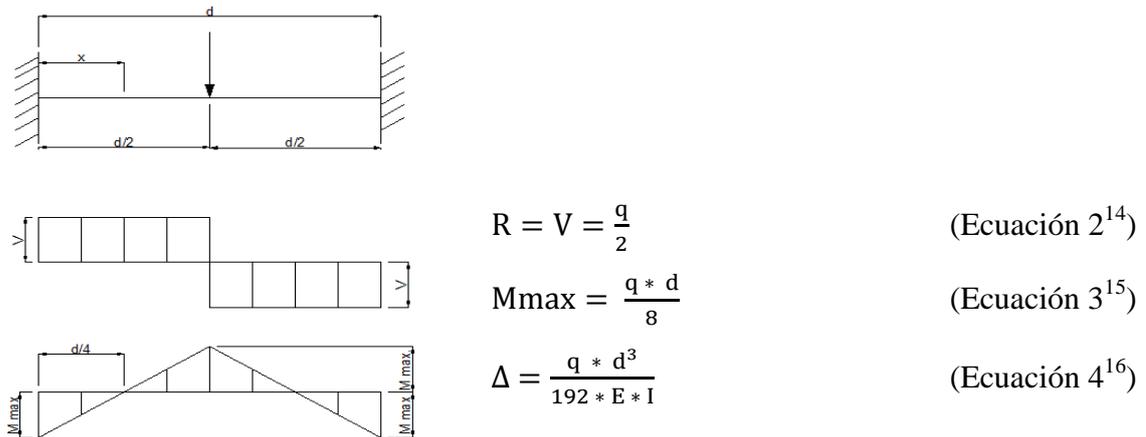


Fig. 3.3 Viga con carga concentrada en el centro doblemente empotrada.  
Fuente: Manual AISC

- Viga con carga distribuida doblemente empotrada.

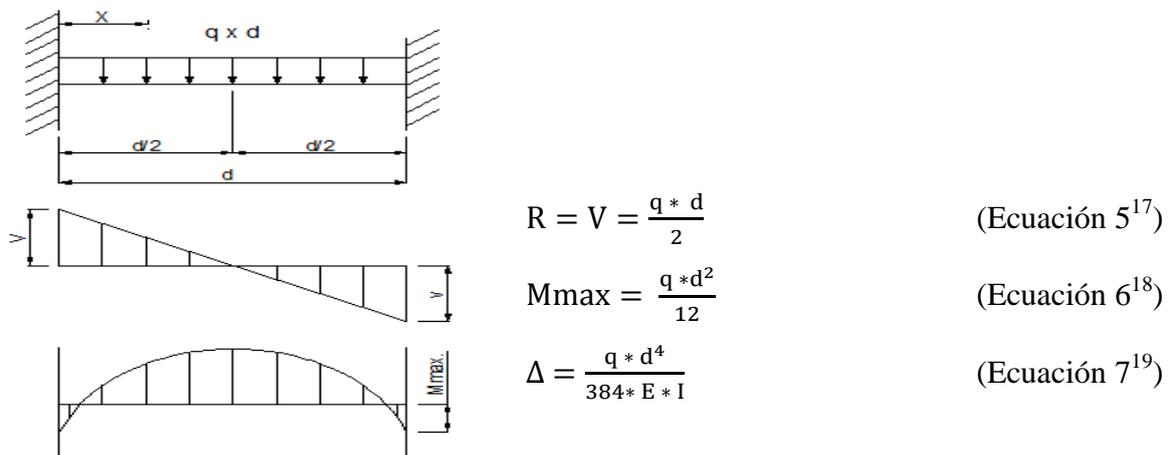


Fig. 3.4 Viga con carga distribuida doblemente empotrada  
Fuente: Manual AISC

<sup>14</sup>Manual AISC, Novena Edición, P. 2-301

<sup>15</sup>Idem. P. 2-301

<sup>16</sup>Idem. P. 2-301

<sup>17</sup>Idem. P. 2-301

<sup>18</sup>Idem. P. 2-301

<sup>19</sup>Idem. P. 2-301

- Viga con carga concentrada desplazada del centro

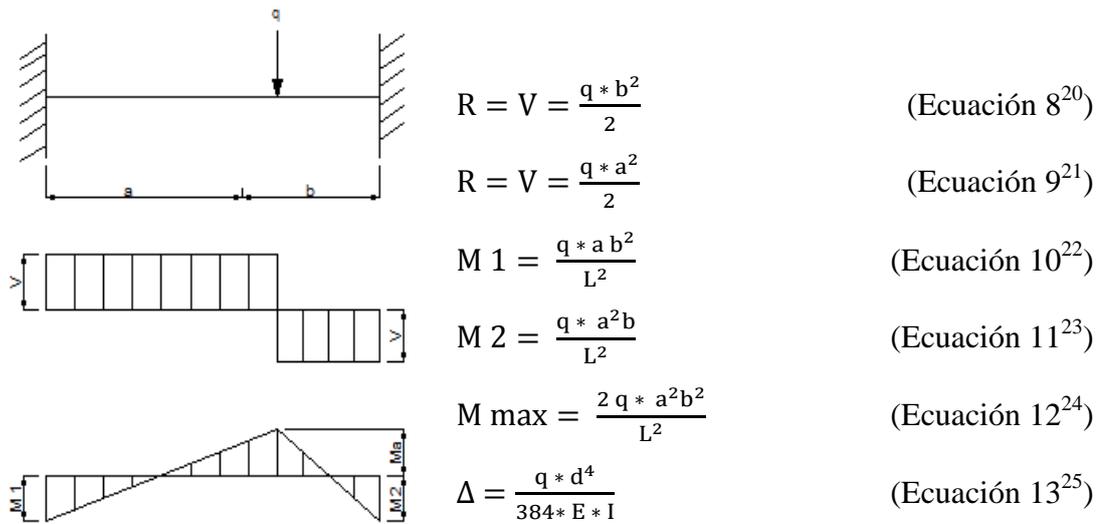


Fig. 3.5 Viga con carga puntual desplazada del centro doblemente empotrada  
Fuente: Manual AISC

- Viga simplemente apoyada con dos cargas puntuales a una distancia determinada.

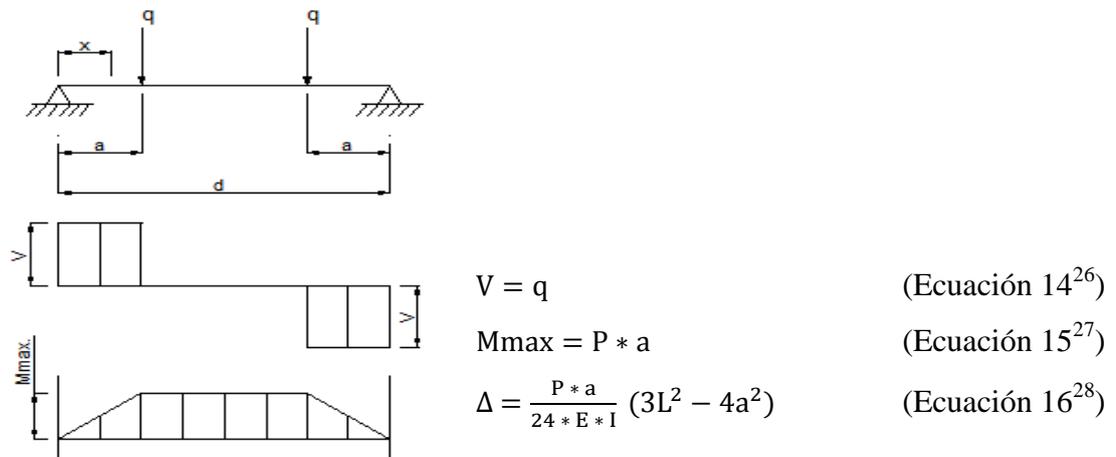


Fig. 3.6 Viga simplemente apoyada con dos cargas puntuales  
Fuente: Manual AISC

<sup>20</sup>Manual AISC, Novena Edición, 1986 P. 2-300

<sup>21</sup>Idem. P. 2-301

<sup>22</sup>Idem .P. 2-301

<sup>23</sup>Idem. P. 2-301

<sup>24</sup>Idem. P. 2-301

<sup>25</sup>Idem. P. 2-301

<sup>26</sup>Idem. P. 2-299

<sup>27</sup>Idem. P. 2-299

<sup>28</sup>Idem. P. 2-299

- Viga simplemente apoyada con carga distribuida

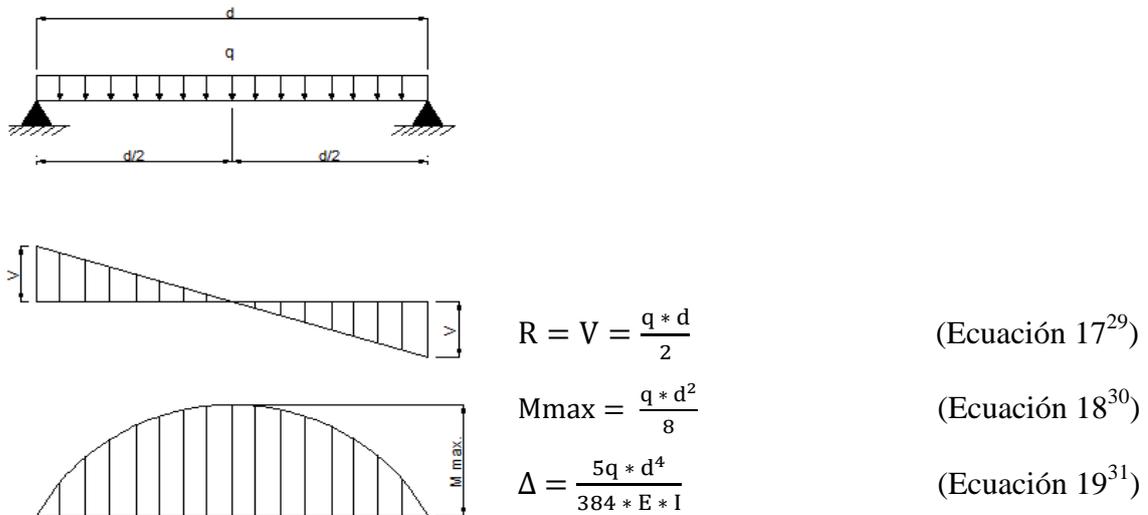


Fig. 3.7 Viga simplemente apoyada con carga distribuida  
Fuente: Manual AISC

- Viga simplemente apoyada con carga puntual en el centro.

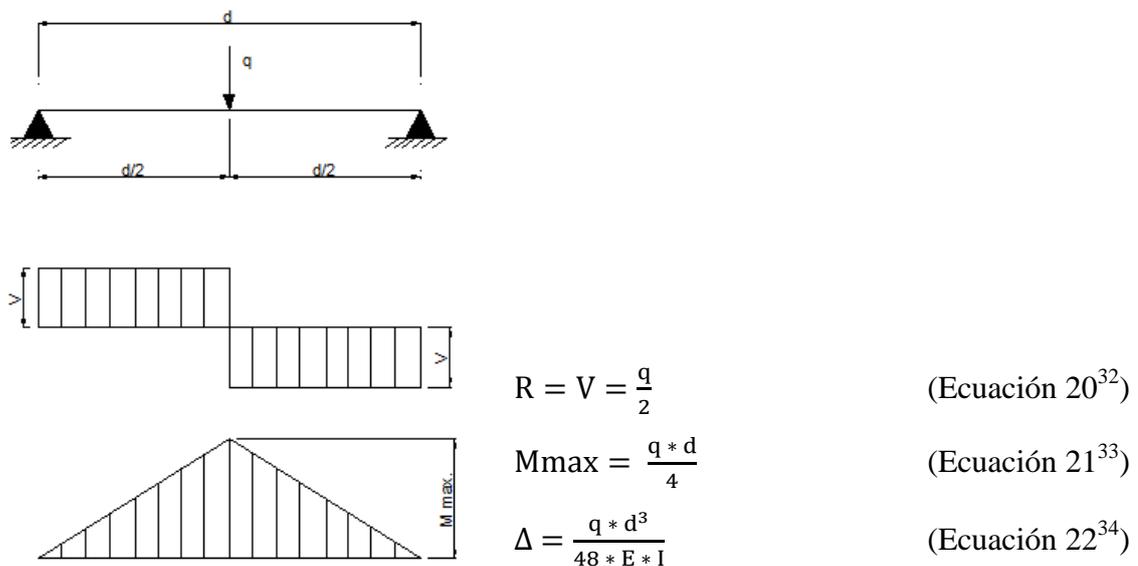


Fig. 3.8 Viga simplemente apoyada con carga puntual  
Fuente: Manual AISC

<sup>29</sup>Manual AISC, Novena Edición, P. 2-296

<sup>30</sup>Idem P. 2-296

<sup>31</sup>Idem. P. 2-296

<sup>32</sup>Idem. P. 2-298

<sup>33</sup>Idem. P. 2-298

<sup>34</sup>Idem. P. 2-298

- El porcentaje de carga que se debe adicionar para el cálculo en estructuras, según el tipo de grúa a emplear se presenta en la tabla 3.3.

<i>Tipo de grúa</i>	<i>Impacto vertical <sup>(1)</sup></i>	<i>Empuje lateral total <sup>(2)</sup></i>	<i>Fuerza de tracción <sup>(3) (4)</sup></i>
<i>Grúa viajera con cabina</i>	25%	20%	10%
<i>Grúa operada por control remoto</i>	10 %	10%	5%
<i>Grúa operada a mano, monorriel, pescante o trole</i>	50%	—	5%

- Notas:
- (1) de la carga máxima por eje sobre el riel.
  - (2) de la suma de los pesos de: (a) la capacidad de levantamiento de la grúa (b) el peso propio de la grúa; aplicada ½ al extremo de cada riel, en cualquier dirección perpendicular a los rieles.
  - (3) de la carga máxima al eje, aplicada al extremo del riel.
  - (4) Las rieles guía de la grúa también deben diseñarse para las fuerzas que se generan al detener la grúa. Esas fuerzas son la resultante de detener súbitamente la grúa al 40% de la velocidad máxima de operación, de acuerdo con *ANSI B30.20*.

Tabla 3.3 Impacto vertical, empuje y fuerza de tracción para grúas<sup>35</sup>

- Las deflexiones máximas permitidas en vigas que trabajan a flexión se presenta en la tabla 3.4.

<i>Caso</i>	<i>Máxima Deflexión permisible (<math>d_{max}</math>)</i>
<i>Vigas</i>	
• <i>Vigas portantes de piso y equipos (para la carga total)</i>	$L / 240$ ; $L = luz$
• <i>Vigas portantes de cielo raso enlucido (para cargas vivas)</i>	$L / 360$ ; $L = luz$
• <i>Vigas de techo y correas</i>	$L / 180$ ; $L = luz$
<i>Puentes grúa, Monorrieles, y grúas de brazo <sup>(1)</sup></i>	
• <i>Vigas carrileras</i>	$L / 750$ ; $L = luz$
• <i>Monorrieles</i>	$L / 450$ ; $L = luz$
• <i>Brazos de grúa</i>	$L / 225$ ; $L = luz$
• <i>Deflexión horizontal para puentes grúa</i>	$L / 400$ ; $L = luz$

Nota: (1) a menos que exista otra especificación del fabricante de la grúa.

Tabla 3.4 Deflexiones máximas en vigas<sup>36</sup>

### 3.8 TEORIA PARA CÁLCULO DE ESPESORES DE LÁMINAS

Para el cálculo del espesor de la placa empleada en la construcción de las tinas requeridas para el proceso de limpieza, se toma como base la Teoría de Placas y láminas, la cual analiza la deformación de una placa bajo el efecto de una carga, basadas en su formato y en los diversos casos de apoyo o empotramiento que estas presentan, en la figura 3.9 se presenta una placa empotrada en todo su contorno.

<sup>35</sup> [www.cimepi.com/admcontenidos/archivos\\_links/docu\\_152.doc](http://www.cimepi.com/admcontenidos/archivos_links/docu_152.doc).

<sup>36</sup> [www.cimepi.com/admcontenidos/archivos\\_links/docu\\_152.doc](http://www.cimepi.com/admcontenidos/archivos_links/docu_152.doc).

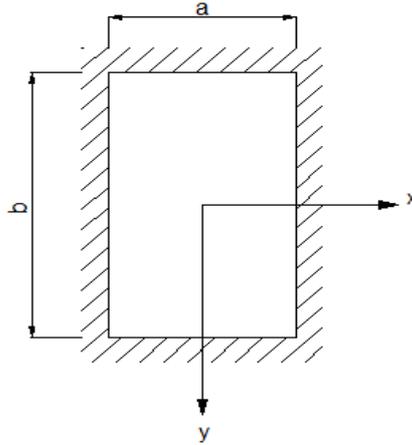


Fig. 3.9 Placa empotrada en sus cuatro lados  
Fuente: Teoría de placas y láminas S. Timoshenko

Para la placa base de la tina se tiene el caso de apoyo empotrada en todo su contorno, siendo la deformación bajo una carga uniforme hidrostática la determinada por la relación  $b/a$  donde:

Si la relación  $b/a > 2.5$  se analiza como una placa de gran longitud y su deformación está dada por.

$$\Delta = \frac{2 q_0 a^4}{\pi^5 D} \quad (\text{Ecuación } 23^{37})$$

Si la relación  $b/a < 2.5$  se analiza como una placa de pequeña longitud su deformación está dada por.

$$\Delta = \alpha \frac{q a^4}{D} \quad (\text{Ecuación } 24^{38})$$

$q$  = carga en la placa ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$q_0$  = presión en función a la densidad y altura del líquido ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$a$  = lado menor de placa (cm)

$D$  = rigidez del material ( $\text{Kg} * \text{cm}$ )

$n$  = valor de relación de  $b/a$

<sup>37</sup>S. Timoshenko, Teoría de Placas y Láminas, Edición Umbro 1970, P. 221

<sup>38</sup>Ídem P. 221

$n = b/a$	$\Delta = n \frac{q a^4}{D} (X=0 ; y=0)$
0,5	0,000080
1,0	0,00063
1,5	0,00110
2.5	0,000217

Tabla 3.5 Valores de  $\alpha$  para placa con condición  $b/a < 2.5$   
Fuente: Teoría de placas y láminas. S. Timoshenko

- La carga  $q_0$  está en función de la carga uniforme  $q$  la cual depende de la densidad del líquido y altura de este, siendo esta:

$$q_0 = \frac{q}{2} + \frac{q}{2} * \frac{x}{a} \quad (\text{Ecuación 25}^{39})$$

$q_0$  = Presión en función a la densidad y altura del líquido ( $\text{kg/cm}^2$ )

$x$  = Distancia desde el lado mayor al centro de la placa (cm)

- La rigidez de la placa está determinada por la siguiente formula.

$$D = \frac{E * h^3}{12(1-\nu^2)} \quad (\text{Ecuación 26}^{40})$$

$E$  = Módulo de elasticidad ( $2.1 E^6 \text{ Kg/cm}^2$ )

$h$  = Espesor de placa (cm)

$\nu$  = Coeficiente de Poisson (0.3)

- El valor del espesor de la placa viene dado por la formula.

$$h = \sqrt{\frac{\epsilon_y * q * a^2}{\sigma_t}} \quad (\text{Ecuación 27}^{41})$$

$\epsilon_y$  = Deformación unitaria está en función de la relación de  $n = b / a$

$\sigma_t$  = Esfuerzo de trabajo  $\sigma_t = \sigma_y / F$

<sup>39</sup>S. Timoshenko, Teoría de Placas y Láminas, Edición Umbro 1970, P. 255

<sup>40</sup>Ídem. P. 20

<sup>41</sup>Ídem. P. 255

n = b/a	Centro de la placa		Centro del lado mayor	$\Psi$
	$\epsilon_x$	$\epsilon_y$	$\epsilon_y$ max	
1	0.53	0.53	1.24	0.25
1.5	0.48	0.88	1.82	0.394
2	0.31	0.94	1.92	0.431
$\tilde{\alpha}$	0.3	1	2	0.455

Tabla 3.6 Valores de deformaciones unitarias  $\epsilon_y$   
 Placa empotrada en su contorno  $\sigma_y = \sigma_{\max}$ . -  $\sigma_x = 0.3 * \sigma_y$   
 Fuente: Teoría de placas y láminas S. Timoshenko

### 3.9 TEORÍA PARA CÁLCULO DE PORTICO PÓRTICO

Para el cálculo del pórtico con viga puente denominado puente grúa que servirá para transportar la canasta y los productos, se utiliza el método de rigideces sucesivas o cadena abierta en el cual se tiene.

#### 3.9.1 MÉTODO DE RIGIDECES SUCESIVAS

Se considera la ecuación ya deducida de los cinco giros para pórticos cerrados e indesplazables determinada ésta para cada uno de los nudos elásticamente indesplazables, basados en esta ecuación y en el esquema de rigideces se deduce la tabla de matrices para un sistema de nudos múltiples.

$$\begin{aligned}
 &+ a_5\theta_5 \\
 &a_{vi}\theta_i + k\theta + a_{vd} + m = 0 \qquad \qquad \qquad \text{(Ecuaciones 28}^{42}\text{)} \\
 &a_I\theta_I
 \end{aligned}$$

Donde:

- $\theta$  = giro de un nudo
- k = rigidez de nudo
- a = rigidez recíproca de una columna
- $a_v$  = rigidez recíproca de una viga
- m = desequilibrante inicial de nudo

<sup>42</sup>Espinoza Jorge, Curso de Estructuras III, Politécnica Nacional, Edición 2008, P. 13

Se tiene el esquema y un sistema de ecuaciones como los expuestos a continuación basados en el diagrama de rigideces presentado en la figura 3.10.

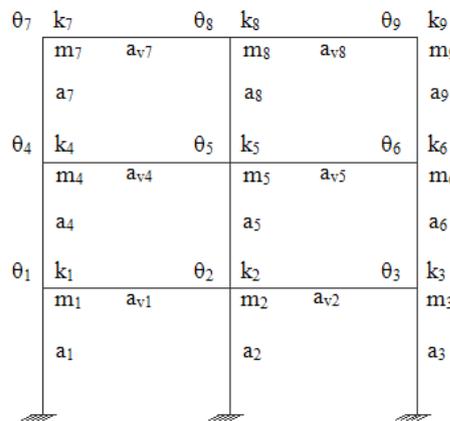


Fig. 3.10 Esquema de rigideces  
Fuente: Espinoza Jorge, Curso de Estructuras III

Esquema de rigideces a, av, k; desequilibrantes iniciales m y giros  $\theta$  en cada nudo

	X <sub>1</sub>			X <sub>2</sub>			X <sub>3</sub>				
	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$\theta_5$	$\theta_6$	$\theta_7$	$\theta_8$	$\theta_9$	+m=0	
1° Piso	k <sub>1</sub>	av <sub>1</sub>		a <sub>4</sub>						m <sub>1</sub>	U <sub>1</sub>
	av <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	av <sub>2</sub>		a <sub>5</sub>					m <sub>2</sub>	
		av <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>			a <sub>6</sub>				m <sub>3</sub>	
2° Piso	a <sub>4</sub>			k <sub>4</sub>	av <sub>4</sub>		a <sub>7</sub>			m <sub>4</sub>	U <sub>2</sub>
		a <sub>5</sub>		av <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	av <sub>5</sub>		a <sub>8</sub>		m <sub>5</sub>	
			a <sub>6</sub>		av <sub>5</sub>	k <sub>6</sub>			a <sub>9</sub>	m <sub>6</sub>	
			a <sub>7</sub>				k <sub>7</sub>	av <sub>7</sub>		m <sub>7</sub>	U <sub>3</sub>
3° Piso					a <sub>8</sub>		av <sub>7</sub>	k <sub>8</sub>	av <sub>8</sub>	m <sub>8</sub>	
						a <sub>9</sub>		av <sub>8</sub>	k <sub>9</sub>	m <sub>9</sub>	

Tabla 3.7. Tabla matriz del sistema de ecuaciones  
Fuente: Espinoza Jorge, Curso de Estructuras III

El sistema de ecuaciones simultáneas es posible resolverlo mediante el uso de un programa para calculadoras o computadoras y luego de conocer los valores de  $\theta_1$  a  $\theta_9$ . Con la utilización de matrices podemos resolver el problema si consideramos la ecuación lineal matricial, así basados en la tabla 3.7, se tiene la ecuación matricial.

$$[A] \cdot [\theta] + [m] = 0 \quad (\text{Ecuación } 29^{43})$$

<sup>43</sup> Espinoza Jorge, Curso de Estructuras III, Politécnica Nacional, Edición 2008, P. 17

Donde:

$[A]$  = es la matriz general de coeficientes de las incógnitas del problema.

$[\Theta]$  = es el vector columnas de incógnitas

$[m]$  = es el vector columna de desequilibrantes

Esta ecuación puede ser escrita de la siguiente forma.

$$[\theta] = [A]^{-1} \cdot [m] \quad (\text{Ecuación 30}^{44})$$

En la que  $[A]^{-1}$  es la matriz inversa de  $[A]$  y que es precisamente lo que obliga a tener computadores de alta capacidad conforme sube el orden de la misma.

### 3.9.2 ETAPA PRELIMINAR

En esta etapa se determinan las rigideces del nudo y las rigideces recíprocas de la viga y columna de un pórtico por medio de la ecuación de rigidez de los miembros determinada por las expresiones.

$$k = \frac{4 E \cdot I}{L} \quad (\text{Ecuación 31}^{45})$$

$$a = \frac{K}{2} \quad (\text{Ecuación 32}^{46})$$

Donde el valor del producto de  $E \cdot I$  para fines de cálculo se asume como una constante igual a 1, de esta manera se obtiene el diagrama de rigideces del pórtico.

### 3.9.3 ETAPA COMPLEMENTARIA

En esta etapa se obtienen los momentos totales mediante la sumatoria de los momentos parciales en los nudos, determinados por la multiplicación entre los vectores columna de incógnita  $\Theta$  y la rigidez  $k$  de la viga y sus recíprocas  $a_v$ .

---

<sup>44</sup>Espinoza Jorge, Curso de Estructuras III, Politécnica Nacional, Edición 2008, P. 20

<sup>45</sup>Ídem. P. 20

<sup>46</sup>Ídem. P. 20

### 3.10 TEORÍA PARA MIEMBROS SOMETIDOS A COMPRESIÓN

Los elementos a compresión (columna) bajo la acción de una carga axial tendrán un comportamiento inicial de acortamiento por el esfuerzo generado por dicha carga que actúa en su eje longitudinal. Cuando la carga aumenta a un valor crítico que se llama carga crítica, presentándose una falla brusca por inestabilidad lateral denominada pandeo en el sentido de su menor momento de inercia, su forma de flexionarse dependerá de las condiciones de sujeción en sus extremos, los miembros sujetos a compresión se distinguen de los sujetos a tensión por lo siguiente:

- Las cargas de tensión tienden a mantener rectos a los miembros mientras que las de compresión tienden a flexionarlas.
- La presencia de agujeros en la sección transversal de miembros reducen el área efectiva de tensión, mientras que en el caso de compresión, los tornillos, remaches y pernos llenan al agujero apoyándose en ellas a pesar la holgura que existe considerando las áreas totales disponibles para soportar la compresión.

Si columnas son lo suficientemente cortas, fallan plastificándose totalmente todas las "fibras" de la sección transversal (es decir que alcanzan el esfuerzo de fluencia), que es el límite elástico del material ( $\sigma_y$ ), figura 3.11.

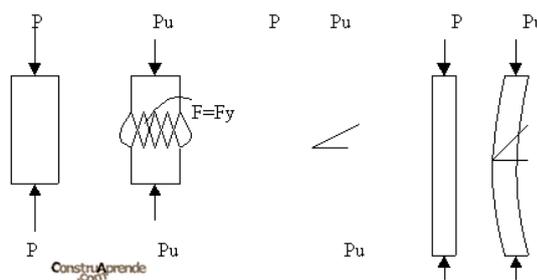


Fig. 3.11 Cargas actuantes en columnas

Conforme aumentan su longitud sin variar su sección transversal, las columnas fallan alcanzando el esfuerzo de fluencia solo en algunas "fibras de la sección", llamadas columnas intermedias, finalmente cuando las columnas son lo suficientemente largas fallan sin que ningún punto alcance el valor del esfuerzo de fluencia, figura 3.12.

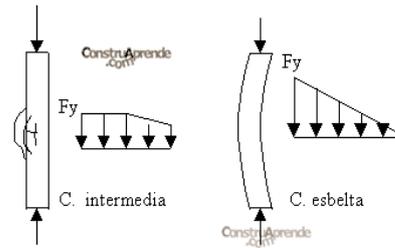


Fig. 3.12 Efecto de esfuerzos en columnas

### 3.10.1 ESTABILIDAD Y RELACIONES DE ESBELTEZ

La relación de esbeltez  $kL/r$  de los miembros comprimidos axialmente o flexo comprimidos esta determinada por la longitud efectiva “ $kL$ ” y el menor radio de giro “ $r$ ” de la sección transversal, en los elementos sujetos a compresión simple se debe revisar la relación de esbeltez máxima la cual esta dada por.

$$\frac{K * L}{r} < 200 \quad (\text{Ecuación } 33^{47})$$

$L$  = longitud libre de la columna entre secciones soportadas lateralmente.  
 $K$  = factor de longitud efectiva que se determina de acuerdo a las condiciones de apoyo de la columna basados en la figura 3.13.

$r$  = radio de giro menor del elemento.

Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valor K de diseño recomendado	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
Símbolos para condiciones de extremo						
	Se impide rotación y traslación					
	Se permite rotación y traslación					
	Se impide rotación, se permite traslación					
	Se permite rotación, se impide traslación					

Fig. 3.13 Factor K para diferentes tipos de apoyo  
Fuente: McCormac Diseño de Estructuras Metálicas Método ASD

<sup>47</sup>McCormac, Diseño de Estructuras Metálicas, Método ASD, P. 118

- Menor radio de giro del elemento

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (\text{Ecuación 34}^{48})$$

I = Inercia menor de del elemento

A = Área transversal del elemento

- Carga crítica en función de la inercia y longitud del elemento

$$q_c = \frac{\pi^2 E I}{L^2} \quad (\text{Ecuación 35}^{49})$$

- Carga crítica esta en función del valor permisible de diseño Fa, basado y según la tabla 3.8 obtenida del manual AISC y el área transversal del elemento.

$$q_c = F_a * A_g \quad (\text{Ecuación 36}^{50})$$

Para el diseño de la columna y unión de la viga se debe considerar la teoría nudo plástico en el cual es conviene que la viga falla por el agotamiento por flexión a que la columna falle por pandeo ya que esta falla ocasionaría daños mayores a la estructura.

---

<sup>48</sup>McCormac, Diseño de Estructuras Metálicas, Método ASD, P. 106

<sup>49</sup>Idem P. 106

<sup>50</sup>Idem P. 119

**Table C-36**  
**Allowable Stress**  
**For Compression Members of 36-ksi Specified Yield Stress Steel<sup>a</sup>**

$F_y = 36 \text{ ksi}$	$\frac{Kl}{r}$	$F_a$ (ksi)								
	1	21.56	41	19.11	81	15.24	121	10.14	161	5.76
2	21.52	42	19.03	82	15.13	122	9.99	162	5.69	
3	21.48	43	18.95	83	15.02	123	9.85	163	5.62	
4	21.44	44	18.86	84	14.90	124	9.70	164	5.55	
5	21.39	45	18.78	85	14.79	125	9.55	165	5.49	
6	21.35	46	18.70	86	14.67	126	9.41	166	5.42	
7	21.30	47	18.61	87	14.56	127	9.26	167	5.35	
8	21.25	48	18.53	88	14.44	128	9.11	168	5.29	
9	21.21	49	18.44	89	14.32	129	8.97	169	5.23	
10	21.16	50	18.35	90	14.20	130	8.84	170	5.17	
11	21.10	51	18.26	91	14.09	131	8.70	171	5.11	
12	21.05	52	18.17	92	13.97	132	8.57	172	5.05	
13	21.00	53	18.08	93	13.84	133	8.44	173	4.99	
14	20.95	54	17.99	94	13.72	134	8.32	174	4.93	
15	20.89	55	17.90	95	13.60	135	8.19	175	4.88	
16	20.83	56	17.81	96	13.48	136	8.07	176	4.82	
17	20.78	57	17.71	97	13.35	137	7.96	177	4.77	
18	20.72	58	17.62	98	13.23	138	7.84	178	4.71	
19	20.66	59	17.53	99	13.10	139	7.73	179	4.66	
20	20.60	60	17.43	100	12.98	140	7.62	180	4.61	
21	20.54	61	17.33	101	12.85	141	7.51	181	4.56	
22	20.48	62	17.24	102	12.72	142	7.41	182	4.51	
23	20.41	63	17.14	103	12.59	143	7.30	183	4.46	
24	20.35	64	17.04	104	12.47	144	7.20	184	4.41	
25	20.28	65	16.94	105	12.33	145	7.10	185	4.36	
26	20.22	66	16.84	106	12.20	146	7.01	186	4.32	
27	20.15	67	16.74	107	12.07	147	6.91	187	4.27	
28	20.08	68	16.64	108	11.94	148	6.82	188	4.23	
29	20.01	69	16.53	109	11.81	149	6.73	189	4.18	
30	19.94	70	16.43	110	11.67	150	6.64	190	4.14	
31	19.87	71	16.33	111	11.54	151	6.55	191	4.09	
32	19.80	72	16.22	112	11.40	152	6.46	192	4.05	
33	19.73	73	16.12	113	11.26	153	6.36	193	4.01	
34	19.65	74	16.01	114	11.13	154	6.30	194	3.97	
35	19.58	75	15.90	115	10.99	155	6.22	195	3.93	
36	19.50	76	15.79	116	10.85	156	6.14	196	3.89	
37	19.42	77	15.69	117	10.71	157	6.06	197	3.85	
38	19.35	78	15.58	118	10.57	158	5.98	198	3.81	
39	19.27	79	15.47	119	10.43	159	5.91	199	3.77	
40	19.19	80	15.36	120	10.28	160	5.83	200	3.73	

<sup>a</sup>When element width-to-thickness ratio exceeds noncompact section limits of Sect. B5.1, see Appendix B5.  
 Note:  $C_b = 126.1$

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION

Tabla. 3.8 Fuerza  $F_a$  en función de la relación de esbeltez  
 Fuente: Manual AISC<sup>51</sup>

<sup>51</sup>Manual AISC, Novena Edición, P. 3-16

### 3.11 TEORÍA PARA CÁLCULO DE PLACAS BASE COLUMNAS

La conexión de la placa base se encuentra en el punto en que se transmite la carga de la columna al cimiento. La elevada carga desarrollada en una columna típica es demasiado grande para aplicarla al cimiento de concreto como una carga puntual, por lo que se aplica a una placa base, cuya área debe ser suficiente para que el esfuerzo a compresión en el cimiento este dentro de los límites permisibles para el concreto de cimentación. Las placas de base de columnas de acero pueden soldarse directamente a las columnas o pueden ligarse por medio de una mensural de ángulo remachada o soldada. Para garantizar que las cargas de las columnas se repartan uniformemente sobre sus placas de bases, es esencial que exista un buen contacto entre los elementos, por tal motivo las columnas se colocan sobre las placas bases y estas se conectan con la base de apoyo (concreto) mediante pernos de anclaje, que pasan a través de los agujeros realizados en estas placas, donde estas tienen distancias determinadas para el apoyo de la columna IPE según la figura 3.14.

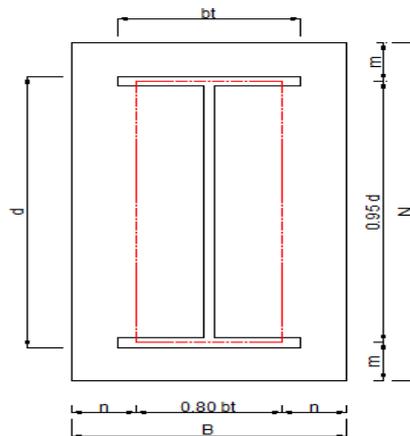


Fig. 3.14 Dimensiones consideradas para la placa base.

$P$  = Carga total en columna.

$A_1 = B \times N$  área de la placa.

$A_2$  = Área de sección transversal de hormigón.

$F_b$  = Presión sobre placa base.

$F_p$  = Presión de apoyo real.

$f_p$  = Presión actuante.

$f'_c$  = Resistencia de compresión del hormigón.

$t_p$  = Espesor de la placa base.

Una columna transfiere su carga a la cimentación por medio de la placa de base si el área  $A_2$  de soporte de concreto es mayor que el área  $A_1$  de la placa, la presión permisible será mayor.

En este caso el concreto que rodea el área de contacto proporciona un soporte lateral apreciable a la parte cargada directamente con el resultado de que el concreto cargado pueda resistir una mayor carga. Para su cálculo se tiene.

- Área del plinto base

$$A_2 = L * L \quad (\text{Ecuación } 37^{52})$$

- Área mínima requerida para el concreto

$$A_1 = \frac{1}{A_2} \left( \frac{P}{0.35 * f_c} \right)^2 \quad (\text{Ecuación } 38^{53})$$

$$A_1 = \frac{P}{0.7 * f_c} \quad (\text{Ecuación } 38^{54})$$

$$A_1 = bf * d \quad (\text{Ecuación } 39^{55})$$

- Deflexión de placa

$$\Delta = 0.5 [0.95 * d - 0.8 * bf] \quad (\text{Ecuación } 40^{56})$$

- Relación de formato de placa

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta \geq d \quad (\text{Ecuación } 41^{57})$$

$$B = \frac{A_1}{N} \geq b_f \quad (\text{Ecuación } 42^{58})$$

$$A_1 = N * B \quad (\text{Ecuación } 43^{59})$$

- Esfuerzo del hormigón

$$f_p = \frac{P}{N * B} \quad (\text{Ecuación } 44^{60})$$

---

<sup>52</sup>Manual AISC, Novena Edición P. 3-108

<sup>53</sup>Ídem. P. 3-108

<sup>54</sup>Ídem. P. 3-108

<sup>55</sup>Ídem. P. 3-108

<sup>56</sup>Ídem. P. 3-108

<sup>57</sup>Ídem. P. 3-108

<sup>58</sup>Ídem. P. 3-108

<sup>59</sup>Ídem. P. 3-108

<sup>60</sup>Ídem. P. 3-108

- Resistencia del hormigón y áreas

$$F_p = 0.35 * f'c * \sqrt{\frac{A_2}{A_T}} \leq 0.7 * f'c \quad (\text{Ecuación 45}^{61})$$

$f_p < F_p$  Ok.

- Dimensiones libres de placa  $c =$  máximo valor de  $m, n$ .

$$m = \frac{N-0.9d}{2} \quad (\text{Ecuación 46}^{62})$$

$$n = \frac{B-0.8bf}{2} \quad (\text{Ecuación 47}^{63})$$

- Condiciones de diseño  $\lambda \leq 1; q < 1$

$$\lambda = \frac{2(1-\sqrt{1-q})}{\sqrt{q}} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 48}^{64})$$

$$q = \frac{4*f_p*d*bf}{(d+bf)^2*F_p} < 1 \quad (\text{Ecuación 49}^{65})$$

$$n' = \frac{\sqrt{d*bf}}{4} \quad (\text{Ecuación 50}^{66})$$

$C = \text{máx. } (m, n, n')$

- Espesor de la placa  $t_p$ .

$$t_p = 2 * c \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \quad (\text{Ecuación 51}^{67})$$

- El diámetro de la perforación en la placa base y la distancia desde el canto esta dada por.

$$\text{Distancia del canto de placa} \geq 1.5 * \text{Diámetro (agujero placa)} \quad (\text{Ecuación 52}^{68})$$

$$\text{Diámetro (agujero placa)} = \text{Diámetro perno} + 3.2 \text{ mm} \quad (\text{Ecuación 53}^{69})$$

---

<sup>61</sup>Manual AISC, Novena Edición P. 3-109

<sup>62</sup>Ídem. P. 3-109

<sup>63</sup>Ídem. P. 3-109

<sup>64</sup>Ídem. P. 3-109

<sup>65</sup>Ídem. P. 3-109

<sup>66</sup>Ídem. P. 3-109

<sup>67</sup>Ídem. P. 3-109

<sup>68</sup>Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Diseño de puente grúa de 5 toneladas de capacidad para la industria metalmeccánica, Diciembre 2011, P. 96

<sup>69</sup>Ídem. P. 96

### 3.12 TEORIA PARA PERNOS DE ANCLAJE

Para determinar la sección requerida de los pernos de anclaje empleados para la sujeción entre la placa base y la cimentación de concreto, se plantea la condición de anclaje con 4 pernos sobre la placa base ver figura 3.15, considerando el esfuerzo mayor producido en la columna, sea este de corte y de momento.

- Condición con 4 pernos

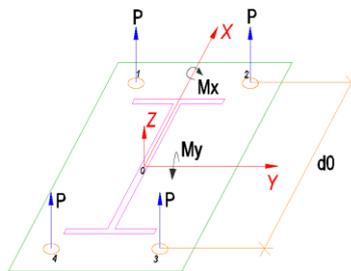


Fig. 3.15 Fuerza y Momentos en placa base para 4 pernos de anclaje  
Fuente: Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Diseño de puente grúa de 5 toneladas de capacidad para la industria metalmeccánica, Diciembre 2011, P. 88

El momento en la placa esta dado por la ecuación 54, y el área de resistencia del tornillo por la tabla 3.9.

$$M_y = 2 * P * d_0 \quad (\text{Ecuación 54}^{70})$$

$$P = \frac{M_y}{2 * d_0} \quad (\text{Ecuación 55}^{71})$$

$$\frac{P}{n} \leq P_{\text{agotamiento}} = 0.8 * \sigma_t * A_r \quad (\text{Ecuación 56}^{72})$$

P = fuerza de tracción sobre el perno

n = números de pernos en la placa base

$A_r$  = área resistente del tornillo

$\varnothing$ mm	10	12	16	20	22	24	27	30	33	36
$A_r$ cm <sup>2</sup>	0,58	0,84	1,57	2,75	3,03	3,53	4,59	5,61	6,94	8,17

Tabla 3.9 Área resistente de tornillos de diámetro nominal  
Fuente: <http://www.cvr.etsia.upm.es/Placas%20de%20base.pdf>

<sup>70</sup>Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Diseño de puente grúa de 5 toneladas de capacidad para la industria metalmeccánica, Diciembre 2011, P. 88

<sup>71</sup>Idem P. 88

<sup>72</sup><http://www.cvr.etsia.upm.es/Placas%20de%20base.pdf>

### 3.13 TEORIA DE ESFUERZO DE CORTE

Cuando una fuerza  $P$  y  $P'$  iguales y opuestas en magnitud  $P$  figura 3.16, se aplica a un elemento  $AB$  se crea esfuerzos cortantes  $\tau$  sobre cualquier sección localizada entre los puntos de aplicación de las fuerzas, estos esfuerzos varían mucho a través de la sección y no puede suponerse que su distribución sea uniforme definiéndose un esfuerzo promedio de corte determinada por la ecuación.

$$\tau_{\text{prom}} = \frac{P}{A} \quad (\text{Ecuación } 57^{73})$$

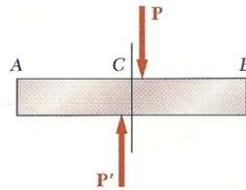


Fig. 3.16 Esfuerzo de corte en placa  
Fuente: Mecánica de materiales Beer Ferdinand P.

Los esfuerzos cortantes se encuentran en pernos, pasadores y remaches que conectan dos elementos estructurales o componentes de maquinaria, determinado este para los casos siguientes, perno  $CD$  que se encuentra en cortante único, y pernos  $EH$  y  $HJ$  que se encuentran en cortante doble, figura 3.17.

$$\tau_{\text{prom}} = \frac{P}{A} = \frac{F}{A} \quad (\text{Ecuación } 58^{74})$$

$$\tau_{\text{prom}} = \frac{P}{A} = \frac{F/2}{A} = \frac{F}{2A} \quad (\text{Ecuación } 59^{75})$$

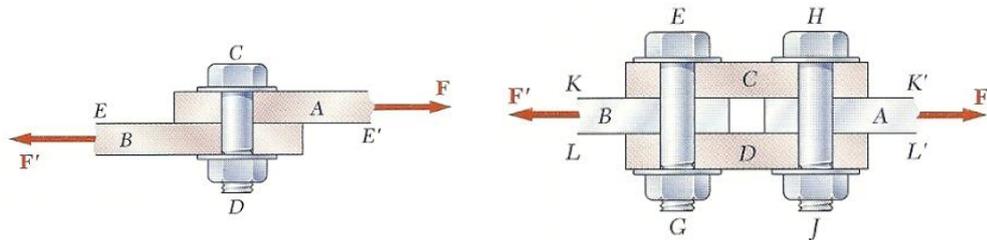


Fig. 3.17 Esfuerzo de corte único y doble para pernos  
Fuente: Mecánica de materiales Beer Ferdinand P.

<sup>73</sup>Beer Ferdinand P. Mecánica de Materiales, Cuarta Edición, P 39.

<sup>74</sup>Ídem. P39.

<sup>75</sup>Ídem. P 39.

Los pernos, pasadores y remaches también provocan esfuerzos en los elementos que conectan a lo largo de la superficie de apoyo o de contacto figura 3.18, el perno CD genera un esfuerzo en la superficie semi cilíndrica de la placa A con la que se encuentra en contacto, empleándose un esfuerzo nominal o de apoyo  $\sigma_b$  que se obtiene dividiendo P para el área del rectángulo que representa la proyección del perno sobre la sección de la placa y si t es el espesor y d el diámetro del perno se tiene.

$$\sigma_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{t * d} \quad (\text{Ecuación } 60^{76})$$

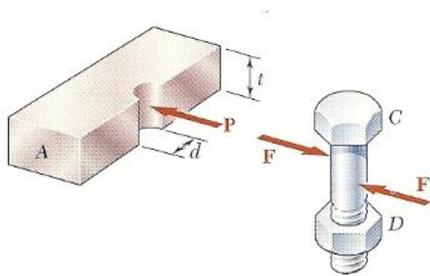


Fig. 3.18 Esfuerzo de apoyo en placa  
Fuente: Mecánica de materiales Beer Ferdinand P.

### 3.14 TEORIA DE CONEXIONES SOLDADAS

La soldadura es un proceso por el cual se unen partes metálicas mediante el calentamiento de las superficies a un estado plástico o líquido permitiendo que las partes fluyan y se unan con o sin la adición de material de aporte.

La soldadura moderna solo ha llegado a ser durante las últimas décadas confiable en su aplicación en la ingeniería de estructuras, siendo su aceptación muy lenta porque se pensaba que la soldadura tenía dos grandes desventajas.

- La soldadura tenía poca resistencia a la fatiga en comparación a las conexiones remachadas.
- Era imposible garantizar una alta calidad de soldadura si no se contaba con la inspección amplia y costosa.

<sup>76</sup>Beer Ferdinand P. Mecánica de Materiales, Cuarta Edición, P 39.

Estos conceptos negativos persistieron por muchos años y en la actualidad muchos ingenieros están de acuerdo en que existe una pequeña diferencia entre la resistencia a la fatiga de las juntas remachadas y la de las soldadas, también se admite que las reglas que gobiernan la calificación de los soldadores.

Las mejores técnicas aplicadas y los requerimientos para la mano de obra de las Especificaciones de la AWS hacen de la inspección de soldadura un problema de mucha menor dificultad.

Como consecuencia la soldadura es permitida en casi todos los trabajos estructurales excepto para algunos puentes donde estrictamente deben utilizarse juntas remachadas o apernadas.

#### **3.14.1 VENTAJAS DE LA SOLDADURA**

Actualmente es posible hacer uso de las muchas ventajas que la soldadura ofrece ya que los temores de la fatiga e inspección han sido eliminados casi por completo, siendo algunas:

- Las estructuras soldadas permiten eliminar un gran porcentaje de las placas de unión y de empalmes tan necesarias en las estructuras remachadas o apernadas, así como la eliminación de las cabezas de remaches o tornillos.
- La soldadura tiene una zona de aplicación mucho mayor que el remachado o apernado.
- Las estructuras soldadas son mucho más rígidas, porque los miembros normalmente están soldados directamente uno con otro. Las conexiones para estructuras remachadas o apernadas, se realizan a menudo a través de ángulos de conexión o placas que se deforman debido a la transferencia de carga.
- Se usan menores piezas y como resultado se ahorra tiempo en el detalle fabricación y montaje en la obra.

### **3.14.2 INSPECCIÓN DE SOLDADURA**

Para asegurarse de una buena soldadura en un trabajo determinado debe seguirse tres pasos:

- Establecer buenos procedimientos de soldadura.
- Emplear máquinas adecuadas para realizar el trabajo
- Usar soldadores calificados.
- Emplear inspectores competentes en el taller de obra.

Las especificaciones AISC establecen que las soldaduras solo deben ejecutarlas personal calificadas conforme al tipo de soldadura, requiriendo pasar estos por las pruebas establecidos por la AWS y la AISC, para calificarlos como soldadores aptos para realizar el trabajo, cuando se usan los servicios de terceros se debe considerar que los mismos tengan su calificación actualizada bajo los códigos establecidos.

#### **3.14.2.1 INSPECCIÓN VISUAL**

La inspección visual realizada por una persona capacitada, probablemente dará una buena indicación de la calidad de las soldaduras, pero no es una fuente confiable totalmente ya que su inspección no puede verificar el interior de la misma.

Existen diversos métodos para determinar la calidad interna de una soldadura, estos métodos incluyen, Tinturas Penetrantes, Partículas Magnéticas, Ensayos con Ultrasonidos y Procedimientos Radiográficos las cuales permiten descubrir defectos tales como porosidades faltas de fusión o presencia de porosidad y escoria interna.

#### **3.14.2.2 LÍQUIDOS PENETRANTES**

Diversos tipos de tinturas líquidas pueden extenderse sobre las superficies soldadas, penetrando en cualquier defecto y resaltando sus grietas que se encuentran en la superficie las cuales son pocos visibles; después de que la tintura ha penetrado en las grietas se limpian su exceso aplicando un polvo absorbente el cual extraerá la tintura

la superficie y revelara la existencia de las grietas delineándola en forma visible al ojo humano, una variante de este método consiste en usar un líquido fluorescente, que una vez absorbido se hace brillantemente visible bajo el examen con luz negra.

### **3.14.2.3 PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

El proceso de inspección de la soldadura por medio de partículas magnética se realiza electrificando la superficie a ser analizada cargándose eléctricamente las aristas de las grietas en la soldadura y a continuación esparciendo polvo seco de hierro, el cual es atraído a las arista cargadas magnéticamente siendo así posible la aparición de las grietas o defectos de soldadura determinando su en localización forma y tamaño.

La desventaja de este método es que en caso de una soldadura realizada con cordones múltiples, el método debe aplicarse para cada cordón.

### **3.14.2.4 PRUEBA ULTRASÓNICA**

En los años más recientes la industria del acero ha aplicado el ultrasonido para la inspección de las soldaduras, siendo los equipos y su aplicación costosa, si bien el equipo es costoso, el método es bastante útil y seguro, su funcionamiento está basado en ondas sónicas que se envían a través del material que va a inspeccionarse estas se reflejan en el lado opuesto del mismo, la onda reflejada se detecta en un tubo de rayos catódicos, los defectos en la soldadura afectan el tiempo de transmisión y retorno de esta onda proporcionándole al inspector una lectura las fallas en la soldadura su ubicación y tamaño y así conocer que tan representativas son.

### **3.14.2.5 PROCEDIMIENTOS RADIOGRÁFICOS**

Para la inspección de las soldaduras por métodos radiográficos utiliza máquinas de rayos X portátiles donde el acceso no es un problema y el uso de radio o cobalto radioactivo para tomar fotografías son métodos de pruebas excelentes pero costosas, este método es satisfactorios en soldaduras a tope pero no son satisfactorias para soldaduras del filete ya que las fotografías son difíciles de interpretar.

Una de las desventajas de este método es el peligro de la radioactividad, debiendo utilizarse procedimientos cuidadosos para proteger tanto a los técnicos como a los trabajadores cercanos.

En ocasiones se requiere de inspecciones nocturnas ya que es preferible que el personal y trabajadores no estén expuestos a estos procedimientos si estos toman un tiempo prolongado sea por dificultad de acceso o por cantidad de soldaduras a inspeccionarse.

### 3.14.3 CLASIFICACIÓN DE LA SOLDADURA

Existen tres calificaciones para las soldaduras, mismas que se describen, basadas en el tipo de soldadura realizada, posición de la soldadura y tipos de juntas.

#### 3.14.3.1 TIPOS DE SOLDADURAS

Los principales tipos de soldaduras son las soldaduras de filete y las soldaduras a tope, figura 3.19, existen además las soldaduras de tapón y de ranura que no son comunes en el trabajo estructural.

 TOPE SIN BISEL	 TOPE CON BISEL	 TOPE CON DOBLE BISEL	 TOPE CON UNA PLANCHA BISELADA	 TOPE CON UNA PLANCHA DOBLE BISEL
 TOPE BISEL EN U	 TOPE DOBLE BISEL EN U	 TOPE BISEL EN J EN UNA PLANCHA	 TOPE DOBLE BISEL J EN UNA PLANCHA	 FILETE SIMPLE
 FILETE SIMPLE	 DOBLE FILETE	 DOBLE FILETE	 UNION V DE LADOS DOBLADOS	 UNION DE FLANGE
 CORDON	 TAPON	 PUNTO DE ARCO SENCILLO		

Fig. 3.19 Diferentes ejemplos de soldadura

Fuente: <http://www.mail2mail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/posicion-soldadura-tipos-soldaduras>

Las soldaduras de filete han mostrado ser más débiles que las soldaduras a tope, sin embargo, la mayoría de las conexiones estructurales se realizan con soldaduras de

filete ya que estas disminuyen el tiempo de preparación de las piezas ya que se colocan en el mismo plano. Una soldadura de tapón es una soldadura que une dos piezas en la cual una se encuentra perforada relleno esta perforación con soldadura quedando unidas estas dos piezas por este medio

Una soldadura de relleno es una soldadura formada en una muesca o agujero alargado que un miembro con otro miembro a través de la muesca.

La soldadura puede llenar parcial o totalmente la muesca, estos tipos de juntas pueden utilizarse cuando los miembros se traslapan y la longitud del filete de soldadura no debe sobresalir en la superficie

### **3.14.3.2 POSICIÓN**

De acuerdo a la posición para realizar la soldadura, se clasifican en soldaduras de tipo.

- Plano
- Horizontal
- Vertical
- Sobre cabeza

La soldadura plana es la más económica si lo realiza un operario y la mayoría de las soldaduras estructurales se realizan a mano, estas soldaduras palanas pueden realizarse también con máquinas automáticas para procesos en serie.

La soldadura sobre cabeza es más costosa que la soldadura plana ya que la fuerza de la gravedad influye en el tiempo tornándolas lentas pues las gotas de los electrodos fundidos pierden su adherencia al metal, sin embargo esta no influye en la realización de buenas soldaduras determinando su calidad por la habilidad del operario.

En la figura 3.20 se presentan la representación de la posición de soldadura.

**PLANO HORIZONTAL VERTICAL SOBRECABEZA**

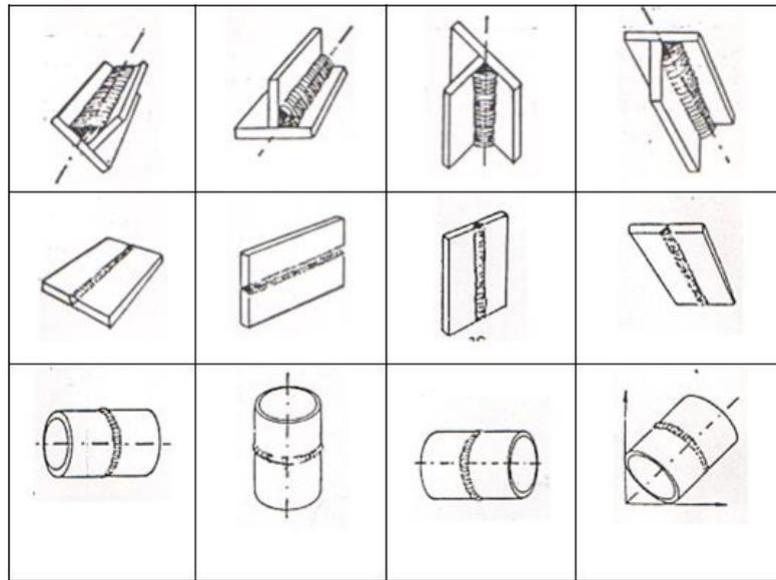


Fig. 3.20 Diferentes ejemplos de posiciones de soldadura  
<http://www.mailxmail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/posicion-soldadura-tipos-soldaduras>

**3.14.3.3 TIPOS DE JUNTAS**

Las soldaduras también pueden clasificarse de acuerdo con el tipo de junta usada, figura 3.21.

- Tope
- Traslapada
- En Te o filete
- De canto
- En esquina

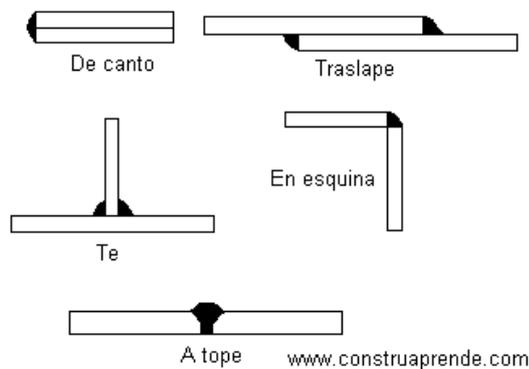


Fig. 3.21 Tipos de Juntas  
 Fuente: <http://www.construaprende.com/Apuntes/01/A1pag28.php>

Para realizar la representación de la soldadura de los elementos a ser unidos se requieren de símbolos los cuales son indicados en planos técnicos los cuales ayudan a identificar los proceso y características de estas soldaduras, estos símbolos y ubicación de sus características se presentan en las figuras 3.22 y 3.23.

SIMBOLOS BASICOS DE SOLDADURA									
ESPALDAR	FILETE	TAPON O RANURA	RANURA O TOPE						
			CUADRADA	V	BISEL	U	J	RANURA EN V	BISEL ENSANCHADO
SIMBOLOS COMPLEMENTARIOS DE SOLDADURA									
RESPALDO	SEPARADOR	SOLDADURA TODO ALREDEDOR	SOLDADURA DE CAMPO	CONTORNO		EN EL A2.4-86 DE LA AMERICAN WELDING SOCIETY VEANSE OTROS SIMBOLOS BASICOS Y COMPLEMENTARIOS DE SOLDADURA			
				A TOPE	CONVEXA				
UBICACION ESTANDAR DE ELEMENTOS DE UN SIMBOLO DE SOLDADURA									
ANGULO DE RANURA O ANGULO INCLUIDO DE AVELLANAR PARA SOLDADURAS DE TAPON					LONGITUD DE SOLDADURA, IN				

Fig. 3.22 Símbolos Complementarios de Soldadura  
Fuente: <http://www.construaprende.com/Apuntes/01/A1pag28.php>

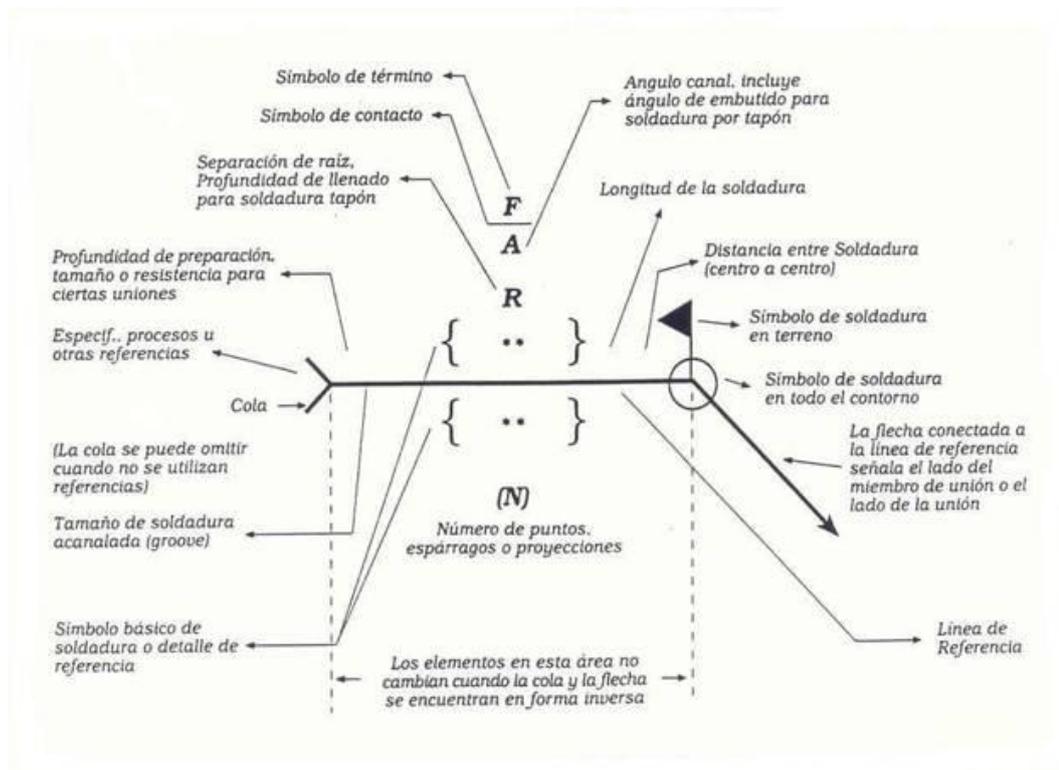


Fig. 3.23 Descripción del símbolo de soldadura  
Fuente: <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/ESTRUCTURA/aptesSOLDADURA.htm>

- **SOLDADURAS A TOPE Y FILETE**

Cuando la penetración es completa y las soldaduras a tope están sujetas a tensión axial o compresión axial el esfuerzo en la soldadura se supone igual a la carga, dividida entre el área transversal neta de la soldadura, en la figura 3.24 se muestran algunos tipos de soldadura a tope, la unión sin preparación a tope mostrada en la primera soldadura se utiliza para unir materiales relativamente delgados de hasta aproximadamente 5/16" (7.9 mm) de espesor.

A medida que el material es más grueso es necesario el uso de soldaduras a tope en V como las ilustradas en la figura 3.24, en estas soldaduras los miembros se biselan o preparan antes de ser soldadas para permitir la penetración total de la soldadura.

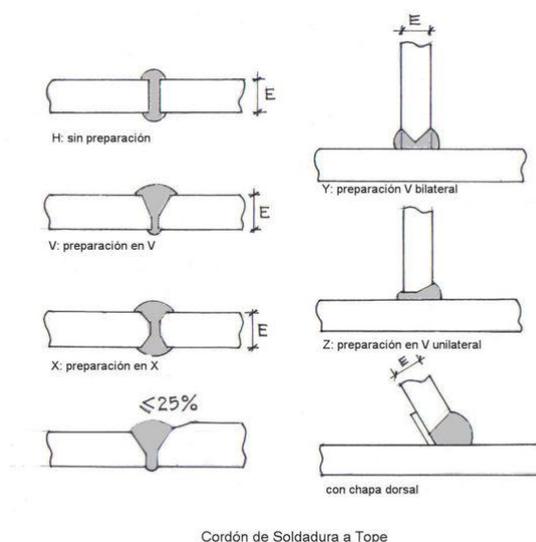


Fig. 3.24 Diferentes tipos de juntas.

Fuente [http://www.construmatica.com/construpedia/Uniones\\_por\\_Soldadura](http://www.construmatica.com/construpedia/Uniones_por_Soldadura)

Desde el punto de vista de la resistencia, al impacto, a esfuerzos repetitivos, y la cantidad de metal de aporte requerido, las soldaduras a tope son por mucho preferidas a las soldaduras de filete, aunque desde otros puntos de vista no son tan atractivas y se prefiere entonces que la inmensa mayoría de las soldaduras estructurales sean soldaduras de filete.

Si bien las soldaduras a tope tienen esfuerzos residuales más altos y las preparaciones de los bordes de los miembros por unir son costosas probablemente la mayor desventaja es el problema que presenta la preparación de las piezas para su ensamble en obra.

### 3.15 ESFUERZO PERMISIBLE DE LA SOLDADURA

Con respecto a este parámetro la AISC expresa que:

$$F_{\text{soldadura}} = \frac{S_y}{F_s} \quad (\text{Ecuación 61}^{77})$$

Donde:

- $S_y$  = es el esfuerzo de fluencia del material de aporte, de menor resistencia.
- $F_s$  = es el factor de seguridad mínimo para conexiones soldadas, establecido por la AWS D1.1 con un valor de 2,2

Se establecen dos casos de análisis del esfuerzo permisible de la soldadura:

- Esfuerzo permisible de la soldadura a filete, y
- Esfuerzo permisible de la soldadura a tope en sollicitación mecánica de tracción.

#### 3.15.1 SOLDADURA A FILETE

Para la junta soldada a filete se establece el siguiente precepto estructural de diseño: el esfuerzo permisible de la soldadura a filete debe determinarse bajo la hipótesis de sollicitación mecánica a corte.

En consideración a este precepto se establece que el esfuerzo de fluencia a corte de la soldadura es igual al esfuerzo de fluencia de la soldadura a tensión por un factor experimental.

---

<sup>77</sup>Tesis Escuela Politécnica Nacional, Diseño de puente grúa de 5 toneladas de capacidad para la industria metalmecánica, Diciembre 2011, P. 103

$$S_y (\text{corte}) = k * S_y (\text{tensión}) \quad (\text{Ecuación } 62^{78})$$

Pero el esfuerzo de fluencia a tensión es igual a los  $\frac{3}{4}$  del esfuerzo último a tracción, teniendo de esta manera:

$$S_y (\text{corte}) = K * \frac{3}{4} * S_{ut} \quad (\text{Ecuación } 63^{79})$$

Ahora bien, el factor experimental k para el análisis de juntas soldadas en filete en estructuras metálicas se ha establecido en un valor de 0,6

Finalmente se tiene la relación para el esfuerzo de fluencia a corte:

$$S_y (\text{corte}) = 0.6 * 0.75 * S_{ut} \rightarrow S_y (\text{corte}) = 0.45 * S_{ut} \quad (\text{Ecuación } 64^{80})$$

El esfuerzo permisible para las juntas en filete es entonces:

$$F_{\text{soldadura}} = 0.250 * S_{ut} \quad (\text{Ecuación } 65^{81})$$

### 3.15.2 SOLDADURA A TOPE EN TRACCIÓN

En este caso el esfuerzo de fluencia de la soldadura corresponde a:

$$S_y (\text{tensión}) = 0.75 * S_{ut} \quad (\text{Ecuación } 66^{82})$$

Y el esfuerzo permisible de la soldadura es entonces:

$$F_{\text{soldadura}} = 0.341 * S_{ut} \quad (\text{Ecuación } 67^{83})$$

En la tabla 3.9 y 3.10 se presenta los tamaños mínimos de soldadura de filete basados en el espesor del material base y el tipo de metal de aporte a emplear, para la

---

<sup>78</sup>Idem P. 104

<sup>79</sup>Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Diseño de puente grúa de 5 toneladas de capacidad para la industria metalmecánica, Diciembre 2011, P. 104

<sup>80</sup>Idem P. 104

<sup>81</sup>Idem P. 104

<sup>82</sup>Idem P. 104

<sup>83</sup>Idem P. 104

construcción de los elementos requeridos en el proceso de limpieza por inmersión, el anexo 6 se especifica las características los elementos a ser soldados.

### 3.15.4 JUNTAS SOLDADAS A TENSIÓN

En este caso, más sencillo de analizar, el esfuerzo real de la soldadura corresponde a:

$$f_{ts} = \frac{P}{A} \quad (\text{Ecuación 68}^{84})$$

$P_t$  = es la fuerza de tensión en la junta soldada

$A_s$  = es el área de la sección soldada

### 3.15.5 JUNTAS SOLDADAS A FLEXIÓN

Aquí el parámetro crítico de diseño es el momento flector y el tipo de material de aporte que se empleará en la conexión. Si dos tipos de material de aporte son pensados en usar debido a que se planea más de una pasada, el material de aporte de menor resistencia es el que se debe usar para el cálculo.

Para la definición de la ecuación de cálculo, al igual que en la sección anterior, vamos a basarnos en un ejemplo de conexión soldada:

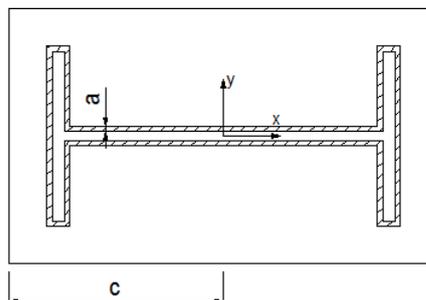


Fig. 3.25 Conexión soldada en placa base con un ancho de soldadura “a”

Fuente: Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Diseño de puente grúa de 5 toneladas de capacidad para la industria metalmeccánica, Diciembre 2011, P. 104

<sup>84</sup>Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Diseño de puente grúa de 5 toneladas de capacidad para la industria metalmeccánica, Diciembre 2011, P. 103

En la figura 3.25 se puede apreciar una conexión soldada de placa base con el perfil de la columna y las ménsulas base que van ligadas para su reforzamiento.

El cordón tiene un ancho  $a$ , y los ejes mostrados son los ejes inerciales de la sección soldada, por tanto  $c$  es la distancia crítica de flexión desde el centro de inercia a la posición más distante de la sección.

El procedimiento de cálculo es a flexión, y establece que:

$$f_{bs} = \frac{M \cdot c}{I} \quad (\text{Ecuación 69}^{85})$$

Donde:

- $F_{bs}$  = el esfuerzo real a flexión de la soldadura
- $M$  = el momento flector máximo en el punto de conexión que se considera constante en todo el entorno de la soldadura.
- $c$  = la distancia crítica de flexión con respecto al eje centroidal.
- $I$  = el momento de inercia centroidal de la sección soldada

En la tabla 3.10 y 3.11 se presenta los tamaños mínimos de soldadura de filete basados en el espesor del material base y el tipo de metal de aporte a emplear, para la construcción de los elementos requeridos en el proceso de limpieza por inmersión, el anexo 6 se especifica las características los elementos a ser soldados.

<b>Tabla J 2.4 Tamaño Mínimo de Soldadura de Filete</b>	
Espesor de la parte unida más delgada, mm	Tamaño mínimo de soldadura de filete <sup>[a]</sup> , mm
Hasta 6 inclusive	3
Entre 6 y 13	5
Entre 13 y 19	6
Mayor que 19	8
<sup>[a]</sup> Dimensión del pie de la soldadura de filete. Se deben utilizar soldaduras de paso simple.	

Tabla 3.10 Tamaño mínimo de soldadura de filete  
Fuente: Manual AISC. P 16-156

<sup>85</sup>Tesis Escuela Politécnica Nacional, Diseño de puente grúa de 5 toneladas de capacidad para la industria metalmecánica, Diciembre 2011, P. 104

**Nota:** La siguiente Tabla resume las disposiciones de la AWS D1.1 para metales de aporte compatibles con el metal base. Existen otras restricciones también. Para una lista completa de metales base y metales de aporte compatibles precalificados ver la Tabla 3.1 de AWS D1.1.

Metal Base	Metal de Aporte Compatible
A36, espesor $\leq$ 19 mm	Electrodos E60 & E70
A36, espesor > 19 mm A588* A1011	A572(Gr.50&55) A913(Gr.50) A992 A1018 SMAW: E7015, E7016, E7018, E7028 Otros procesos: Electrodo E70
A913 (Gr.60&65)	Electrodos E80
<p>* Para resistencia a la corrosión y color similar a la base ver la Sección 3.7.3 de AWS D1.1.</p> <p>Notas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los electrodos deben cumplir con los requisitos de los Artículos A5.1, A5.5, A5.17, A5.18, A5.20, A5.23, A5.28, A5.29 de AWS.</li> <li>2. En juntas con metales base de diferente resistencia se debe utilizar cualquiera de los metales de aporte compatibles con la mayor resistencia del metal base o un metal de aporte compatible con la menor resistencia y produzca un pequeño depósito de hidrógeno.</li> </ol>	

Tabla 3.11 Metales de aporte según norma AWS D1.1

Fuente: Manual AISC. P. 16-156

En las tablas 3.12 y 3.13 se presentan las características mecánicas de los electrodos o material soldante según la AWS.

NÚMERO DE ELECTRODO AWS	RESISTENCIA ÚLTIMA kpsi (MPa)	RESISTENCIA DE FLUENCIA kpsi (MPa)	ELONGACIÓN (%)
E60xx	62 (427)	50 (345)	17–25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14–17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13–16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

\*Sistema de designación numérica de los electrodos según el código de especificaciones de la American Welding Society (AWS). Se utiliza un prefijo literal E con un grupo de cuatro o cinco dígitos, los dos o tres primeros indican la resistencia aproximada a la tensión. El último indica variantes en la técnica de soldadura, como la corriente eléctrica a usar. El penúltimo señala la posición de la junta como, por ejemplo, en plano horizontal, vertical o sobre cabeza. El conjunto completo de especificaciones puede obtenerse solicitándolo a la AWS.

Tabla 3.12 Propiedades mínimas a la tensión del material soldante  
Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica, Shingley Joseph, Quinta Edición. P. 450

TIPO DE CARGA	TIPO DE JUNTA	ESFUERZO PERMISIBLE	$n^*$
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52–1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.40S_y$	1.44

\*El factor de seguridad  $n$  ha sido calculado considerando la energía de distorsión.

Tabla 3.13 Esfuerzos permitidos por el reglamento AISC para metal soldante  
Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica, Shingley Joseph, Quinta Edición. P. 451

### 3.16 TEORIA PARA ELEMENTOS DE IZAJE

Existe un gran número de accesorios empleados en el izaje de cargas dentro de los cuales se puede encontrar.

Eslingas

Elementos de unión

Ganchos

Escuadras

Para el izaje de la canasta de carga de los elementos a ser procesados se determina el uso de eslingas, ya que estas permiten un izaje uniforme de la carga ya que sus ramales se pueden colocar en cada arista de la canasta.

#### 3.16.1 ESLINGAS

Son elementos muy utilizados en el izaje de cargas constituidas por cabos, cadenas o cables, con elementos de terminación según su uso, están constituidas por un cuerpo longitudinal provisto en sus extremos de ojales o de otros tipos de terminales como muestra la figura 3.26.

Su clasificación viene dada para facilitar o condicionar su uso por el material en la que esta construida siendo estos, cabo o cuerda (generalmente sintéticos, fibra, nylon, poliéster, etc.), cable metálico (generalmente de acero) y cadenas.

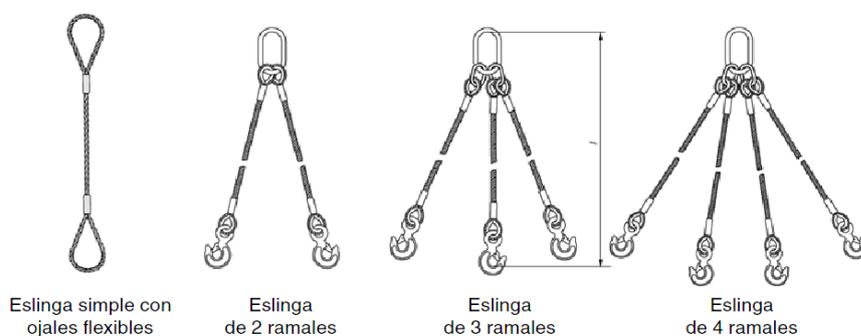


Fig. 3.26 Clases de eslinga para izaje

Fuente:<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/856a890/866w.pdf>

Las eslingas que se requieren para el izaje de la canastilla y productos a ser dados limpiados por medio del proceso de inmersión es la del tipo cable metálico ya que este estará en ocasiones en contacto con los productos químicos, debiendo resistir los mismos caso que no se daría con los otros materiales en los cuales también se fabrican las eslingas, la a selección de las eslingas esta dada por:

- Peso de la carga a elevar
- Carga de trabajo de la eslinga

Si no se conoce el peso de la carga a izar, se debe multiplicar su volumen por la densidad de la misma. La carga de izaje será la que considere la sumatoria del peso de la canasta y productos a ser procesados, se debe considerar también el número de ramales que se empleará en la eslinga para el izaje de la carga, ya que este valor influye directamente en la reacción producida en cada uno de ellos, determinándose ángulos de trabajo como figura 3.27, los cual esta dado por la cantidad de ramales empleados.

Empleando dos ramales la reaccione cada uno de ellos esta dada por.

$$R = \frac{P}{2} * \frac{1}{\text{Cos } \alpha} \quad (\text{Ecuación 77}^{86})$$

Empleando cuatro ramales la reaccione cada uno de ellos esta dada por.

$$R = \frac{P}{4} * \frac{1}{\text{Cos } \alpha} \quad (\text{Ecuación 77}^{87})$$

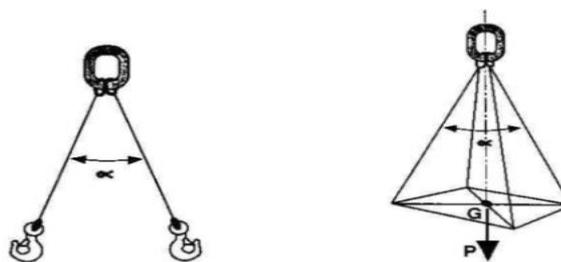


Fig. 3.27 Ángulo formado por los cables de las eslingas  
Fuente: <http://www.fiso-web.org/imagenes/publicaciones/archivos/2448.pdf>

<sup>86</sup><http://www.fiso-web.org/imagenes/publicaciones/archivos/2448.pdf>

<sup>87</sup><http://www.fiso-web.org/imagenes/publicaciones/archivos/2448.pdf>

Ángulo entre ramales 	Coefficiente
0°	1,00
40°	1,06
50°	1,10
60°	1,16
70°	1,22
80°	1,31
90°	1,42
100°	1,56
110°	1,75
120°	2,00
130°	2,37
140°	2,93
150°	3,86
160°	5,78

Tabla 3.14 Coeficiente de sobre carga en función del ángulo entre ramales de sustentación.  
Fuente: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp\\_221.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_221.pdf)

Una vez obtenido el valor de la reacción en cada ramal de la eslinga debe ser este multiplicado por un coeficiente de sobrecarga determinado por el ángulo formado entre los dos ramales de sustentación como indica la tabla 3.14

Una vez determinada la carga de trabajo ejercida en cada ramal se determina el diámetro del cable a utilizar dado por la tabla 3.15.

Cargas de trabajo (en Kg.) de los cables de uso mas frecuente			
Diámetro en m.m.	9,45	12,6	15,7
18,9      25,2			
Carga en Kg.	710	1.270	1.970
2.850      5.080			

Tabla 3.15 Sobre carga en función del ángulo entre ramales de sustentación  
Fuente: <http://www.fiso-web.org/imagenes/publicaciones/archivos/2448.pdf>

### 3.17 TEORÍA PARA SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE TINAS

#### 3.17.1 TRASFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

La transferencia de calor por conducción es la transferencia de energía de partículas más energéticas de una sustancia a las adyacentes menos energéticas debido a las interacciones de ellas, la conducción ocurre en sólidos, líquidos y gases, en los gases y en los líquidos la conducción ocurre por el choque de las moléculas durante su movimiento aleatorio, en los sólidos ocurre por la combinación de vibraciones de las moléculas de una estructura y la energía transportada por electrones libres.

La conducción es el único mecanismo de transmisión del calor posible en los medios sólidos opacos, cuando en estos cuerpos existe un gradiente de temperatura en la dirección  $x$ , el calor se transmite de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura, siendo el calor transmitido por conducción  $Q$ , proporcional al gradiente de temperatura  $dT/dx$ , y a la superficie  $A$ , a través de la cual se transfiere, esto es:

$$Q \propto A (dT/dx) \quad (\text{Ecuación 55}^{88})$$

Dónde  $T$  es la temperatura y  $x$  la dirección del flujo de calor (no el sentido).

El flujo real de calor depende de la conductividad térmica  $k$ , que es una propiedad física del cuerpo, por lo que la ecuación anterior se puede expresar en la forma:

$$Q = -k A (dT/dx) \quad (\text{Ecuación 56}^{89})$$

Esta ecuación descrita anteriormente se la conoce como Ley de Fourier, en la que si la superficie  $A$  de intercambio térmico se expresa en  $m^2$ , la temperatura en Kelvin ( $^{\circ}K$ ), la distancia  $x$  en metros y la transmisión del calor en  $W$ , las unidades de  $k$  serán  $W / m^{\circ}K$ .

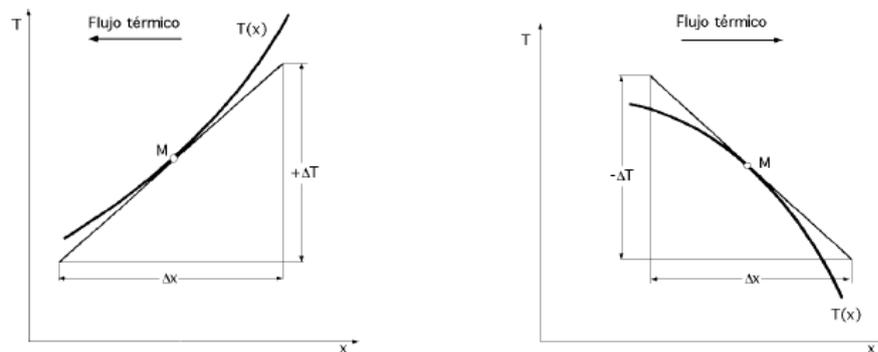


Fig. 3.28 Determinación de signo para la trasmisión de calor por conducción

El signo menos negativo es consecuencia del segundo principio de la termodinámica, según el cual, el calor debe fluir hacia la zona de temperatura más baja, figura 3.28.

<sup>88</sup>B.V. Karlekar, Transferencia de Calor, Segunda Edición, P. 4

<sup>89</sup>Idem. P. 5

El gradiente de temperaturas es negativo si la temperatura disminuye para valores crecientes de  $x$ , por lo que si el calor transferido en la dirección positiva debe ser una magnitud positiva, en el segundo miembro de la ecuación anterior hay que introducir un signo negativo.

### Pared plana.

Una aplicación inmediata de la ley de Fourier corresponde al caso de la transmisión del calor a través de una pared plana, figura 3.29. Cuando las superficies de la pared se encuentran a temperaturas diferentes, el calor fluye sólo en dirección perpendicular a las superficies. Si la conductividad térmica es uniforme, de la integración de la ecuación de Fourier se obtiene:

$$Q = -\frac{kA}{L}(T_2 - T_1) = \frac{kA}{L}(T_1 - T_2) = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{L}{kA}} \quad (\text{Ecuación 57}^{90})$$

en la que  $L$  es el espesor de la pared,  $T_1$  es la temperatura de la superficie de la izquierda si  $x = 0$ ,  $T_2$  es la temperatura de la superficie de la derecha  $x = L$ .

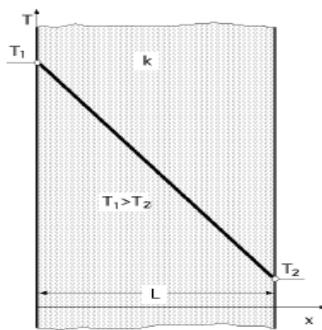


Fig. 3.29 Conducción de calor a través de un muro plano

### Analogía eléctrica de la conducción.

La analogía entre el flujo de calor y la electricidad, permite ampliar el problema de la transmisión de calor por conducción a sistemas más complejos, utilizando conceptos desarrollados en la teoría de circuitos eléctricos. Si la transmisión de calor se considera análoga al flujo de electricidad, la expresión  $(L/kA)$  equivale a una

<sup>90</sup>B.V. Karlekar, Transferencia de Calor, Segunda Edición, P. 9

resistencia y la diferencia de temperaturas a una diferencia de potencial, por lo que la ecuación anterior se puede escribir en forma semejante a la ley de Ohm:

$$Q = -\frac{\Delta T}{R} \quad (\text{Ecuación } 58^{91})$$

Donde:

$$\text{Potencial térmico } \Delta T = T_1 - T_2 \quad (\text{Ecuación } 59^{92})$$

$$\text{Resistencia eléctrica } R = \frac{L}{k A} \quad (\text{Ecuación } 60^{93})$$

La inversa de la resistencia térmica es la conductividad térmica ( $k / L$ )  $W / m^2 K$ , o conductancia térmica unitaria del flujo de calor por conducción.

### Paredes planas en serie.

Si el calor se propaga a través de varias paredes en buen contacto térmico, capas múltiples, el análisis del flujo de calor en estado estacionario a través de todas las secciones tiene que ser el mismo. Sin embargo y tal como se indica en la figura 3.30 en un sistema de tres capas, los gradientes de temperatura en éstas son distintos. El calor transmitido se puede expresar para cada sección y como es el mismo para todas las secciones, se puede

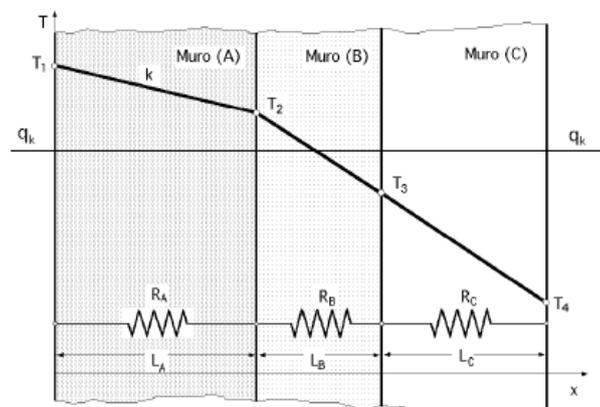


Fig. 3.30 Conducción de calor a través de varios muros plano.

<sup>91</sup>B.V. Karlekar, Transferencia de Calor, Segunda Edición, P. 10

<sup>92</sup>Ídem, P. 11

<sup>93</sup>Ídem, P. 11

$$Q = \frac{(T_2 - T_1)}{\left[\frac{L}{kA}\right]^a} = \frac{(T_2 - T_1)}{\left[\frac{L}{kA}\right]^b} = \frac{(T_2 - T_1)}{\left[\frac{L}{kA}\right]^c} = \frac{(T_2 - T_1)}{\left[\frac{L}{kA}\right]^a + \left[\frac{L}{kA}\right]^b + \left[\frac{L}{kA}\right]^c} \quad (\text{Ecuación 61}^{94})$$

$$Q = \frac{(T_1 - T_{i+1})}{\left[\frac{L}{kA}\right]^i} = \frac{(T_1 - T_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{L}{kA}\right]^i} \quad (\text{Ecuación 62}^{95})$$

En la que T1 y T n+1 son la temperatura superficial de la capa 1 y la temperatura superficial de la capa n, respectivamente.

### 3.17.2 TRASFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

Los problemas de convección en la transferencia de calor son considerablemente más difíciles, que los que se encuentra en la conducción, esto ocurre dado que el mecanismo básico para la convección es una combinación de conducción y movimiento de fluidos, ocurriendo la convección siempre que una superficie este en contacto con un fluido que tienen temperatura diferente, usándose la siguiente expresión para determinar las razones de transferencia de calor por convección.

$$Q = h A (T_2 - T_1) \quad (\text{Ecuación 63}^{96})$$

En la ecuación enunciada interviene el coeficiente conectivo de transferencia de calor determinándose este según la tabla 3.16, bajo condiciones diferentes de trabajo.

CONDICIÓN	h (Btu/h pie oF)
Aire conveccion libre	1-3
Aire o vapor sobrecalentado	3-50
Aire convección forzada	100-300
Agua conveccion forzada	50-2000
Agua, hirviendo	500-10000
Vapor condensandose	1000-20000

Tabla 3.16 Valores de coeficiente conectivo de transferencia de calor  
Fuente: B.V. Karlekar, Transferencia de Calor,

<sup>94</sup>B.V. Karlekar, Transferencia de Calor, Segunda Edición, P. 12

<sup>95</sup>Idem. P. 12

<sup>96</sup>Idem. P. 15

Se puede introducir en la ecuación de calor el concepto de resistencia térmica para el fluido de calor por convección, en una forma semejante a la realizada con la conducción de calor a través de placas resultando.

$$Q = \frac{(T_2 - T_1)}{\left[\frac{1}{hA}\right]} \quad \text{(Ecuación 64}^{97}\text{)}$$

Se aprecia que el fluido de corriente es Q y la fuerza de empuje es  $(T_2 - T_1)$ , y puesto que,

$$Q = -\frac{\Delta T}{\sum R_i} \quad \text{(Ecuación 65}^{98}\text{)}$$

La Resistencia térmica para la convección debe ser igual a  $(1 / h A)$

La ecuación que resulta para el flujo de calor Q es:

$$Q = \frac{(T_2 - T_1)}{\left[\frac{L}{kA}\right] + \left[\frac{1}{kA}\right]} \quad \text{(Ecuación 66}^{99}\text{)}$$

### 3.17.3 BALANCE DE ENERGÍA PARA SISTEMAS CERRADOS

Un sistema cerrado consta de una masa fija, La energía total E en la mayor parte de los sistemas consiste en la energía interna U, este es el caso para los sistemas estacionarios ya que no comprenden cambios en la velocidad o elevación del proceso reduciéndose la relación de balance de energía a:

$$E_{\text{ent.}} - E_{\text{sal}} = \Delta U = m C_v \Delta T \quad \text{(Ecuación 67}^{100}\text{)}$$

En donde se expresa el cambio de energía interna en términos de la masa m, el calor específico a volumen constante  $C_v$ , y el cambio de temperatura  $\Delta T$ , del sistema

<sup>97</sup>B.V. Karlekar, Transferencia de Calor, Segunda Edición, P. 16

<sup>98</sup>Idem. P. 16

<sup>99</sup>Idem P. 17

<sup>100</sup>Yanus A. Cengel, Transferencia de Calor y Masa, P. 12

cuando en el sistema solo comprende transferencia de calor y ninguna interacción de trabajo cruza su frontera, la relación de balance se reduce todavía más hasta

$$Q = m C_v \Delta T \quad (\text{Sistema cerrado estacionario, sin trabajo}) \quad (\text{Ecuación 68}^{101})$$

Donde  $Q$  es la cantidad neta transferida de calor que entra o sale del sistema.

#### **3.17.4 BALANCE DE ENERGÍA PARA SISTEMAS DE FLUJO ESTACIONARIO**

Un gran número de equipos en ingeniería como los calentadores de agua y radiadores de automóviles, implica flujo de masa hacia dentro y hacia fuera del sistema considerándolos estos como volúmenes de control analizados la mayoría en condiciones estacionarias de operación, esto quiere decir ningún cambio en el tiempo en una ubicación específica.

El contenido total de energía de un volumen de control durante un proceso de flujo estacionario permanece constante es decir el cambio de energía total del volumen de control durante un proceso de este tipo es igual a 0,  $\Delta E_{vc} = 0$  esto significa que la cantidad de energía que entra en el sistema en todas las formas calor, trabajo, transferencia de masa para un proceso de flujo estacionario debe ser igual a la cantidad de energía que sale de él.

La cantidad de masa que fluye a través de una sección transversal por unidad de tiempo se llama gasto de masa  $\dot{m}$ , un fluido puede fluir hacia dentro o fuera de un volumen de control a través de tubos o ductos, siendo este gasto de masa que fluye proporcional al área de la sección trasversal  $A_c$ , la densidad  $\rho$  y la velocidad del fluido.

$$\dot{m} = \rho V A_c \quad (\text{Ecuación 69}^{102})$$

---

<sup>101</sup>Idem. P. 12

<sup>102</sup>Yanus A. Cengel, Transferencia de Calor y Masa, P. 13

El Volumen de un fluido por una sección transversal por unidad de tiempo se llama gasto volumétrico  $\dot{V}$  y se expresa como:

$$\dot{V} = VAc = \dot{m} / \rho \quad (\text{Ecuación 70}^{103})$$

Nótese que el gasto de masa de un fluido en una sección trasversal permanece constante durante el flujo estacionario, sin embargo este no es el caso de un gas volumétrico a menos que la densidad del fluido permanezca constante. En un sistema de flujo estacionario con una entrada y una salida la velocidad de flujo de masa hacia dentro debe ser igual a la velocidad de nada hacia fuera de él, es decir:

$$\dot{m}_{\text{entra}} = \dot{m}_{\text{sale}} = \dot{m} \quad (\text{Ecuación 71}^{104})$$

Si los cambios en la energía cinética y potencial son despreciables que es el caso más común y no se tiene interacción de trabajo el balance de energía para el sistema de flujo estacionario, se reduce a:

$$\dot{Q} = \dot{m} \Delta h = \dot{m} C_p \Delta T \quad (\text{Ecuación 72}^{105})$$

Donde  $\dot{Q}$  es la velocidad de transferencia neta de calor por unidad de tiempo hacia dentro o fuera del volumen de control, (Potencia).

### **3.17.5 SISTEMAS CON RESISTENCIA INTERNA DESPRECIABLE ENFOQUE DE PARÁMETRO DE BULTO**

El caso que mejor explica este fenómeno es en el cual un sistema tiene una resistencia interna al flujo de calor despreciable, en estos casos la resistencia conectiva en la frontera del sistema es muy grande, comparada con la resistencia interna debida a la conducción, es decir sólido se comporta como si tuviera una conductividad térmica infinita, en el sentido de que la temperatura es siempre uniforme a través de todo el sólido y varia únicamente con el tiempo.

---

<sup>103</sup>Idem. P. 13

<sup>104</sup>Idem. P. 13

<sup>105</sup>Idem. P. 13

Este enunciado en la realidad es imposible de conseguir con precisión, ya que todos los materiales tienen una conductividad térmica finita y al agregar o quitar calor debe existir un gradiente de temperatura conseguir como lo demuestra la ley de conducción de calor de Fourier.

$$Q = -kA(\partial T / \partial n) \quad (\text{Ecuación 73}^{106})$$

Sin embargo cuando la resistencia convectiva de la frontera del sólido es grande comparada con la resistencia interna debido a la conducción la parte principal de la variación de temperatura espacial ocurre fuera de la frontera del sistema, con tan solo una pequeña variación en la temperatura interna, conocido esto como enfoque de parámetro de bulo.

Si se introduce el número sin dimensiones llamado número de Biot, con el fin de validar el enfoque paramétrico de bulo, el número de Biot es la razón la resistencia interna y la resistencia externa, si este número de Biot es pequeño esto significa un valor de resistencia interna baja.

Se ha encontrado valores pequeños para placas, cilindros y esferas, en donde si Biot es menor a 0.1 el error que se introduce al suponer que la temperatura es uniforme en el espacio en un instante dado es menor que 5%., entonces Biot es.

$$Bi = \frac{hL_c}{k} \quad (\text{Ecuación 74}^{107})$$

La resistencia interna es  $L_c/k$  donde  $L_c$  es la longitud característica, igual al volumen del sólido dividido para el área de su superficie, que intercambia calor en el fluido que lo rodea, no considera superficies adiabáticas,  $K$  es la conductividad térmica del sólido. La resistencia interna es  $1/h$ , donde  $h$  es el coeficiente convectivo de transferencia de calor en la frontera del sólido.

---

<sup>106</sup>B.V. Karlekar, Transferencia de Calor, Segunda Edición, P. 173

<sup>107</sup>Idem. P. 173

Considerando la temperatura variable en el sistema en el transcurso del tiempo la siguiente ecuación nos da la temperatura como función del tiempo “t” para un cuerpo que inicialmente se encuentra a una temperatura  $T_0$  y que se encuentra situado en un medio ambiente convectivo a una temperatura  $T_\infty$ , para valores del número de Biot menor que 0.1.

$$\frac{T-T_\infty}{T_0-T_\infty} = e^{-\frac{hA}{\rho cV} t} \quad (\text{Ecuación 75}^{108})$$

### 3.17.6 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR TOTAL U

Si tenemos dos fluidos separados por una pared circular el coeficiente de transferencia de calor total U depende no solo de los coeficientes convectivos, de transferencia de calor  $h_i$  y  $h_o$  sino además de la superficie interior y exterior del tubo y también de las áreas de superficie  $A_1$  y  $A_2$  del interior y exterior del tubo.

Cuando se considera fluidos en un intercambiador de calor fluyendo fuera y dentro de un tubo se puede escribir la siguiente ecuación para la razón de transferencia de calor entre los dos fluidos.

$$Q = 2\pi r_o L h_o (T_1 - T_o) = \frac{2\pi k L (T_o - T_i)}{\ln(r_o/r_i)} = 2\pi r_i L h_i (T_i - T_2) \quad (\text{Ecuación 76}^{109})$$

Dónde.

$T_1$  = temperatura del fluido exterior

$T_o$  = temperatura de la superficie exterior del tubo

$T_i$  = temperatura de la superficie interior del tubo

$T_2$  = temperatura del fluido interior

L = longitud del tubo

$r_o$  = radio exterior del tubo

$r_i$  = radio interior del tubo

k = conductividad térmica del material del tubo

<sup>108</sup>B.V. Karlekar, Transferencia de Calor, Segunda Edición, P. 177

<sup>109</sup>Idem. P. 692

Si tiene:

$$\Delta T = T_1 - T_2, A_o = 2\pi r_o L, \text{ y } A_i = 2\pi r_i L \quad (\text{Ecuación 77}^{110})$$

Se puede replantear la ecuación de la siguiente manera.

$$Q = A_o U_o \Delta T \quad (\text{Ecuación 78}^{111})$$

$$Q = A_i U_i \Delta T \quad (\text{Ecuación 79}^{112})$$

Donde U:

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{r_o}{k} \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \left(\frac{r_o}{r_i}\right) \frac{1}{h_i} \quad (\text{Ecuación 80}^{113})$$

$$\frac{1}{U_i} = \left(\frac{r_i}{r_o}\right) \frac{1}{h_o} + \frac{r_i}{k} \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{1}{h_i} \quad (\text{Ecuación 81}^{114})$$

---

<sup>110</sup>Idem. P. 692

<sup>111</sup>Idem. P. 692

<sup>112</sup>Idem. P.692

<sup>113</sup>Idem. P. 692

<sup>114</sup>Idem. P. 692

## CAPITULO IV

### DISEÑO, CÁLCULO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y EQUIPOS PARA EL PROCESO DE LIMPIEZA

En el presente capítulo se realizará el diseño, cálculo y selección de los elementos y equipos requeridos para el proceso de limpieza por inmersión, sustentados en los requerimientos de producción y teoría científica para el mismo.

#### 4.1 CONSIDERACION INICIAL PARA EL DISEÑO

Para el diseño de los elementos estructurales construidos de acero A-36 se empleará el método ASD el cual como se indicó afecta al esfuerzo de fluencia del material, considerándose la resistencia de fluencia del material desde 2120 kg/cm<sup>2</sup> hasta una resistencia última de rotura de 3870 kg/cm<sup>2</sup>, presentándose este rango de acuerdo para fines de cálculo se tomará como resistencia de fluencia el valor de 2450 kg/cm<sup>2</sup>, el método ASD de diseño indica que a este valor se debe introducir un factor de seguridad  $F_s$  para obtener un esfuerzo de trabajo, siendo este factor de seguridad igual a 1.1.

$$\sigma_y = 2450 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \sigma_t = \frac{\sigma_y}{F_s} = \frac{2450}{1.1} \Rightarrow \sigma_t = 2227.27 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Los elementos que comprenden el proceso de limpieza por inmersión para láminas metálicas son los que se enumeran a continuación, se debe considerar adicionalmente lo equipos requeridos para que estos elementos trabajen adecuadamente los cuales se seleccionaran según su requerimiento.

- Canasta de carga
- Tinas o cubas de para lavado por inmersión
- Sistema de trasportación
- Horno de secado

Se considera basados en los resultados obtenidos en las tabas 2.2 y 2.3 que los productos a ser procesados más representativos son las bandejas y parantes para estanterías metálicas, los cuales serán los que determinen las dimensiones y características de los elementos a diseñar, estos elementos diseñados deben satisfacer la producción actual y el incremento estimado para el año 2012.

#### **4.1.1 CANTIDAD Y TIEMPO DE PRODUCCIÓN ESTIMADO PARA EL PROCESO DE INMERSION**

La cantidad y tiempo de limpieza de los productos fabricados en la Obra Mecánica Don Bosco están estrechamente relacionados, pues estos parámetros se deben analizar conjuntamente para determinar si los elementos a diseñarse y calcularse satisfacen los requerimientos de producción actual y futura.

Bajo esta consideración se analizan primero la cantidad estimada de producción, considerando el diseño de una canasta de carga la cual será el elemento inicial a diseñar en el proceso de limpieza y el cual determinará las dimensiones del resto de los elementos requeridos, posteriormente se determinara el tiempo estimado de producción empleado si se desarrollara el proceso con la canasta diseñada, se dimensiona así una canasta de carga inicialmente con un perfil tubular cuadrado de 2 pulgadas con un espesor de 1.5mm existente en el mercado y con un formato de largo 2.8m, alto de 0.75m y ancho de 0.92m, con lo cual se obtienen la distribución y capacidad de carga de productos como indican las tablas 4.1 y 4.2.

<b>Producto</b>	<b>Peso unitario Kg.</b>	<b>Capacidad de carga en canasta</b>	<b>Peso total kg.</b>
<b>Bandejas de tool sin doblar (mm)</b>			
0.75 x 1220 x 390	2.80	80	224
0.75 x 1220 x 490	3.40	80	272
0.75 x 1220 x 610	4.25	80	340
0.75 x 1220 x 690	4.95	80	<b>396</b>

Tabla 4.1 Peso y cantidad de productos, bandejas sin doblar por carga  
Fuente; Mecánica Don Bosco

Producto	Peso unitario Kg.	Peso de refuerzo	Cantidad de refuerzos por bandeja	Capacidad de carga en canasta	Peso total Kg.
<b>Bandejas de tool dobladas con refuerzo inferior (mm)</b>					
0.75 x 1220 x 390	2.8	N/A	N/A	32	89.6
0.75 x 1220 x 490	3.4	0.5	1	32	124.8
0.75 x 1220 x 610	4.25	0.5	2	32	168
0.75 x 1220 x 690	4.95	0.5	3	32	<b>206.4</b>
<b>Parantes de tool doblados (m)</b>					
Longitud 2.40	2.35	N/A	N/A	56	<b>131.6</b>

Tabla 4.2 Peso y cantidad de productos, bandejas y parantes doblados por carga  
Fuente: Mecánica Don Bosco

Una vez determinada la capacidad de carga dada por la canasta diseñada, se determina los tiempos estimados en el proceso de inmersión tabla 4.3, para 80 bandejas sin doblar y 56 parantes empleados en estanterías metálicas.

PROCESO	TIEMPO (min)
Carga de productos en tina	10
Traslado de productos a primera tina	2
Inmisión en tina de desengrase	20
Inmisión en tina de enjuague	2
Inmersión en tina de fosfato	10
Inmersión en tina de enjuague	1
Descarga en canasta para secado	10
Secado en horno	5
<b>TOTAL</b>	<b>60 min</b>

Tabla 4.3 Tiempo estimado en el proceso de inmersión para bandejas y parantes  
Fuente: Mecánica Don Bosco

Realizando la comparación entre el proceso manual y el proceso de inmersión se determina que la limpieza total de una estantería según la tabla 2.4 es de 29.5 min, mientras que para el proceso por inmersión es de 13.66 min empleando una persona como en el proceso de inmersión como se muestra en la tabla 4.4.

<b>Producto</b>	<b>Elementos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo min.</b>	<b>Total min.</b>
Estanterías	Bandejas	6	1.33	7.99
	Parantes	4	1.42	5.71
			<b>TOTAL min.</b>	<b>13.66 min</b>

Tabla 4.4 Tiempo estimado de limpieza para una estantería de 6 bandejas  
Fuente: Mecánica Don Bosco

Cabe mencionar que los elementos como refuerzos y esquineros se los podrá procesar al granel en la canasta, por lo cual el tiempo de limpieza de estos es mínimo y no afecta considerablemente al tiempo de limpieza final en la estantería procesada por inmersión, bajo esta consideración se tienen el tiempo empleado en la limpieza de las estanterías para el año 2011 y estimación para el 2012, tabla 4.5, además de la estimación de producción hasta el año 2019 en la tabla 4.6.

<b>Estanterías procesadas</b>	<b>Cantidad incremento 16.66 % anual</b>	<b>Tiempo empleado proceso manual (min.)</b>	<b>TOTAL (min)</b>	<b>TOTAL (días)</b>
2011	3000 (inicial)	29.5	88500	<b>184</b>
2012	3499.8	29.5	103.244.1	<b>215</b>

Tabla 4.5 Tiempo empleado en limpieza para la producción anual de estanterías 2011 y estimada para el 2012 utilizando el proceso manual  
Fuente: Mecánica Don Bosco

<b>Estanterías procesadas</b>	<b>Cantidad con incremento de 16.66% anual</b>	<b>Tiempo estimado proceso por inmersión (min.)</b>	<b>TOTAL (min)</b>	<b>TOTAL (días)</b>	<b>Año</b>
2011	3000.00	13.66	40980	85	0
2012	3499.80	13.66	47807.3	100	1
2013	4082.87	13.66	55772	116	2
2014	4763.07	13.66	65063.6	136	3
2015	5556.60	13.66	75903.2	158	4
2016	6482.33	13.66	88548.6	<b>184</b>	<b>5</b>
2017	7562.29	13.66	103301	215	6
2018	8822.16	13.66	120511	251	7
2019	10291.93	13.66	140588	293	8

Tabla 4.6 Tiempo empleado en limpieza para la producción anual de estanterías 2011 y estimada para 5 años empleando el proceso de inmersión  
Fuente: Mecánica Don Bosco

Realizando el análisis en función de la cantidad y tiempo de producción de las tablas 4.5 y 4.6 se determina que el proceso de inmersión satisface el incremento del 16.66% estimado para el año 2011, y que este proceso en el año 2015 llegará a la cantidad producida en el año 2010, siempre y cuando el incremento anual de producción se mantenga en el porcentaje mencionado.

#### 4.2 CANASTA DE CARGA

Basados en la distribución, cantidad y peso de los productos considerados en la tabla 4.1 y 4.2 se determina la carga que soportará la canasta siendo esta de 396 Kg. y considerando las dimensiones iniciales de la canasta basados en estos productos, se procede a calcular la resistencia del elemento mas crítico en esta, considerando la figura 4.1 y 4.2.

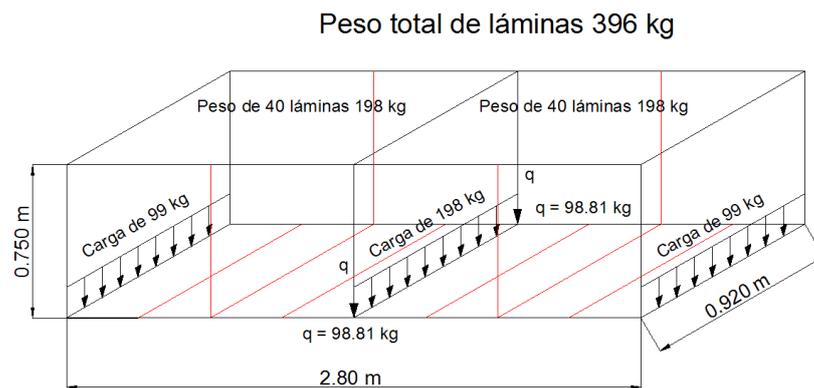


Fig. 4.1 Diagrama de medidas y cargas en canasta

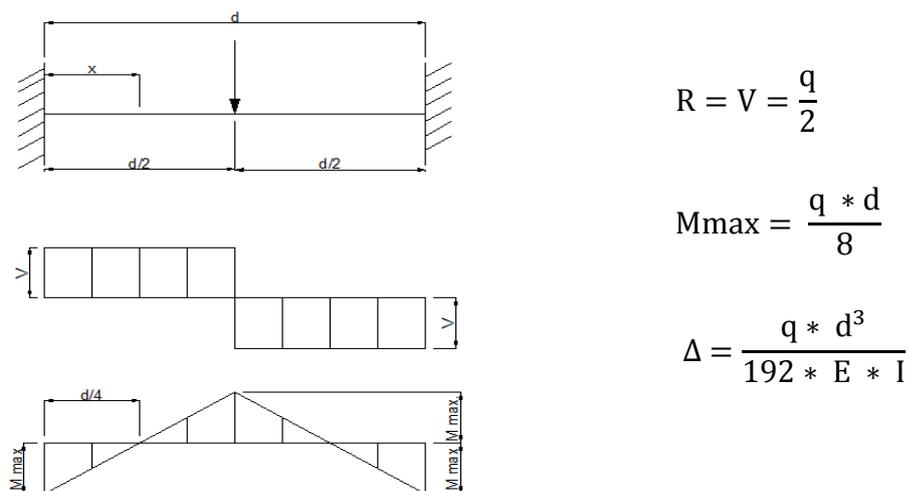


Fig. 4.2 Diagramas y fórmulas para viga empotrada

Basada en la carga que se ejerce sobre el perfil más crítico, determinado este por su longitud se calcula las dimensiones del mismo, siendo el perfil seleccionado el que servirá por construcción para todos los elementos de la canasta.

Dónde.

$L = d =$  Distancia de perfil longitudinal de canasta 2.80 m  $\Rightarrow$  280 cm.

$q =$  Carga en perfil longitudinal 98.81 kg.

$$M_{\max} = \frac{q * d}{8}$$

$$M_{\max} = \frac{99 \text{ kg} * 280 \text{ cm}}{8} = 3465 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$S_x = \frac{M_{\max}}{0.66 * \sigma_t}$$

$$S_x = \frac{3465 \text{ kg} * \text{cm}}{0.66 * \left(\frac{2450}{1.1}\right) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 2.59 \text{ cm}^3$$

Se selecciona un tubo cuadrado de 1 1/2 pulg., con un espesor de 1.5 mm donde la inercia es 6.48 cm<sup>4</sup>, con lo cual calculamos las deflexiones.

$$\Delta = \frac{q * d^3}{192 * E * I}$$

$$\Delta = \frac{99 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} * (280 \text{ cm})^3}{192 * 2.10 \text{E}^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 6.48 \text{ cm}^4} = 0.83 \text{ cm} \left| \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right| = 8.3 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{d}{360}$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{280 \text{ cm}}{360} = 0.770 \text{ cm} \left| \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right| = 7.7 \text{ mm}$$

Se aprecia que con el tubo seleccionado la deflexión calculada supera la admisible, por lo tanto se deberá determinar un perfil de mayor sección e inercia.

Se selecciona el tubo cuadrado de 2 pulg, con este se tiene un  $S_x = 4.42 \text{ cm}^3$  y una inercia  $I = 13.20 \text{ cm}^4$ , con lo cual se procedemos a calcular la deflexión con el nuevo perfil.

$$\Delta = \frac{q * d^3}{192 * E * I}$$

$$\Delta = \frac{99 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} * (280 \text{ cm})^3}{192 * 2.10\text{E}6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 13.20 \text{ cm}^4} = 0.408 \text{ cm} \left| \frac{10\text{mm}}{1\text{cm}} \right| = 4.08 \text{ mm}$$

$$\Delta \text{ max} = \frac{d}{360}$$

$$\Delta \text{ max} = \frac{280 \text{ cm}}{360}$$

$$\Delta \text{ max} = 0.770 \text{ cm} \left| \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right| = 7.7 \text{ mm}$$

El elemento seleccionado tiene una deflexión menor a la deflexión admisible por ende el perfil seleccionado resiste las cargas dadas por los productos a procesarse.

Se determina a continuación el peso de la canasta el cual servirá para determinar el diseño del sistema de transportación, tabla 4.7, cabe mencionar que se a considerado el valor de 38 kg., para posibles accesorios empleados para colocar los productos en el interior de esta canasta.

<b>Componetes Canasta</b>	<b>Cant.</b>	<b>Dimensiones m.</b>	<b>Total m.</b>	<b>Peso de 6 m</b>	<b>Peso Total Kg.</b>
Tubos longitudinales	4	2.8	11.2	13.74	25.65
Tubos verticales	10	0.75	7.5	13.74	17.18
Tubos transversales	7	0.92	6.44	13.74	14.74
Acesorios	1				38.00
				<b>TOTAL</b>	<b>95.57</b>

Tabla 4.7 Peso de canasta de carga  
Realizado: Miguel Angel Merchán

Los accesorios requeridos para el izaje de la canasta de carga son cáncamos y cable de acero los cuales están seleccionados basados en el catalogo presentado en el anexo 5, siendo la carga a considerar para la selección de la canasta la sumatoria de.

Peso de productos de a ser procesados	396.00 kg.
Peso de canasta sin accesorios	<u>57.57 kg.</u>
Peso total	<b>453.57 kg.</b>

Para determinara el esfuerzo que el cáncamo debe soportar se divide la carga total de los productos y la canasta para las cuatro aristas en las cuales estarán colocados, de esta manera el valor requerido de resistencia para cada cáncamo es de 113.39 kg.

Basado en este valor se selecciona un cáncamo giratorio, anexo 5, HR-125M (1016644) con una carga limite de trabajo de 2150 a 2700 kg, determinado este cáncamo ya que al ser giratorio se alinea a ramal de la eslinga y al polipasto disminuyendo así el esfuerzo en la estructura de la canasta, adicionalmente este elemento seleccionado dispone de un perno de longitud 60 mm el cual atravesará el tubo cuadrado y se asegurará a este por medio de arandela y tuerca, en la figura 4.3 se presenta la canasta diseñada.



Fig. 4.3 Canasta de carga para lavado de productos  
Realizado: Miguel Angel Merchán  
Diseño en software Solid Works V. 2010

### **4.3 DIMENSIONES DE TINAS DE INMERSIÓN**

Las dimensiones de las tinas para el proceso de lavado están en función de las dimensiones de la canasta que se introducirá en ellas, de esta manera se ha determinado las siguientes medidas, largo 3.0 m, alto de 1.22 m y ancho de 1.22 m, medidas que optimizan el material proveniente de fábrica para su construcción, se procede con su diseño y cálculo.

Las tinas o cubas de lavado se dividen en tres elementos como son:

- Tinas que contiene en su interior el líquido de limpieza.
- Base o cama para apoyo de tina.
- Sistema de calefacción para tina de desengrasante y fosfato.

#### **4.3.1 TINAS INMERSION**

A continuación se procede a diseñar las tinas en las cuales serán inmersos los sustratos, basados en las medidas de la canasta diseñada anteriormente y en las dimensiones comerciales del materiales que se emplearan su construcción como por ejemplo la lámina de hierro A36, anexo 4, siendo las medidas determinadas para el cálculo de las tinas siguientes, longitud 3.0 m, alto de 1.22 m y ancho de 1.22 m.

##### **4.3.1.1 PLACA BASE DE TINA**

Para calcular el espesor de la placa que servirá de base para las tinas de lavado se parte la Teoría de Placas expresada anteriormente, considerando que no es recomendable que la tina se apoye directamente sobre una superficie plana (piso) pues se debe evitar su deterioro por oxidación y se debe tener la opción de movilizarla en alguna ocasión, dificultándose su traslado si esta apoyada al piso directamente y mas aun si se encuentra llena de liquido.

Al tener una longitud de tina de 3.0 m su deformación será considerable si la placa base se apoya solo en perfiles longitudinales a lo largo de la tina, debiendo emplearse un gran espesor de lámina para disminuir esta deformación, esto implica una elevación en el costo de fabricación de la tina, por tal motivo se procede a dividir dicha longitud en tres cuadrantes iguales en los cuales se colocaran vigas

inferiores transversales de menor dimensión unidos al perfil longitudinal que servirán como base de contacto con el piso, de esta manera se determinara el espesor requerido en estos cuadrantes, los cuales estará también en función a la carga hidrostática provocada por el líquido que la tina contiene, una de estas áreas entre las vigas transversales consideradas se presenta en la figura 4.4.

Datos del líquido:

$\rho$  = Densidad de agua líquido  $1000 \text{ kg/m}^3$

$h$  = Altura de la tina 1.22 m (máxima altura crítica de líquido)

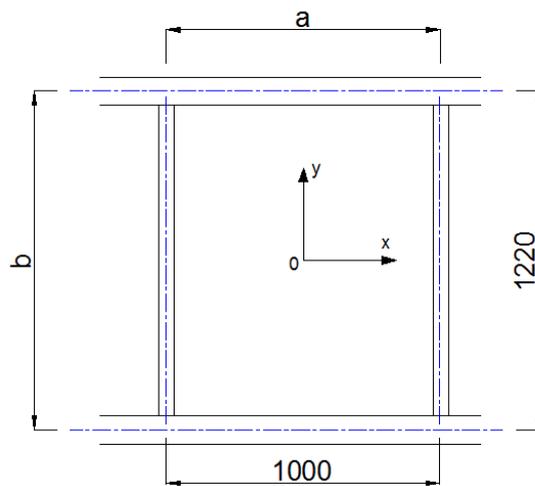


Fig. 4.4 Distancias a tomar para razón  $n = b/a$ . placa base dividida en tres espacios  
Realizado: Miguel Angel Merchán

$$q = \rho * h$$

$$q = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.22 \text{ m} = 1220 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \left| \frac{1 \text{ m}^2}{(100 \text{ cm})^2} \right| = 0.122 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

El valor de la razón  $n = b/a$  es:

$a$  = menor dimensión 1000 mm  $\Rightarrow$  100 cm

$b$  = mayor dimensión 1220 mm  $\Rightarrow$  122 cm

$$n = \frac{b}{a}$$

$$n = \frac{122}{100} = 1.22$$

n = b/a	Centro de la placa		Centro del lado mayor	ψ
	εx	εy	εy max	
1	0.53	0.53	1.24	0.25
1.5	0.48	0.88	1.82	0.394
2	0.31	0.94	1.92	0.431
α̃	0.3	1	2	0.455

Interpolando el valor calculado n = 1.22 obtenido de la relación n = b/a, en la tabla 3.6 de deformaciones unitarias se obtiene el valor de  $\epsilon_y = 0.684$ , en el eje y, este valor se remplazamos en la formula siguiente.

$$e = \sqrt{\frac{\epsilon_y * q * a^2}{\sigma_t}}$$

$$e = \sqrt{\frac{0.684 * 0.122 * (100)^2}{\left(\frac{2450}{1.1}\right)}}$$

$$e = 0.37 \text{ cm} \left| \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right| = 3.7 \text{ mm} = 4 \text{ mm}$$

La base de la tina es el punto más crítico para el diseño y se requiere de un espesor de lámina de 3.7 mm, comercialmente se encuentra en el mercado láminas de 4 mm de espesor con lo cual se cumple con la medida requerida por el cálculo.

Se analiza la deformación de la placa sin el empleo de refuerzos inferiores, cuando esta se encuentra con una carga hidrostática uniforme con sus bordes empotrados, figura 4.5, siendo sus medidas de 1220 mm de ancho y 3000 mm de largo.

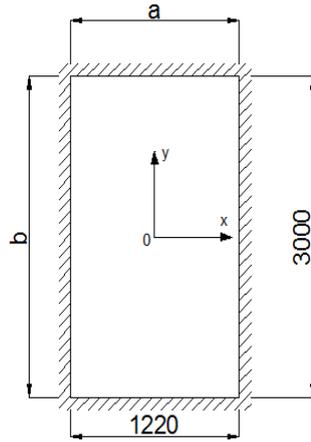


Fig. 4.5 Distancias a tomar para razón  $n = b / a$ , placa entera.  
Realizado: Miguel Angel Merchán

Se inicia con la relación de la carga  $q$  en función de la presión hidrostática y la altura del líquido, donde  $X$  es el valor medio del ancho de la placa.

$$q_0 = \frac{q}{2} + \frac{q}{2} * \frac{x}{a}$$

$$q_0 = \frac{0.122}{2} + \frac{0.122}{2} * \frac{61}{100} = 0.09821 \text{ Kg/cm}^2$$

$$D = \frac{E * h^3}{12(1 - \nu^2)}$$

$$D = \frac{2.10 \text{ E}^6 * 0.4^3}{12(1 - 0.3^2)} = \frac{2.10 \text{ E}^6 * 0.4^3}{12(1 - 0.3^2)} = 12307.69 \text{ kg} * \text{cm}$$

La relación  $b/a > 2.5$  analiza la placa como una placa de gran longitud para lo cual se tiene:

$$\Delta = \frac{2 q_0 a^4}{\pi^5 D}$$

$$\Delta = \frac{2 * 0.0915 * 98.167^4}{\pi^5 * 12307.69} = 4.51 \text{ cm} \Rightarrow 45.1 \text{ mm}$$

La deformación en el centro de la placa sin emplear refuerzos inferiores en la estructura que soporta la tina y utilizando una lámina de 4 mm en la construcción de su base es de 45.1 mm, provocada por la presión hidrostática que el líquido ejerce sobre esta.

Se analiza a continuación la deformación de la placa base de la tina utilizando el espesor calculado y delimitando sus dimensiones por los tres refuerzos colocados, en la parte inferior de la estructura que soporta la tina, como se considero en su diseño inicial.

Se inicia con la relación  $n = b/a$  donde.

$$n = \frac{b}{a} = \frac{122}{98.16} = 1.24$$

La relación  $b/a < 2.5$  analiza la placa como una placa de pequeña longitud para lo cual se tiene:

$$\Delta = \alpha \frac{q a^4}{D}$$

Donde  $\alpha = 0.000856$  obtenido de la interpolación de la de deformaciones con bordes empotrados.

$\alpha$	$\Delta = \alpha \frac{q a^4}{D}$ $X=0 ; y=0$
0,5	0,000080
1,0	0,00063
1,5	0,00110
2.5	0,000217

Entonces:

$$\Delta = \alpha \frac{q a^4}{D}$$

$$\Delta = 0.000856 \frac{0.0915 * 98.16^4}{12307.69} = 0.59 \text{ cm} = 5.6 \text{ mm}$$

La deformación de la palca disminuye considerablemente al emplear refuerzos inferiores lo cual indica que es recomendable utilizarlos.

Cabe mencionar que esta deformación está basada en la colocación de tres refuerzos pudiendo emplearse mayor cantidad si se desea tener una menor deformación.

#### 4.3.1.2 PAREDES DE LATERALES DE LA TINA

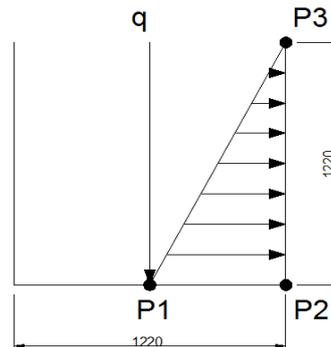


Fig. 4.6 Diagrama de presión sobre la pared de la tina  
Realizado: Miguel Angel Merchán

Basados en la altura crítica del líquido si la tina llegara a llenarse, se calculó el espesor de la lámina que se colocará como base de la tina, siendo esta es de 4 mm, trasladando el valor del punto P1 al P2 que se encuentra en la unión de la base y la pared lateral de la tina, se define que el espesor de la pared lateral debe ser igual al espesor que el de la base es decir 4 mm para que resista la presión lateral ejercida por la columna de líquido, ver figura 4.6.

La presión en la pared de la tina disminuye mientras disminuya la columna de líquido, indicando que debería disminuir también el espesor de la lámina empleada, pero en el mercado no existen láminas con variación de espesores como se requiere, por lo tanto la lámina de 4 mm es la apropiada para la fabricación de las paredes de la tina desde su base hasta el punto P3.

#### 4.3.2 REFUERZOS LONGITUDINALES Y TRASVERSALES DE LA TINA

Una vez determinado el espesor de la pared de la tina se considera la deformación de esta producida por la presión lateral que ejerce el líquido sobre ella, lo que indica que se debe colocar refuerzos longitudinales y trasversales en la tina para evitar esta deformación, ver figura 4.7.

Para calcular la ubicación y dimensión de los refuerzos laterales a colocarse en la tina, se realizó un análisis con dos y tres refuerzos colocados a diferentes distancias

llegando a las medidas que en el gráfico se aprecian, para el cálculo de estos elementos se emplearon las formulas descritas en la figura 4.8.

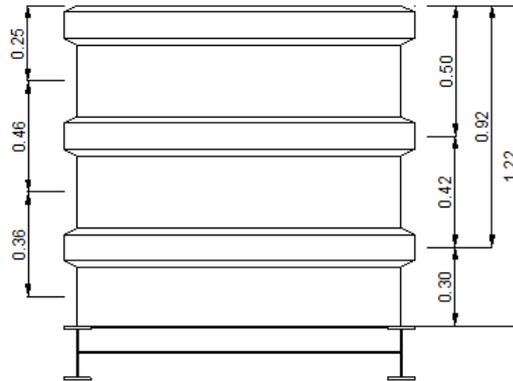


Fig. 4.7 Distancias de anchos cooperantes para reforzos laterales de tina  
Realizado: Miguel Angel Merchán

- **Primera refuerzo longitudinal colocado a 0.92 m desde la parte superior de la tina**

Datos del líquido.

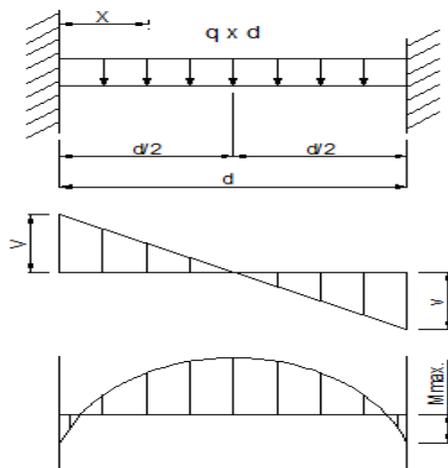
$\rho$  = Densidad de líquido 1000 kg/m<sup>3</sup>

h = Altura de columna de agua en la pared de la tina 0.92 m

$$q = \rho * h$$

$$q = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.92 \text{ m} = 920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \left| \frac{1 \text{ m}}{(100 \text{ cm})^2} \right| = 0.092 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$L = \text{Ancho cooperante de la primer refuerzo inferior de tina } 0.36 \text{ m} \left| \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right| = 36 \text{ cm}$$



$$R = V = \frac{q * d}{2}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{q * d^2}{12}$$

$$\Delta = \frac{q * d^4}{384 * E * I}$$

Fig. 4.8 Diagramas y fórmulas para viga empotrada

$$q_{u1} = q * L$$

$$q_{u1} = 0.092 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 36 \text{ cm} = 3.312 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$V_{u1} = \frac{q_{u1} * d}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{3.312 \text{ kg/cm}^2 * 300\text{cm}}{2} = 496.8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{q_{u1} * d^2}{12}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{3.312 \text{ kg/cm} * (300\text{cm})^2}{12} = 24840 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$S_x = \frac{M_{\text{max}}}{0.66 * \sigma_t}$$

$$S_x = \frac{24840 \text{ kg} * \text{cm}}{0.66 * \left(\frac{2450}{1.1}\right) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 16.89 \text{ cm}^3$$

Al no encontrar comercialmente un elemento tipo omega, anexo 4, que cubra la necesidad del módulo de sección obtenido, procedemos a diseñar un refuerzo basado en este módulo de sección, se diseña un elemento con ayudados por el programa AutoCAD V. 2010 con lo cual se obtuvieron sus propiedades, figura 4.9.

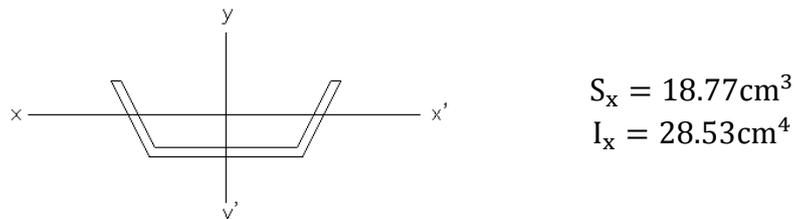


Fig. 4.9 Propiedades y refuerzo lateral para tinas.  
Realizado: Miguel Angel Merchán

El módulo de sección del elemento diseñado es de  $18.77 \text{ cm}^3$  y según el cálculo realizado se requiriere  $16.89 \text{ cm}^3$  por lo tanto se debería colocar un refuerzo, pero se debe analizar la deflexión del refuerzo y verificar si este cumple y está dentro de los parámetros de diseño, una vez realizada esta verificación se determina que un elemento diseñado supera la deflexión máxima por lo cual se ve la necesidad de colocar dos refuerzos, uno sobre la pared de la tina y otro en el interior de la tina quedando la lámina en el medio para así sumar las inercias y disminuir su deflexión.

$$I = I_1 + I_2$$

$$I = (28.53 + 28.53) \text{ cm}^4$$

$$I = 58.06 \text{ cm}^4$$

$$\Delta = \frac{q * d^4}{384E * I}$$

$$\Delta = \frac{q * L^4}{384E * I} = \frac{3.312 \text{ kg/cm} * (305 \text{ cm})^4}{384 * 2.10E6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 58.06 \text{ cm}^4} = 0.61 \text{ cm} \left| \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right| = 6.12 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{d}{360}$$

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{305}{360} = 0.84 \text{ cm} \left| \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right| = 8.47 \text{ mm}$$

Se concluye que empleando los elementos de la forma descrita anteriormente, estos tienen una deformación menor que la máxima admisible.

- **Segundo refuerzo lateral colocado a 0.50 m desde la parte superior de la tina**

Datos del líquido

$$\rho = \text{Densidad de líquido } 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$h = \text{Altura de columna de agua en la pared de la tina } 0.50\text{m}$$

$$q = \rho * h$$

$$q = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.50 \text{ m} = 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \left| \frac{1 \text{ m}}{(100 \text{ cm})^2} \right| = 0.05 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$L = \text{Ancho cooperante} = 0.46 \left| \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right| = 46 \text{ cm}$$

$$q_{u1} = q * L$$

$$q_{u1} = 0.05 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 46 \text{ cm} = 2.3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$V_{u1} = \frac{q * d}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{2.3 \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}}{2} = 345 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{q * d^2}{12}$$

$$M_{\max} = \frac{2.3 \text{ kg/cm} * (300 \text{ cm})^2}{12} = 17250 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$S_x = \frac{M_{\max}}{0.66 * \sigma_t}$$

$$S_x = \frac{17250 \text{ kg} * \text{cm}}{0.66 * \left(\frac{2450}{1.1}\right) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 11.73 \text{ cm}^3$$

$$\Delta = \frac{q * d}{384 * E * I}$$

$$\Delta = \frac{2.3 * 300^4}{384 * 2.10E^6 * 28.53} = 0.80 \text{ cm} \left| \frac{10\text{mm}}{1\text{cm}} \right| = 8.097 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\max} = \frac{d}{360}$$

$$\Delta_{\max} = \frac{300}{360} = 0.833 \text{ cm} \left| \frac{10\text{mm}}{1\text{cm}} \right| = 8.33 \text{ mm}$$

Se define que empleando un solo elementos de la forma descrita anteriormente, estos tienen una deformación menor que la máxima admisible, por lo tanto resiste.

- **Tercer refuerzo lateral colocado a 0.50m desde la parte superior de la tina**

Datos del líquido.

$\rho$  = Densidad de líquido 1000 kg/m<sup>3</sup>

$h$  = Altura de columna de agua en la pared de la tina 0.075m (considerando si la tina se llenara totalmente)

$$q = \rho * h$$

$$q = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.075 \text{ m} = 75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \left| \frac{1 \text{ m}}{(100 \text{ cm})^2} \right| = 7.5E^{-03} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$L = \text{Ancho cooperante} = 0.25 \left| \frac{100 \text{ cm}}{1\text{m}} \right| = 25 \text{ cm}$$

$$q_{u1} = q * L$$

$$q_{u1} = 7.5 E^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 25 \text{ cm} = 0.1875 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$V_{u1} = \frac{q * d}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{7.5 E^{-3} \text{ kg/cm}^2 * 300 \text{ cm}}{2} = 1.125 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{q * d^2}{12}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{7.5 E^{-3} \text{ kg/cm} * (300 \text{ cm})^2}{12} = 56.25 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$S_x = \frac{M_{\text{max}}}{0.66 * \sigma_t}$$

$$S_x = \frac{56.25 \text{ kg} * \text{cm}}{0.66 * \left(\frac{2450}{1.1}\right) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 0.0382 \text{ cm}^3$$

$$\Delta = \frac{q * d}{384 * E * I}$$

$$\Delta = \frac{7.5 E^{-3} * 300^4}{384 * 2.10E^6 * 28.53} = 2.640 E^{-3} \text{ cm} \left| \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right| = 0.0264 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{d}{360}$$

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{300}{360} = 0.833 \text{ cm} \left| \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right| = 8.33 \text{ mm}$$

Este elemento prácticamente no presenta deformación por la fuerza del líquido, pero se recomienda colocarlo para evitar deformaciones en la lámina y perímetro superior del tanque por los posibles impactos que tendrá la canastilla a introducirse.

- **Primer refuerzos trasversales de la tina**

Primera refuerzo transversal colocado a 0.92 m desde la parte superior de la tina.

Datos del líquido.

$\rho$  = Densidad del líquido 1000 kg/m<sup>3</sup>

$h$  = Altura de columna de agua en la pared de la tina 0.92 m

$q = \rho * h$

$$q = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.92 \text{ m} = 920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \left| \frac{1 \text{ m}}{(100 \text{ cm})^2} \right| = 0.092 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$L = \text{Ancho cooperante} = 0.36 \text{ m} \left| \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right| = 36 \text{ cm}$$

$$q_{u1} = q * L$$

$$q_{u1} = 0.092 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 36 \text{ cm} = 3.312 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$V_{u1} = q \frac{d}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{3.312 \text{ kg/cm}^2 * 122 \text{ cm}}{2} = 202.032 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{q * d^2}{12}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{3.312 \text{ kg/cm} * (122 \text{ cm})^2}{12} = 4107.984 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$S_x = \frac{M_{\text{max}}}{0.66 * \sigma_t}$$

$$S_x = \frac{4107.984 \text{ kg} * \text{cm}}{0.66 * \left( \frac{2450}{1.1} \right) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 2.79 \text{ cm}^3$$

$$\Delta = \frac{q * d^4}{384 * E * I}$$

$$\Delta = \frac{3.312 \text{ kg/cm} * (122 \text{ cm})^4}{384 * 2.10 \text{E}^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 28.53 \text{ cm}^4} = 0.0318 \text{ cm} \left| \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right| = 0.31 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{d}{360}$$

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{122}{360} = 0.33 \text{ cm} \left| \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right| = 3.38 \text{ mm}$$

Se define que se puede emplear un elemento diseñado y no dos como en el caso longitudinal a la misma altura, por construcción se sugiere colocar los refuerzos laterales que completan el perímetro en sus diferentes alturas de los marcos de la tina figura 4.10.

Para el cambio y vaciado del líquido que la tina contienen se colocara una válvula de esfera de tres cuerpos de 2” de diámetro, empleada para productos químicos la cual resiste una presión de 1000 PSI, anexo 5.

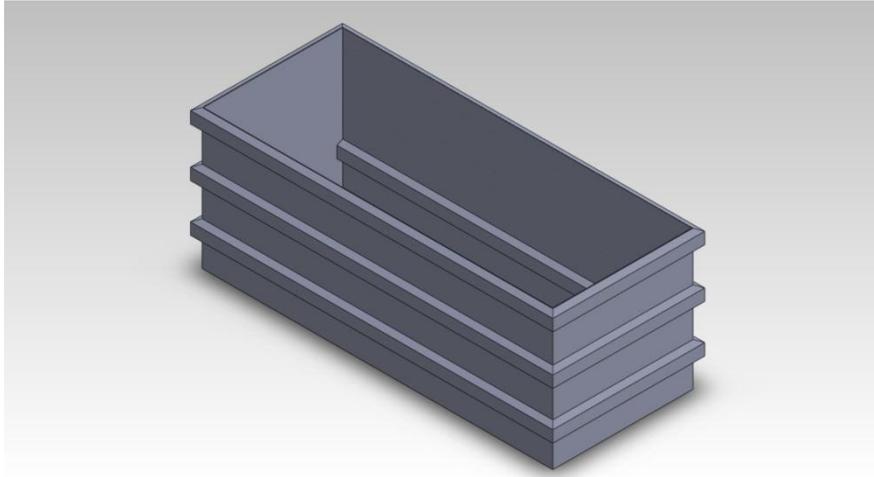


Fig. 4.10 Tina de lavado de productos a procesar  
 Realizado: Miguel Angel Merchán  
 Diseño por software Solid Works V. 2010

### 4.3.3 BASE O CAMA DE APOYO DE TINA

La base o cama donde se apoyaran las tinas está en función de la tina dimensionada anteriormente, para lo cual se elige un marco compuesto de dos vigas principales laterales a lo largo de la tina, y cuatro viguetas transversales a lo ancho de la tina, que unidas estas últimas a las dos vigas principales forman un marco de apoyo para la tina.

#### 4.3.3.1 VIGUETA TRANSVERSAL DE MARCO

Para la obtención de la fuerza aplicada en las viguetas transversales de la base, se requiere la densidad y altura del líquido contenido en la tina.

Datos del líquido.

$\rho$  = Densidad del líquido  $1000 \text{ kg/m}^3$

$h$  = Altura de la tina  $1.22 \text{ m}$  (máxima altura crítica de líquido)

$q$  = Carga por la altura de líquido en fondo del tanque

$$q = \rho * h$$

$$q = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.22 \text{ m} = 1220 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \left| \frac{1 \text{ m}^2}{(100 \text{ cm})^2} \right| = 0.122 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

- Por construcción se selecciona una vigueta IPE 100 con la cual se obtiene los anchos cooperantes que en la figura 4.11 se indica, empleando las formulas de la figura 4.12 se verificara si este perfil es el adecuado para ser utilizado.

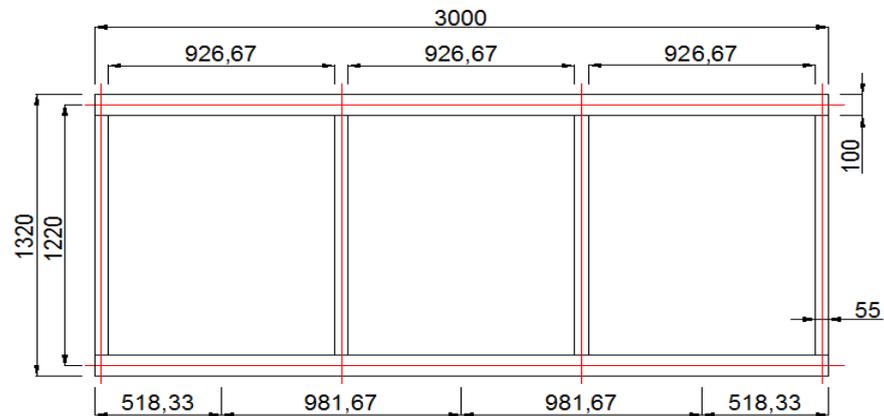
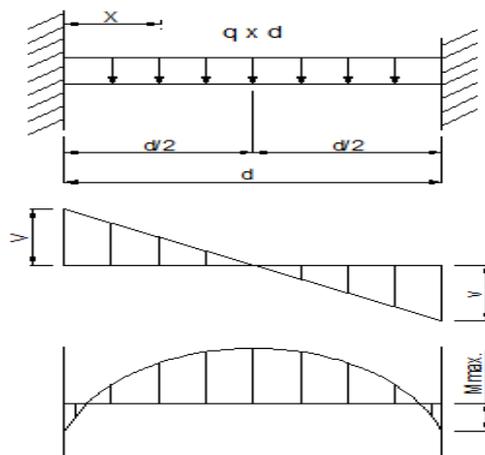


Fig. 4.11 Ancho cooperante de viguetas  
Realizado: Miguel Angel Merchán

L = distancia entre viguetas centrales (ancho cooperante)

$$981.67 \text{ mm} \left| \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} \right| = 98.167 \text{ cm}$$



$$R = V = \frac{q * d}{2}$$

$$M_{\max} = \frac{q * d^2}{12}$$

$$\Delta = \frac{q * d^4}{384 * E * I}$$

Fig. 4.12 Diagramas y fórmulas para viga empotrada

$$qu1 = q * L$$

$$qu1 = 0.122 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 98.167 \text{ cm}$$

$$qu1 = 11.9763 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$V_{u1} = \frac{q * d}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{11.9763 \text{ kg/cm} * 122 \text{ cm}}{2} = 730.55 \text{ kg}$$

$$M_{\max} = \frac{qu1 * d^2}{12}$$

$$M_{\max} = \frac{11.9763 \text{ kg/cm} * (122 \text{ cm})^2}{12} = 14805.6 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$S_x = \frac{M_{\max}}{0.66 * \sigma_t}$$

$$S_x = \frac{14805.69 \text{ kg} * \text{cm}}{0.66 * \left(\frac{2450}{1.1}\right) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 10.071 \text{ cm}^3 = 10071.89 \text{ mm}^3$$

- Deflexión en vigueta, de acuerdo a la sección inicial de la viga IPE 100 se obtiene la I de vigueta mencionada. (Anexo 4)

I = Inercia de la viga IPE 100 es  $1.7101 * 10^6 \text{ mm}^4$

$$I = 1.7101E^6 \text{ mm}^4 \left| \frac{1 \text{ cm}^4}{(10 \text{ mm})^4} \right| = 171.01 \text{ cm}^4$$

E = Módulo de elasticidad del material =  $2.10E^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

$$\Delta = \frac{q * d^4}{384 * E * I}$$

$$\Delta = \frac{11.7364 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} * (122 \text{ cm})^4}{384 * 2.10E^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 171.01 \text{ cm}^4} = 0.0188 \text{ cm} \left| \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right| = 0.188 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\max i} = \frac{d}{360}$$

$$\Delta_{\max i} = \frac{122 \text{ cm}}{360} = 0.339 \text{ cm} \left| \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right| = 3.39 \text{ mm}$$

- La  $\Delta$  obtenida es menor que el  $\Delta_{\max}$  admisible, por lo tanto la viga seleccionada es la adecuada.

### 4.3.3.2 VIGA LONGITUDINAL DE MARCO

Para la fuerza aplicada en las vigas longitudinales de la base se requiere también la densidad y altura del líquido, además de la carga ejercida por las viguetas transversales, se asume una viga simplemente apoyada en sus extremos ya que sus extremos son libres y se procede a calcular con las formulas de la figura 4.13.

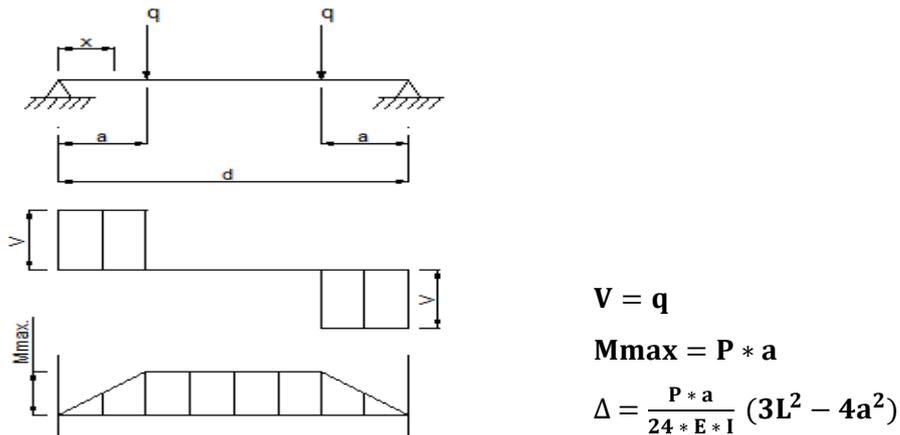


Fig. 4.13 Diagramas y fórmulas para viga simplemente apoyada

$L$  = distancia de la viga longitudinal 300 cm

$a$  = distancia entre viguetas

$$a = \frac{L}{3} = \frac{300 \text{ cm}}{3} = 100 \text{ cm}$$

$$M_{max} = P * a$$

Viga simplemente apoyada en sus extremos con dos cargas  $P = V_{u1}$

$$M_{maxi} = V_{u1} * a = 730.55 \text{ kg} * 100 \text{ cm} = 73055 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$S_x = \frac{M_{max}}{0.66 * \sigma_t}$$

$$S_x = \frac{73055 \text{ kg} * \text{cm}}{0.66 * \left(\frac{2450}{1.1}\right) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 49.69 \text{ cm}^3$$

- Para la deflexión en la viga, asumimos una viga IPE 200 pese a que el módulo de sección obtenido es mucho menor que el que se indica para esta

viga, ya que se requiere este tipo de viga por construcción de la cual se obtiene la inercia I de la viga indicada. (Anexo 4)

I = Inercia de la viga  $1.7101 * 10^6 \text{ mm}^4$

$$I = 19.43 \text{ E}^6 \text{ mm}^4 \left| \frac{1 \text{ cm}^4}{(10 \text{ mm})^4} \right| = 1943 \text{ cm}^4$$

E = Módulo de elasticidad del material  $2.10\text{E}^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

$$\Delta = \frac{\mathbf{P * a}}{\mathbf{24 * E * I}} (3\mathbf{L}^2 - 4\mathbf{a}^2)$$

$$\Delta = \frac{730.55 \text{ kg} * (100) \text{ cm}}{24 * 2.10\text{E}^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 1943 \text{ cm}^4} (3(300 \text{ cm})^2 - 4(100)^2)$$

$$\Delta = 0.1715 \text{ cm} \left| \frac{10\text{mm}}{1\text{cm}} \right| = 1.7158 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{\mathbf{d}}{\mathbf{360}}$$

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{300}{360} = 0.833 \text{ cm} * \left| \frac{10\text{mm}}{1\text{cm}} \right| = 8.33 \text{ mm}$$

- La  $\Delta$  obtenida es menor que el  $\Delta_{\text{máx.}}$  admisible, por lo tanto la viga seleccionada resiste la carga aplicada.
- Se asume por construcción, desfogue de sedimentos, movimiento con coche hidráulico o puente grúa, aislamiento térmico, una viga con esta altura aunque se podría emplear una viga de menor altura, ver figura 4.14.

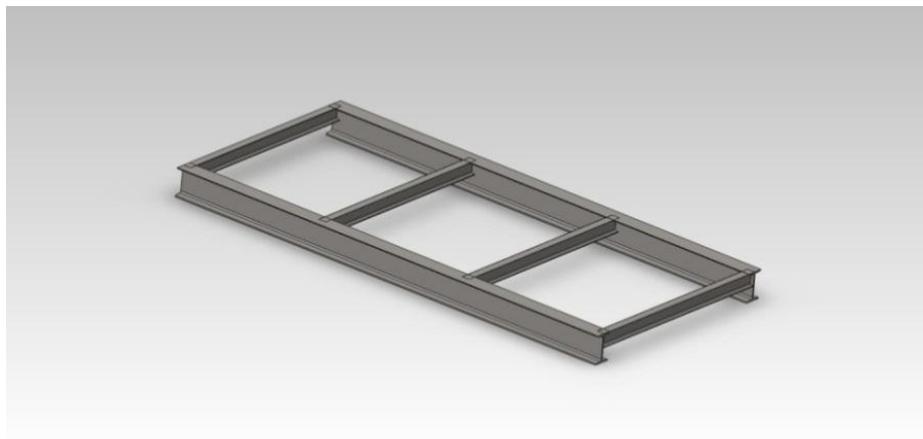


Fig. 4.14 Cama o base de apoyo de tinajas de lavado  
Realizado: Miguel Angel Merchán  
Diseño por software Solid Works V. 2010

#### **4.3.4 EQUIPO REQUERIDO PARA CALENTAR LA TINA DE DESENGRASE**

Para determinar el equipo requerido para calentar el líquido que se encuentra en el interior de las tinas utilizadas en el proceso de lavado por inmersión, se determinará el calor requerido para calentar dichas sustancias basadas en el análisis energético del sistema y así poder establecer el medio más adecuado para generar este poder calorífico requerido.

$Q$  Requerido =  $Q$  Requerido para calentar el líquido desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de trabajo.

$Q$  Trabajo =  $Q$  Perdido por paredes de tina +  $Q$  Perdido en la superficie libre del líquido +  $Q$  Ganado por las láminas metálicas inmersas en el líquido.

$Q$  Total =  $Q$  Requerido +  $Q$  Trabajo

A continuación se determinan según catálogo de productos las temperaturas de trabajo del desengrasante y fosfato respectivamente, anexo 3.

- Desengrasante 70 °C y 90 °C
- Fosfato 40 °C y 60 °C.

Estas temperaturas son las que se desean obtener en los líquidos que las tinas los contienen, para realizar así el proceso de limpieza de una manera eficiente, cabe mencionar que para los cálculos respectivos del equipo se considerara la mayor temperatura de calentamiento requerida.

Como se aprecia la temperatura más crítica de trabajo es la del desengrasante y se seleccionara la máxima temperatura para efectos de cálculo (90 °C), considerando que esta sería la máxima temperatura de trabajo, adicionalmente las características del equipo seleccionado servirá para emplear otro equipo similar y lograr calentar el producto en la tina de fosfato, realizando la calibración respectiva en cada equipo

según la temperatura requerida del líquido, logrando así una temperatura de trabajo óptima.

#### 4.3.4.1 PÉRDIDAS DE CALOR EN LAS PAREDES Y BASE DE LA TINA

Se considera para este cálculo el análisis de transferencia de calor por conducción donde:

$$Q = \frac{\Delta T * A}{\frac{1}{h_i} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_o}}$$

Dónde:

- $\Delta T$  = Diferencia de temperatura del sistema

$$\Delta T = (T_i - T_f) = (90 - 20) \text{ °C} = (70 \text{ °C} * 1.8) + 32 = 158 \text{ °F}$$

- $A$  = Área de placas en contacto con el líquido.

$$\text{Fondo de tanque } A = 3 \text{ m} * 1.22 \text{ m} = 3.66 \text{ m}^2$$

$$\text{Pared lateral pequeña } A = 1.22 \text{ m} * 1.22 \text{ m} = 1.48 \text{ m}^2 * 2 \text{ paredes} = 2.96 \text{ m}^2$$

$$\text{Pared lateral grande } A = 3 \text{ m} * 1.22 \text{ m} = 3.66 \text{ m}^2 * 2 \text{ paredes} = 7.32 \text{ m}^2$$

$$\Sigma \text{ de áreas de tanque} = 13.94 \text{ m}^2 \Rightarrow 149.97 \text{ pies}^2$$

- $\frac{1}{h_i}$  Coeficiente convectivo de Transferencia de Calor

Se asume que la pared del tanque está a la temperatura del agua con esta premisa no se considera este valor de  $\frac{1}{h_i}$

- $\frac{1}{k}$  Coeficiente de Transferencia de Calor

$$l = \text{Espesor de placa } 3 \text{ mm} \Rightarrow 3 \text{E}^{-3} \text{ m} = 9.84 \text{E}^{-03} \text{ pie}$$

$$k = \text{Coeficiente de conductividad térmica para el acero } 31 \frac{\text{BTU}}{\text{hpie}^\circ\text{F}}$$

- $\frac{1}{h_o}$  Coeficiente convectivo de Transferencia de Calor del aire  $1.6 \frac{\text{BTU}}{\text{hpie}^\circ\text{F}}$

$$Q = \frac{\Delta T * A}{\frac{1}{h_i} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_o}}$$

$$Q = \frac{158 * 149.97}{\frac{9.84e^{-03}}{31} + \frac{1}{1.6}} \left[ \frac{^{\circ}\text{F} * \text{pie}^2}{\frac{\text{BTU}}{\text{hpie}^{\circ}\text{F}} \frac{\text{BTU}}{\text{hpie}^2^{\circ}\text{F}}} \right]$$

$$Q = 37158.93 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} * \left| \frac{0.293 \text{ W}}{1 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}} \right| = 10887.56 \text{ W} \Rightarrow \dot{Q} = 10.88 \text{ Kw}$$

#### 4.3.4.2 PÉRDIDA DE CALOR EN LA SUPERFICIE DE LÍQUIDO

Se considera para este cálculo el análisis de transferencia de calor por convección donde:

$$Q = \frac{\Delta T * A}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

- $\Delta T$  = Diferencia de temperatura del sistema

$$\Delta T = (T_i - T_f) = (90 - 20) ^{\circ}\text{C} = (70 ^{\circ}\text{C} * 1.8) + 32 = 158 ^{\circ}\text{F}$$

- Área de la superficie del liquido

$$\text{Área} = \text{largo} * \text{ancho (tina)} = 3 \text{ m} * 1.22 \text{ m} = 3.66 \text{ m}^2 = 39.37 \text{ pies}^2$$

- $\frac{1}{h_i}$  Coeficiente convectivo de Transferecia de Calor

Se considera el mismo caso de la pérdida en paredes de la tina, se asume que en la superficie del líquido tiene la misma temperatura que en el interior del líquido en la tina.

- $\frac{1}{h_o}$  Coeficiente convectivo de Transferecia de Calor del aire =  $1.6 \frac{\text{BTU}}{\text{hpie}^{\circ}\text{F}}$

$$Q = h_o * A * \Delta T$$

$$Q = 1.6 * 39.37 * 158 \quad \left[ \frac{\text{BTU}}{\text{h pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} * \text{pie}^2 * ^\circ\text{F} \right]$$

$$Q = 9952.73 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q = 9952.73 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} * \left| \frac{0.293 \text{ W}}{1 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}} \right| = 2916.15 \text{ W} \Rightarrow \dot{Q} = 2.91 \text{ Kw}$$

#### 4.3.4.3 GANANCIA DE CALOR DE PRODUCTO A SER LAVADO

Se considera para este cálculo el análisis para flujo estacionario donde;

$$Q(\text{planchas}) = m * C_p * \Delta T$$

- Formato de material (medida máxima de bandeja) 1220 \* 690 (mm)
- Espesor del material 0.75 mm
- $\rho$  (acero) = 7850  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \Rightarrow 490.0755 \frac{\text{Lbm}}{\text{pie}^3}$
- $V$  (lámina) = largo \* ancho \* alto  
 $V = (1220 * 690 * 0.75) \text{ mm}$   
 $V = 631350 \text{ mm}^3 \Rightarrow 6.3135\text{E}^{-4} \text{ m}^3 \Rightarrow 0.0222 \text{ pie}^3 * 80 = 1.776 \text{ pie}^3$
- $m = \rho * v$   
 $m = \rho * v = 490.0755 * 0.0222 \frac{\text{Lbm}}{\text{pie}^3} * \text{pie}^3 = 10.87 \text{ Lbm}$
- Cantidad de material a introducir aproximadamente 80 placas  
 $m(\text{total}) = m * 80 \text{ placas}$   
 $m(\text{total}) = 10.87 \text{ lbm} * 80 \text{ unidades} = 869.60 \text{ Lbm}$
- $C_p$  = Calor Específico a presión constante  
 $C_p = 434 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{k}} \left| \frac{2.386\text{E}^{-04} \text{ BTU/Lbm } ^\circ\text{F}}{1 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{k}}} \right| = 0.1036 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbm} * \text{F}}$
- $\Delta T = (T_f - T_i) = (90 - 20) ^\circ\text{C} = 158 ^\circ\text{F}$

$$Q(\text{planchas}) = m * C_p * \Delta T$$

$$Q(\text{planchas}) = 869.60 * 0.1036 * 158 \left[ \text{Lbm} * \frac{\text{BTU}}{\text{Lbm}^\circ\text{F}} * ^\circ\text{F} \right]$$

$$Q(\text{planchas}) = 14234.30 \text{ BTU} \left| \frac{1 \text{ KJ}}{0.94782 \text{ BTU}} \right| = 15017.93 \text{ KJ} / 3600 \text{ Seg}$$

$$\dot{Q}(\text{planchas}) = 4.17 \frac{\text{KJ}}{\text{Seg}} \Rightarrow \dot{Q} = 4.17 \text{ KW}$$

#### 4.3.4.4 PÉRDIDA DE TEMPERATURA DEL LÍQUIDO POR LA INTRODUCCIÓN DEL PRODUCTO

Se considera para este cálculo, el análisis de equilibrio térmico entre la masa de líquido y la masa de producto a calentar, para determinar la temperatura a la que descenderá el líquido una vez inmersa las láminas metálicas.

$Q_m$  = Ganancia de calor de las planchas

$Q_L$  = Pérdida de calor del líquido

$$Q_m \text{ del material} = Q_L \text{ del Líquido}$$

$$m * C_p * \Delta T = m * C_p * \Delta T$$

$$\text{masa} = 869.60 \text{ Lbm (masa)} = 9834.89 \text{ Lbm}$$

$$C_p = 0.1036 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbm}^\circ\text{F}} \quad C_p = 1 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^\circ\text{F}}$$

$$\Delta T = (T_f - 68^\circ\text{F}) \quad \Delta T = (194^\circ\text{F} - T_f)$$

$$869.60 * 0.1036 * (T_f - 68^\circ\text{F}) = 9834.89 * 1(194^\circ\text{F} - T_f)$$

$$\left[ \text{Lbm} * \frac{\text{BTU}}{\text{Lbm}^\circ\text{F}} * ^\circ\text{F} = \text{Lbm} * \frac{\text{BTU}}{\text{Lbm}^\circ\text{F}} * ^\circ\text{F} \right]$$

$$90.09(T_f - 68) = 9834.89(194^\circ\text{F} - T_f)$$

$$T_f - 68 = \frac{9834.89}{90.09}(194^\circ\text{F} - T_f)$$

$$T_f - 68 = 109.16(194^\circ\text{F} - T_f)$$

$$T_f - 68 = 21178.47 - 109.16T_f$$

$$T_f + 109.16T_f = 21178.47 + 68$$

$$110.16 T_f = 21246.47$$

$$T_f = \frac{21246.47}{110.16}$$

$$T_f = 192.86^\circ\text{F} = 89.37^\circ\text{C}$$

La temperatura a la que se descenderá el líquido de la tina de desengrasante cuando los las láminas metálicas sean inmersos será de 90°C a 89.37°C, esta temperatura no considera la introducción de la canasta.

#### 4.3.4.5 TEMPERATURA DE LAS SUSTANCIAS EN EL TRANCURSO DEL TIEMPO

Se considera para este cálculo las pérdidas de calor por la teoría de bulto donde:

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = e^{-\frac{hA}{\rho V C} \theta}$$

$T_{\infty}$  = Temperatura Ambiente

T = Temperatura final

$T_0$  = Temperatura inicial

h = Coeficiente de transferencia convectivo

$\rho$  = Densidad del agua

V = Volumen de líquido

C = Calor específico del agua

La ecuación descrita anteriormente para determinar la temperatura del líquido después de un periodo de tiempo es eficiente si el número es Biot  $< 0.1$ , para que se considerar un error del 5% en la determinación de la temperatura.

$$\text{Biot} = \frac{h * L_c}{K}$$

Dónde:

- h = coeficiente convectivo de transferencia de calor en la frontera del solido 1.6 Btu /h pie<sup>2</sup>°F.

- $L_c$  = Longitud característica y es igual al volumen del solido dividido por el área de su superficie que intercambia calor con el medio que lo rodea

$$L_c = V/A$$

$$L_c = 157.56 \text{ pies}^3 / 189.34 \text{ pies}^2 = 0.8321 \text{ pies}$$

- K = conductividad térmica del solido 31 Btu /h pie<sup>2</sup>°F

$$\text{Biot} = \frac{1.6 * 0.821}{31} = 0.04$$

Bajo estas consideraciones se tiene:

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = e^{-\frac{hA}{\rho v c} t}$$

$$\frac{T - 68^{\circ}\text{F}}{194^{\circ}\text{F} - 68^{\circ}\text{F}} = e^{-\frac{1.60 * 189.34}{62.42 * 157.56 * 1} * 1}$$

$$\frac{T - 68^{\circ}\text{F}}{194^{\circ}\text{F} - 68^{\circ}\text{F}} = e^{-0.03080}$$

$$\frac{T - 68^{\circ}\text{F}}{194^{\circ}\text{F} - 68^{\circ}\text{F}} = 0.969$$

$$T = 0.969 (194 - 68) + 68$$

$$T = 190.094^{\circ}\text{F}$$

$$T = 87.87^{\circ}\text{C}$$

En la tabla 4.8 y figura 4.15 se aprecia el descenso de la temperatura en el transcurso del tiempo en un período de 10 horas.

Temperatura °C	Horas
90	0
87,87666254	1
85,8177331	2
83,82125735	3
81,88534211	4
80,00814974	5
78,18789899	6
76,42286262	7
74,71136579	8
73,05178394	9
71,44254337	10

Tabla 4.8 Disminución de la temperatura con el transcurso de tiempo

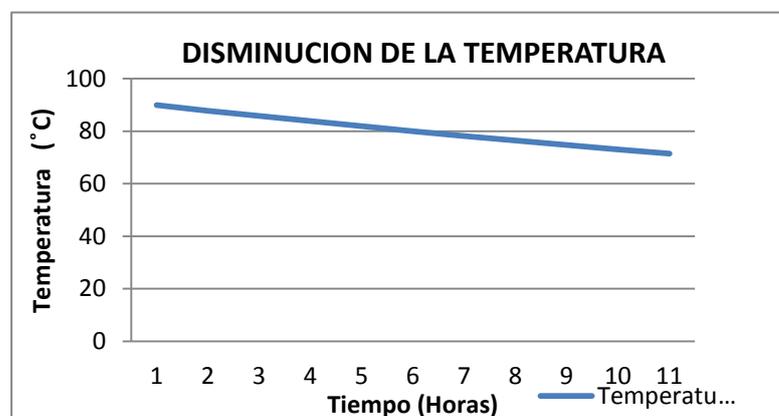


Fig. 4.15 Disminución de la temperatura con el transcurso de tiempo

#### 4.3.4.6 POTENCIA PARA CALENTAR MASA DEL LÍQUIDO DESDE TEMPERATURA AMBIENTE

$$Q(\text{planchas}) = m * C_p * \Delta T$$

- Formato de la tina (3.0 x 1.22 x 1.22) m

- $\rho$  (agua) =  $62.42 \frac{\text{Lbm}}{\text{pie}^3}$

- $V$  (tina) = largo \* ancho \* alto

$$V = (3.0 \times 1.22 \times 1.22) \text{ m}$$

$$V = 4.46 \text{ m}^3 * \left| \frac{3.28 \text{ pie}^3}{1 \text{ m}^3} \right| = 157.56 \text{ pie}^3$$

- $m = \rho * v$

$$m = \rho * v = 62.42 * 157.56 \left[ \frac{\text{Lbm}}{\text{pie}^3} * \text{pie}^3 \right] = 9834.86 \text{ Lbm}$$

- $C_p$  (agua)  $\Rightarrow C_p = 1 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^\circ\text{F}}$

- $\Delta T = (T_f - T_i) ^\circ\text{C} = (90 - 20) ^\circ\text{C} = 70 ^\circ\text{C} \rightarrow 158 ^\circ\text{F}$

$$Q(\text{planchas}) = m * C_p * \Delta T$$

$$Q = 9834.89 \text{ Lbm} * 1 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^\circ\text{F}} * 158 ^\circ\text{F} \quad \left[ \text{Lb} * \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^\circ\text{F}} * ^\circ\text{F} \right]$$

$$Q = 1553912.62 \text{ BTU} \left| \frac{1 \text{ KJ}}{0.94782 \text{ BTU}} \right| = 1639459.623 \text{ kJ} / 3600 \text{ seg}$$

$$\dot{Q} = 455.40 \frac{\text{KJ}}{\text{seg}} \Rightarrow \dot{Q} = 455.40 \text{ Kw}$$

Para calentar la tina de líquido en una hora se requiere de 455.40 KW

#### 4.3.4.7 SELECCIÓN DEL EQUIPO PARA EL CALENTAMIENTO

Para determinar la potencia del equipo que generará el calor para calentar las tinas empleadas en el proceso, se considera la premisa indicada en el apartado 4.3, con la consideración de que al ser tomado el calor  $Q$  Total, en función de una unidad tiempo este se convierte en potencia  $\dot{Q}$ , esta potencia se dividirá para el periodo de

tiempo en el que se desee calentar el volumen de líquido indicado, obteniendo la potencia de calentamiento requerida por unidad de tiempo.

$\dot{Q}$  Requerida =  $\dot{Q}$  Requerida para calentar el líquido desde temperatura ambiente hasta la temperatura de trabajo.

$\dot{Q}$  Trabajo =  $\dot{Q}$  Perdida por paredes de tina +  $\dot{Q}$  Perdida en la superficie del líquido  
+  $\dot{Q}$  Ganada por los productos inmersos en el líquido.

$\dot{Q}$  Total =  $\dot{Q}$  Requerida +  $\dot{Q}$  Trabajo

$\dot{Q}$ Perdido en paredes de tina	10.88 KW
$\dot{Q}$ Perdido en la superficie del líquido	2.71 KW
$\dot{Q}$ Ganado por los productos inmersos en el líquido	4.17 KW
$\dot{Q}$ Transferido a la masa del líquido	<u>455.40 KW</u>
<b><math>\Sigma</math> Total de las potencias requeridas</b>	<b>473.16 KW</b>

Esta potencia total la dividimos para el tiempo en el que se desea calentar la masa de agua para que este apta para el trabajo de desangrase es decir 3 horas, así se tiene:

$\dot{Q}$  Total = 473.16 KW para calentar el líquido en una hora

$\dot{Q}$  Total = 157.72 KW para calentar el líquido entres hora

#### 4.3.4.8 EQUIPO DE CALENTAMIENTO

Considerando la potencia requerida para calentamiento no sería recomendado emplear un sistema eléctrico para calentar el líquido contenido en las tinas de lavado ya que e sería demasiado costoso su implementación y funcionamiento, por tal motivo se define que el sistema de calentamiento más adecuado sería un sistema de combustión.

La combustión es un conjunto de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor, que se producen entre dos elementos: el combustible, que puede ser un sólido (Carbón, Madera, etc.), un líquido (Gasóleo, Fuel-Oil, etc.) o un gas (Natural, Propano, etc.) y el comburente, Oxígeno, los equipos que se emplean para este proceso se denominan quemadores.

El quemador que mejor se adaptaría a las necesidades de calentamiento de las tinas para el pretratamiento de láminas, es el quemador a gas GLP por las siguientes características:

- Los combustibles en estado gaseoso como el, Gas Natural (CH<sub>4</sub>) y Gas GLP (Propano- Butano) son los más fáciles a la hora de hacerlos arder, ya que los combustibles sólidos y líquidos hay que tratarlos y calentarlos.
- La combustión es de menor afectación al medio ambiente, ya que tiene menos emisiones contaminantes al hacia el medio ambiente.
- La eficiencia de los quemadores a gas es mayor y por mayor tiempo frente a la eficiencia del quemador de diesel.

Basados en la premisas anteriores se define que el sistema de combustión más apropiado es el quemadora gas, verificándose la existe en el mercado de un equipo que satisfaga las necesidades caloríficas del sistema, previamente realizadas las correcciones del valor obtenido de potencia para calentar el sistema, siendo estas correcciones la altura y rendimiento del quemador.

- **Corrección por altura**

La corrección por altura a la que trabajara el equipo, se la determina multiplicando el valor teórico de potencia obtenida para el sistema por el coeficiente de corrección por altura determinado en la tabla 4.9.

ALTITUDE CORRECTION FACTOR, F <sub>2</sub> (Multiple factor times sea level input, MBH)			
Altitude (ft)	Factor, F <sub>2</sub>	Altitude (ft)	Factor, F <sub>2</sub>
0 to 1999	1.00	6000	1.247
2000	1.075	6500	1.272
2500	1.096	7000	1.296
3000	1.116	7500	1.322
3500	1.136	8000	1.346
4000	1.157	8500	1.373
4500	1.180	9000	1.399
5000	1.202	10000	1.453
5500	1.25		

Tabla 4.9 Coeficientes de corrección por altura

La altura a la que se encuentra la ciudad de Quito sobre el nivel del mar es:

2850 m o 9348 pies, con que se obtiene un factor de corrección de potencia de 1.399, y esfuerzo en propio trabajo del equipo en el trabajo.

Se multiplica el valor de la potencia teórica por el factor de corrección de altura.

$$Q = 157.72 \text{ KW} \Rightarrow 152720 \text{ W} \Rightarrow 521228.66 \text{ (BTU / h)}$$

$$Q = 521228.66 \text{ (BTU / h)} * 1.399 = 724507.83 \text{ (BTU / h)}$$

- **Corrección por eficiencia**

El valor obtenido es un segundo valor teórico, ya que se debe considerar que no es recomendado que el quemador trabaje al 100% de su capacidad, ya que se disminuye su tiempo útil, debiendo sumarse un 25% a ese valor obteniendo para encontrar un valor real de trabajo es decir:

$$Q = 724507.83 \text{ (BTU / h)} * 0.25\% \text{ adicional} = 181014.45 \text{ (BTU / h)}$$

$$Q = 724507.83 + 181014.45 \text{ (BTU / h)}$$

$$\mathbf{Q \text{ Total requerido} = 905634.79 \text{ (BTU / h)}}$$

Obtenido este valor se verifica con los valores de quemadores existentes en el mercado, siendo el quemador marca.

Power Flame tipo C1-G-10 de **980000 (BTU / h)** el que satisface esta necesidad calorífica, anexo 5.

#### **4.3.4.9 DISEÑO DE INTERCAMBIADOR CALOR PARA CALENTAR TINAS**

Determinado el calor real que debe generar el quemador para calentar el líquido, se procede al diseño de un intercambiador que transfiera este calor, considerando la

transferencia de calor por un intercambiador de tubos que se encontrara en el interior de las tinas e inmerso en el líquido atravesando al tina longitudinalmente.

Considerando el calor transferido en función del coeficiente de transferencia total de calor, el área de contacto entre los tubos y el líquido y la diferencia de temperatura se tienen.

$$Q = A \text{ Total} * U * \Delta T$$

Se iniciara verificando el valor de U para el sistema, basados en un área de transferencia de calor estimada, una vez obtenido este valor de U se lo compara con los valores recomendados para estos sistemas, con lo cual se podrá determinar si el área seleccionada es la óptima para la transferencia de calor.

Se considera el Tubo Cedula 40 de diámetro interior 1 1/2" por la longitud total de la tina que es 3.0 m donde:

$$L = 3\text{m} \Rightarrow 9.28 \text{ pies.}$$

$$d = 1 \frac{1}{2}'' \Rightarrow 0.125 \text{ pies.}$$

$$A = \pi * d * L$$

$$A = (3.1416 * 0.125 * 9.28) \text{ pie}^2$$

$$A = 3.64 \text{ pie}^2$$

Estimamos una cantidad de 6 tubos que atravesaran la tina en su longitud se tiene.

$$A \text{ Total} = A * 6$$

$$A \text{ Toral} = (3.64 * 6) \text{ pie}^2$$

$$A \text{ total} = 21.84 \text{ pie}^2$$

Se considera el  $\Delta T$  la temperatura entregada por el quemador menos la temperatura del líquido.

$$\Delta T = T_{\text{quemador}} - T_{\text{liquido}}$$

$$\Delta T = (900 - 15) \text{ }^{\circ}\text{C} = 885 \text{ }^{\circ}\text{C} \Rightarrow 1625 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Por lo tanto U es:

$$U = \frac{Q}{A_{\text{Total}} * \Delta T}$$

$$U = \frac{905634.79}{21.84 * 1625}$$

$$U = 25.51 \text{ BTU} / \text{h pie}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

VALORES APROXIMADOS DE LOS COEFICIENTES TOTALES PARA DISEÑO. MS VALORES INCLUYEN UN FACTOR DE OBSTRUCCION TOTAL DE 0.003 Y CAIDA DE PRESION PERMISIBLE DE 5 A 10 LB/PLG<sup>2</sup> EN LA CORRIENTE QUE CONTROLE

Fluido caliente	Fluido frío	$U_D$ total
<b>Agua</b>	<b>Agua</b>	250-500 †
Metanol	<b>Agua</b>	<b>250-500 †</b>
Amoniaco	<b>Agua</b>	250-500 †
Soluciones acuosas	<b>Agua</b>	<b>250-500 †</b>
Sustancias orgánicas ligeras 1	<b>Agua</b>	75-150
Sustancias orgánicas medias 2	<b>Agua</b>	<b>50-125</b>
Sustancias orgánicas pesadas 3	<b>Agua</b>	<b>5-75</b>
<b>Gases</b>	<b>Agua</b>	2-50
<b>Agua</b>	<b>Salmuera</b>	<b>100-200</b>
Sustancias orgánicas ligeras	<b>Salmuera</b>	<b>40-100</b>

Tabla 4.10 Coeficientes de transferencia de calor

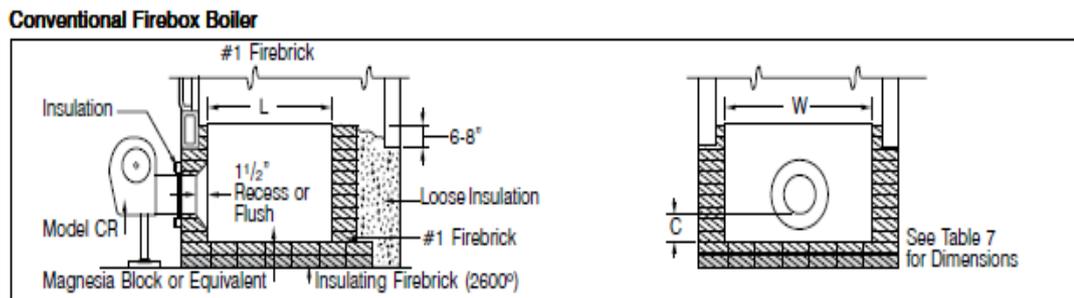
Se aprecia en la tabla 4.10 que el coeficiente total de transferencia de calor U para la transferencia de calor entre gases y agua se encuentra entre los valores de 2 – 50 BTU / h pie<sup>2</sup> °F, determinándose que el valor encontrado por cálculo se halla en un promedio entre los dos valores recomendados.

Bajo esta consideración se determina que la medida y cantidad de tubos seleccionados es la apropiada para que se transfiera el calor al líquido que la tina contiene.

### 4.3.4.10 HOGAR PARA LA COMBUSTIÓN DEL QUEMADOR

Para la combustión adecuada del gas generada por el quemador requerido, es necesario proveerle un ambiente adecuado el cual se lo obtiene colocando una cámara de combustión llamada “Hogar”, este complemento necesario para el quemador se lo adquiere externamente bajo los parámetros de selección que proporciona la información técnica del quemador, verificándose de esta manera si el hogar cotizado para la combustión del quemador anexo 6, cumple con los requerimientos mínimos del mismo, en la figura 4.16.

Se define así que para el quemador de 980.000 BTU se requiere un hogar con las medidas internas mínimas de, ancho y alto 20 pulg., largo 28 pulg., construido con ladrillo refractario para eliminar la pérdida y caída de temperatura antes que ingrese está en el intercambiador de tubos colocado en el interior de las tinas.



**Suggested Firebox Boiler Combustion Chamber Dimensions**

Model Number	Gas Input MBTU Hr.	Oil Input GPH #1,#2Oil	(W) Width	(L) Length	(C) Minimum Tube Height
C1-GO-10,	300	2.5	13	17	3
C1-G-10,	500	3.5	16	22	3
C1-G-10,	800	6	19	25	3
C1-O	980	7	20	28	3
C1-GO-12,	700	5	13	17	3
C1-G-12,	900	6.5	20	28	3
C1-G-12,	1150	8	22	30	3
C1-O	1260	9	23	33	3
C2-GO-15,	1000	7	21	29	5
C2-G-15,	1300	9	23	33	5
C2-G-15,	1600	13	25	38	5
C2-OA	2100	15	27	42	5
C2-GO-20,	1500	11	25	38	5
C2-G-20,	2000	14	27	42	5
C2-G-20,	2500	18	29	46	5
C2-OB	2900	22	30	48	5
C3-GO,	2400	17	27	44	5
C3-G,	3300	24	33	53	6
C3-G,	4200	30	37	62	8
C3-O	5250	37.5	40	68	9
C4-GO-30,	4000	29	35	58	8
C4-G-30,	5500	40	42	70	9
C4-G-30,	7000	50	45	76	12
C4-OA(B)	7840	56	48	79	13
C5-GO-30(B),	6000	43	43	72	10
C5-G-30(B),	7500	53	48	79	13
C5-G-30(B),	9000	65	50	80	13
C5-O(B)	10500	75	54	84	15
C6-GO-30,	8000	57	48	79	13
C6-G-30,	10500	75	54	84	15
C6-G-30,	12500	89	60	90	17
C6-O	14215	101.5	64	95	18
C7-GO-30(B),	12500	89	60	90	17
C7-G-30(B),	14000	100	64	95	18
C7-G-30(B),	15500	110	68	100	20
C7-O(B)	17000	121.4	71	110	23
C7-O(B)	17700	126.4	72	112	25
C8-GO-30,	14000	100	64	95	18
C8-G-30,	15500	110	68	100	20
C8-O	17500	125	72	110	24

Note: These dimensions are to serve as a guide only, and may be modified providing approximate area is maintained.

Fig. 4.16 Dimensiones de hogares para combustión de quemador

#### 4.4 CÁLCULO DE ESTRUCTURA PÓRTICO PARA EL SISTEMA DE TRANSPORTACIÓN

Para el dimensionamiento de la estructura requerida en el proceso de limpieza de los sustratos se considera las siguientes premisas.

- Dimensión del formato de tinas empleadas en el proceso de inmersión.
- Distancia de separación entre tinas.
- Dimensiones de canasta empleada en la inmersión de los sustratos.
- Distancia de separación entre canasta y tinas de inmersión una vez izada la canasta sobre la tina.
- Distancia total de recorrido longitudinal de la canasta para la carga, inmersión en tinas y descarga de los sustratos.
- Dimensiones de la materia prima requerida en la construcción de la estructura.
- Carga que soportara la estructura, determinada por el peso de la canasta productos y elementos requeridos para el proceso de inmersión, tabla 4.11.

<b>ELEMENTOS</b>	<b>PESO kg.</b>
Productos	396.00
Canasta y Accesorios	95.57
Polipasto	108.00
<b>TOTAL</b>	<b>599.57</b>

Tabla 4.11 Pesos a considerar para cálculo de sistema de trasportación

Una vez determinada la carga de 599.57 kg que soportará la estructura pórtico se debe aumentar a esta el 50% para vigas monorrieles según tabla 3.3, obteniendo un nuevo valor de 899.35 kg que se debe considerar para el diseño del pórtico, basados en los polipastos existentes en el mercado para cargas de 0.5T y 1T, se realiza el calculo de la estructura pórtico con para una carga de 1 T.

- Viga puente.
- Testeros
- Viga corredera de testeros
- Columnas
- Placa apoyo columnas

#### 4.4.1 CÁLCULO DE LA VIGA PUENTE

- La Carga Viva (CV) esta dada por la sumatoria de los pesos que en esta se aplican, la cual es 608 Kg, se emplean las formulas de la figura 4.17 y 4.18.

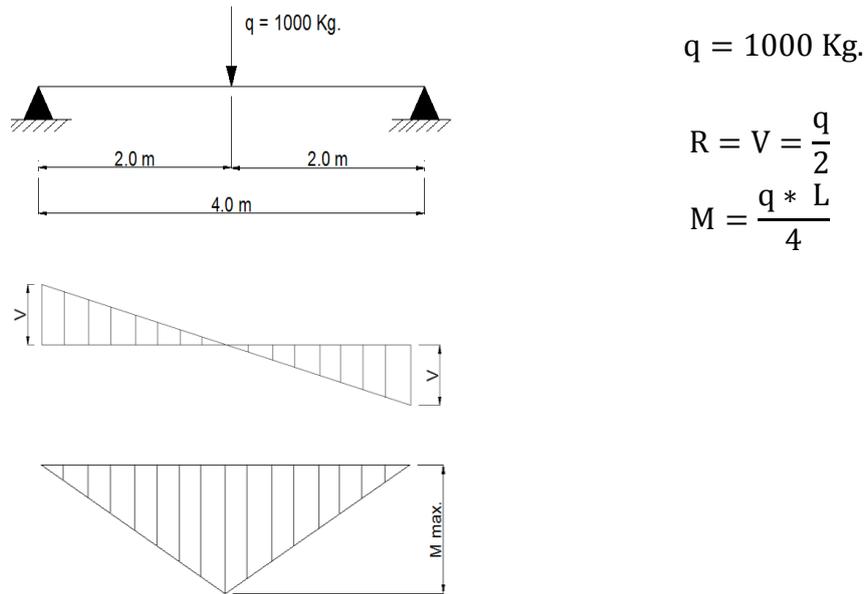


Fig. 4.17 Diagrama y fórmulas para viga puente simplemente apoyada con carga central

$$q = 1000 \text{ kg}$$

$$q = 1000 \text{ kg} \left| \frac{1 \text{ T}}{1000 \text{ kg}} \right| = 1 \text{ T}$$

$$(CV) R = V = \frac{q}{2} = \frac{1000 \text{ kg}}{2} = 500 \text{ kg} = 0.5 \text{ T}$$

$$(CV) M = \frac{q * L}{4} = \frac{1000 \text{ kg} * 4 \text{ m}}{4} = 1000 \text{ kg} * \text{m} = 1 \text{ T} * \text{m}$$

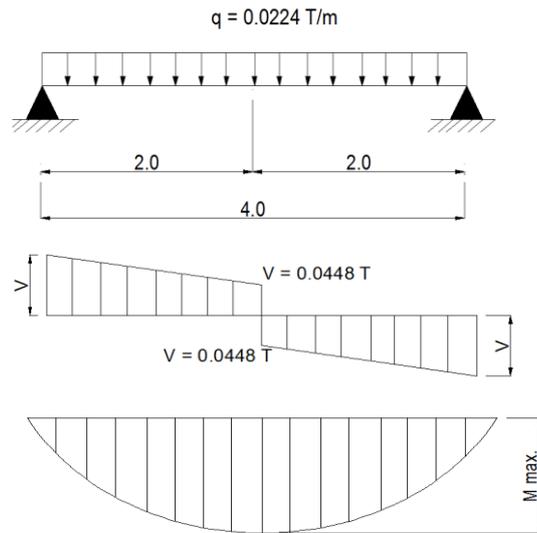
- La Carga Muerte (CM) esta dada por el peso propio de la viga, la cual se verificará en lo posterior si satisface la carga aplicada, se emplean las formulas de la figura 4.18.

Se asume una viga IPE 200, con peso de viga:

$$22.4 \text{ Kg/m}, 0.224 \text{ kg/cm}, 0.0224 \text{ T/m}$$

$$S_x = 194.32 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 1943.2 \text{ cm}^4$$



$$q = 0.0024 \text{ T/m.}$$

$$V = \frac{q * L}{2}$$

$$M = \frac{q * L^2}{8}$$

Fig. 4.18 Diagrama y fórmulas para viga simplemente apoyada cargada con su propio peso

$$[CM]R = V = \frac{q * L}{2} = \frac{0.0224 \text{ T/m} * 4\text{m}}{2} = 0.0448 \text{ T}$$

$$(CM)M = \frac{q * L^2}{8} = \frac{0.0224 \text{ T/m} * (4 \text{ m})^2}{8} = 0.0448 \text{ T} * \text{m}$$

Por método de Superposición se tiene:

- Esfuerzos cortantes

$$\Sigma V = \Sigma V_{(CV)} + \Sigma V_{(CM)}$$

$$\Sigma V = \frac{q}{2} + \frac{q * L}{2}$$

$$\Sigma V = \frac{1 \text{ T}}{2} + \frac{0.0224 \text{ T/m} * 4\text{m}}{2}$$

$$\Sigma V = (0.5 + 0.044) \text{ T}$$

$$\Sigma V = 0.544 \text{ T}$$

- Momentos Flexionantes

$$\Sigma M = \Sigma M_{(CV)} + \Sigma M_{(CM)}$$

$$\Sigma M = \frac{q * L}{4} + \frac{q * L^2}{8}$$

$$\Sigma M = \frac{1 \text{ T} * 4\text{m}}{4} + \frac{0.0224 \text{ T/m} * (4\text{m})^2}{8}$$

$$\Sigma M = 1 \text{ T} * \text{m} + 0.0448 \text{ T} * \text{m}$$

$$\Sigma M = 1.0448 \text{ T} * \text{m}$$

$$\Sigma M = 1.0448 \text{ T} * \text{m} \left| \frac{1000\text{kg}}{1\text{T}} \right| \left| \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} \right|$$

$$\Sigma M = 104480 \text{ Kg} * \text{cm}$$

- Sección de Viga Puente

$$S_x = \frac{M_{\max}}{0.6 \left( \frac{\sigma_y}{1.1} \right)}$$

$$S_x = \frac{104480}{0.6 \left( \frac{2450}{1.1} \right)} \left[ \frac{\text{kg} * \text{cm}}{\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \right] = 78.18 \text{ cm}^3$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{d}{360} = \frac{400}{450} = 0.88 \text{ cm}$$

Basados en el módulo de sección se puede emplear una viga IPE160

$$I_x = 869.29 \text{ cm}^4$$

$$S_x = 108 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso} = 15.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \left| \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right| = 0.158 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

- $\Sigma \Delta$  - Deformación de Viga IPE 160

$$\Delta_{CV} + \Delta_{CM} = \frac{q * L^3}{48EI} + \frac{5q * L^4}{384EI}$$

$$\Delta_{CV} + \Delta_{CM} = \frac{1000 \text{ Kg} * (400 \text{ cm})^3}{48 * 2.10\text{E}^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 869.29 \text{ cm}^4} + \frac{5 * 0.158 \text{ kg/cm} * (400 \text{ cm})^4}{384 * 2.10\text{E}^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 869.29 \text{ cm}^4}$$

$$\Delta_{CV} + \Delta_{CM} = 0.730 \text{ cm} + 0.0288 \text{ cm}$$

$$\Delta_{CV} + \Delta_{CM} = 0.7588 \text{ cm}$$

- $\Sigma\Delta$  - Deformación de Viga IPE 200

$$\Delta_{CV} + \Delta_{CM} = \frac{1000 * 400^3}{48 * 2.10E^6 * 1943.20} + \frac{5 * 0.224 * 400^4}{384 * 2.10E^6 * 1943.20}$$

$$\Delta_{CV} + \Delta_{CM} = 0.326 + 0.01829 = 0.344 \text{ cm}$$

Basados en la deformación que en la viga se presentaría una vez cargada esta, se determina que se debe emplear la viga con la menor deformación calculada IPE 200, ya que de esta manera se transmitirá a la viga longitudinal del pórtico una carga puntual a través de los testeros de la viga puente, disminuyendo de esta manera la carga axial hacia el pórtico.

#### 4.4.2 VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEL TESTERO

Para la verificación del elemento testero cotizado inicia tomando las reacciones provocadas por la carga de la viga puente hacia estos elementos y calculando posteriormente sus reacciones, ver figura 4.19.

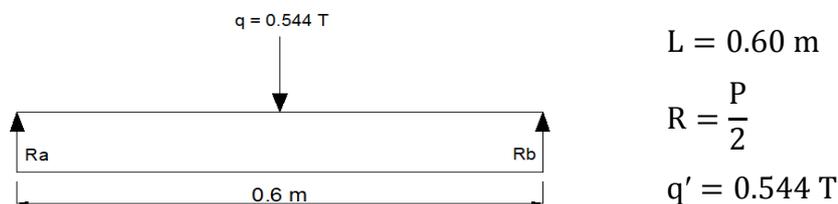


Fig. 4.19 Diagrama y fórmula para viga testeros simplemente apoyada con carga central

- Carga en el centro del testero transmitida por la viga puente

$$q = \Sigma(q_{CV} + q_{CM}) \text{ T}$$

$$q = (1.0 + 0.0896) \text{ T} = 1.0893 \text{ T}$$

$$q' = \frac{q}{2} = \frac{1.0896 \text{ T}}{2} = 0.544 \text{ T}$$

$$R_a = R_b = \frac{q'}{2} = \frac{0.544 \text{ T}}{2} = 0.272 \text{ T}$$

Longitud de testero a proporcionar por proveedor 0.60m. Anexo 6.

- Eje de ruedas de Testero

$$q = 0.544 T = 5334.81 N$$

$$\sigma = 24 \text{ MPa} = 24 \text{ N/mm}^2 \text{ Aceros E920}$$

$$A = \frac{P}{2 * \sigma} = \frac{5334.817 N}{2 * 24 \frac{N}{\text{mm}^2}} = 111.14 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{d^2 * \pi}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 111.14 \text{ mm}^2}{\pi}} = 11.89 \text{ mm}$$

El Fabricante empleará eje Ø30mm en las ruedas del testero.

- Estructura del Testero

$$M = \frac{q * L}{4} = \frac{0.544 T * 0.600 \text{ m}}{4} = 0.0816 T * m \left| \frac{1000 \text{ Kg}}{1T} \right| \left| \frac{100 \text{ cm}}{1m} \right|$$

$$M = 8160 \text{ Kg} * \text{cm}$$

- Sección requerida en cuerpo de testero

$$S_x = \frac{M}{0.6 * \frac{\sigma_y}{F}} = \frac{8160 \text{ Kg} * \text{cm}}{0.6 * \left( \frac{2450}{1.1} \right) \text{ Kg/cm}^2} = 6.10 \text{ cm}^3$$

Según cotización se emplean para el cuerpo de testero 2, UPN 200 con un módulo de sección cada uno de  $S_x = 191 \text{ cm}^3 * 2 = 382 \text{ cm}^3$ , lo que satisface el módulo de sección cotizado.

#### 4.4.3 CÁLCULO DE VIGA SOPORTE DEL TESTERO

- Carga transmitida por la viga puente, como reacciones de testero, ver figura 4.20.

$$R_a = R_b = \frac{q'}{2} = \frac{0.544 T}{2} = 0.272 T$$

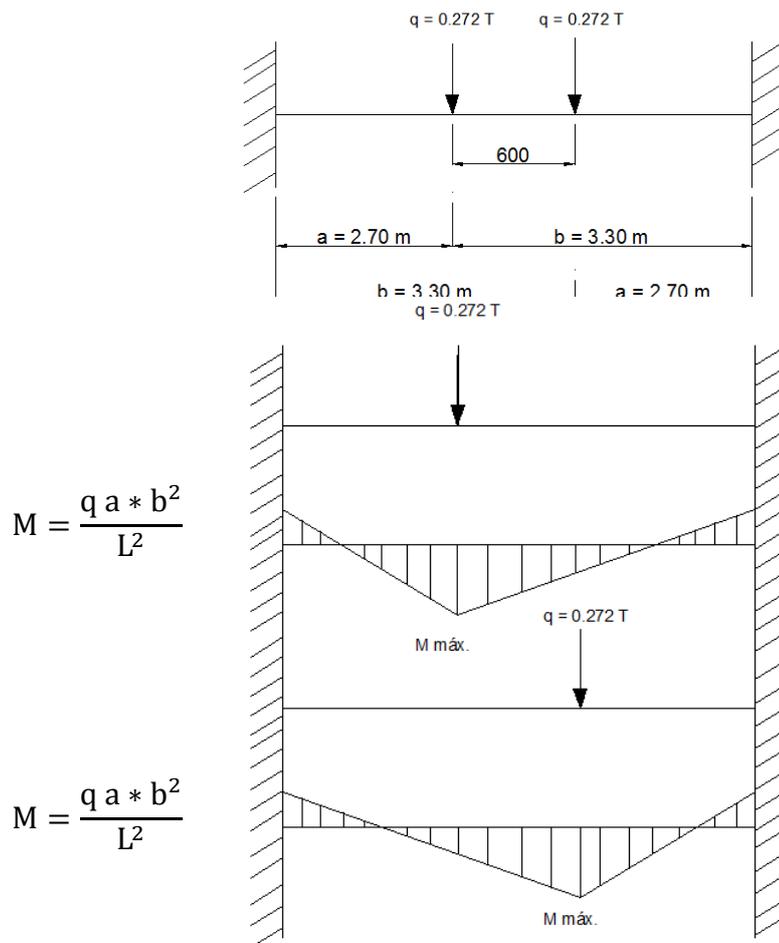


Fig. 4.20 Diagrama de momentos viga soporte de testeros

- Momento en viga corredera apoyo de testero, se calcula por el método de rigideces presentado en las figuras 4.21 y 4.22.

$$q_1 = M = \frac{qab^2}{L^2} + q_2 = M = \frac{qab^2}{L^2}$$

$$M = \frac{qab^2}{L^2} + \frac{qab^2}{L^2} = \frac{qab}{L^2} (a + b)$$

$$M = \frac{0.272\text{ T} * 2.7\text{ m} * 3.30\text{ m}}{(6.0\text{ m})^2} * (2.4\text{ m} + 3.30\text{ m})$$

$$M = 0.387\text{ T} * \text{m}$$

La rigidez de los miembros viene dada por.

$$K = \frac{4 E * I}{L}$$

Donde:  $E * I$  para fines de cálculo se asume como una constante = 1

Rigidez en la unión de los elementos

$$K_V = \frac{4}{L} = \frac{4}{6} = 0.666$$

$$a_v = \frac{0.66}{2} = 0.33 \text{ Viga horizontal}$$

$$K_c = \frac{4}{L} = \frac{4}{4.5} = 0.889$$

$$a_c = \frac{0.88}{2} = 0.22 \text{ Viga columna}$$

- Diagrama de rigideces

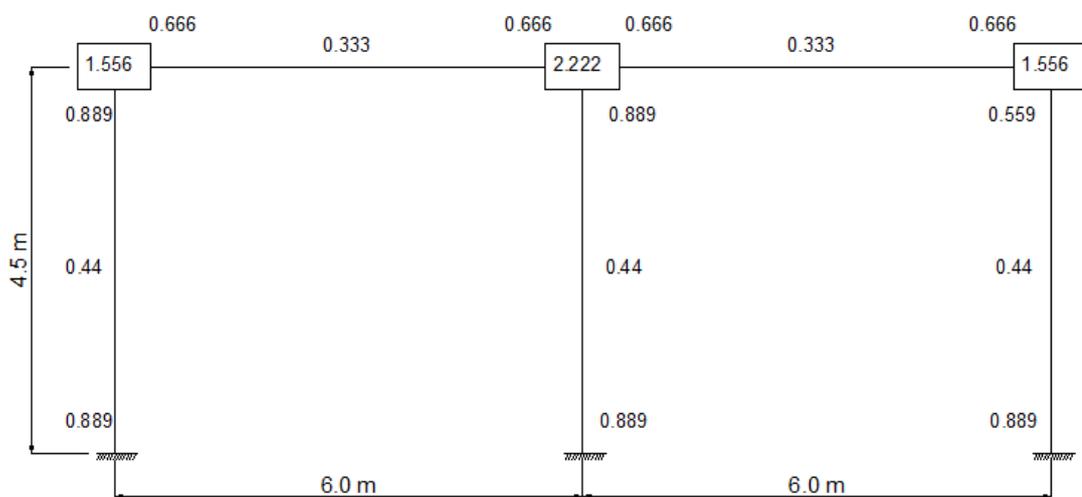


Fig. 4.21 Diagrama de rigideces

$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	- m
1.556	0.333	0.000	-0.387
0.333	2.222	0.333	0.387
0.000	0.333	1.556	0.000

$$[A] = \begin{bmatrix} 1.556 & 0.333 & 0.000 \\ 0.333 & 2.222 & 0.333 \\ 0.000 & 0.333 & 1.556 \end{bmatrix}$$

$$[A]^{-1} = \begin{bmatrix} 0.665 & -0.103 & 0.02 \\ -0.10 & 0.408 & -0.10 \\ 0.022 & -0.103 & 0.665 \end{bmatrix}$$

$$[\Theta] = \begin{bmatrix} 0.665 & -0.103 & 0.02 \\ -0.10 & 0.408 & -0.10 \\ 0.022 & -0.103 & 0.665 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -0.387 \\ 0.387 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{matrix} -0.2972 & \theta_1 \\ 0.2260 & \theta_2 \\ -0.0484 & \theta_3 \end{matrix}$$

- Diagrama de momentos hiperestáticos

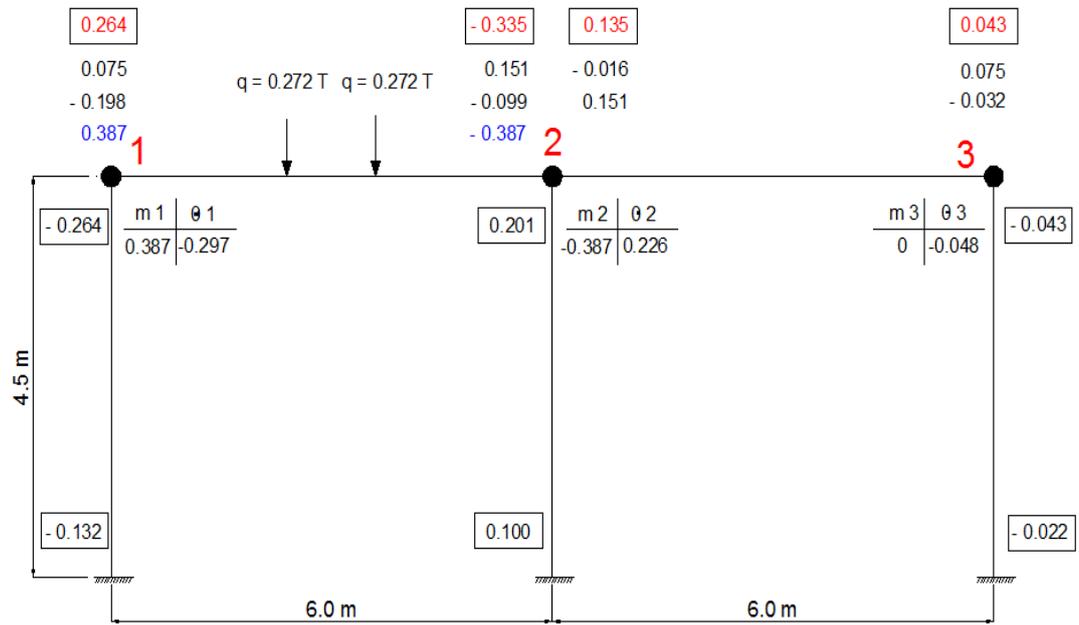


Fig. 4.22 Diagrama de momentos hiperestáticos

- **Nudo 1**

Viga Horizontal

$$\theta_2 * (a_v = K_V/2) = 0.226 * \left(\frac{0.666}{2}\right) = 0.075$$

$$\theta_1 * K_V = -0.297 * 0.666 = -0.198$$

$$\Sigma M = 0.387 - 0.198 + 0.075 = 0.264 \text{ T} * \text{m}$$

Viga Columna

$$\theta_1 * K_c = -0.297 * 0.889 = -0.264$$

$$\theta_1 * (a_c = K_c/2) = -0.297 * (0.889/2) = -0.132$$

- **Nudo 2**

Vigas Horizontales

$$\theta_2 * K_V = 0.226 * 0.666 = 0.151$$

$$\theta_1 * (a_v = K_V/2) = -0.297 * \left(\frac{0.666}{2}\right) = -0.099$$

$$\Sigma M = -0.387 - 0.099 + 0.151 = -0.335 \text{ T} * \text{ m}$$

$$\theta_3 * (a_v = K_v/2) = -0.048 * \left(\frac{0.666}{2}\right) = -0.016$$

$$\theta_2 * K_v = 0.226 * 0.666 = 0.151$$

$$\Sigma M = 0.151 - 0.016 + 0.075 = 0.135 \text{ T} * \text{ m}$$

Viga Columna

$$\theta_2 * K_c = 0.226 * 0.889 = 0.201$$

$$\theta_2 * (a_c = K_c/2) = 0.226 * (0.889/2) = 0.100$$

- **Nudo 3**

Viga Horizontal

$$\theta_3 * K_v = -0.048 * 0.666 = -0.032$$

$$\theta_2 * (a_v = K_v/2) = -0.226 * \left(\frac{0.666}{2}\right) = 0.075$$

$$\Sigma M = -0.032 + 0.075 = 0.043 \text{ T} * \text{ m}$$

- **Viga Columna**

$$\theta_3 * K_c = -0.048 * 0.889 = -0.043$$

$$\theta_3 * (a_c = K_c/2) = -0.048 * (0.889/2) = -0.022$$

Realizada la sumatoria de momentos en los nudos del pórtico analizado se determina que el momento máximo se produce en el nudo 2 con un valor de - 0.335 T\*m

$$M_{\max} = -0.335 \text{ T} * \text{ m} \left| \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ T}} \right| \left| \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right| = 33500 \text{ kg} * \text{ cm}$$

$$S_x = \frac{M}{0.6 * \left(\frac{\sigma_y}{F}\right)} = \frac{33500}{0.6 \left(\frac{2450}{1.1}\right)} = 25.06 \text{ cm}^3 \left| \frac{(10 \text{ mm})^3}{1 \text{ cm}^3} \right| = 25068.02 \text{ mm}^3$$

$$S_x = \frac{25068.02 \text{ mm}^3}{1000} = 25.06 \text{ E}^3 \text{ mm}^3$$

Basados en la sección requerida de  $25.06 \text{ E}^3\text{mm}^3$ , se determina que se puede emplear una viga IPE 100 con una sección  $34.20 \text{ E}^3\text{mm}^3$  pero al verificar la medida del perfil UPN 65 que se empleará para que las ruedas del testero giren y por su deformación, se define que se requiere una viga con mayor anchura de alas, siendo la viga IPE 200 la que mejor se acopla al perfil UPN 65

$$q = 0.544 T = 544 \text{ kg}$$

$$\text{IPN100 } I = 171 \text{ cm}^4$$

$$\text{IPN200 } I = 1940 \text{ cm}^4$$

$$\Delta = \frac{d}{750} = \frac{600}{750} = 0.80 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{max}_1} = \frac{2qa^3b^2}{3EI(3a + b)^2}$$

$$\Delta_{\text{max}_1} = \frac{2 * 522 \text{ kg} * (270 \text{ cm})^3 * (330 \text{ cm})^2}{3 * 2.10\text{E}^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 171 \text{ cm}^4 * [(3270 \text{ cm}) + 330 \text{ cm}]^2}$$

$$\Delta_{\text{max}_1} = \frac{2.23\text{E}^{15}}{1.40\text{E}^{15}} = 1.59 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{max}_2} = 1.59 \text{ cm}$$

$$\Delta T = \Delta_{\text{max}_1} + \Delta_{\text{max}_2} = 1.59 + 1.59 = 3.18 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{max}_1} = \frac{2qa^3b^2}{3EI(3a + b)^2} = \frac{2 * 522 \text{ kg} * (270 \text{ cm})^3 * (330 \text{ cm})^2}{3 * 2.10\text{E}^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1940 \text{ cm}^4 * [(3 * 270 \text{ cm}) + 330 \text{ cm}]^2}$$

$$\Delta_{\text{max}_1} = \frac{2.23\text{E}^{15}}{1.58\text{E}^{16}} = 0.14 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{max}_2} = 0.14 \text{ cm}$$

$$\Delta T = \Delta_{\text{max}_1} + \Delta_{\text{max}_2}$$

$$\Delta T = 0.14 + 0.14$$

$$\Delta T = 0.28 \text{ cm}$$

#### 4.4.4 CÁLCULO COLUMNAS PÓRTICO

Asumimos una viga IPE 200 como columna para que se mantenga igual los anchos de viga y no se presente un cambio de sección, sea esta mayor o menor respecto de la viga utilizada como apoyo de los testeros, siendo los valores característicos.

Viga IPE 200

$$I_x = 19.432 \text{ E}^6 \text{ mm}^4 = 1943.5 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 1.4237 \text{ E}^6 \text{ mm}^4 = 142.3 \text{ cm}^4$$

$$A = 2848 \text{ mm}^2 = 28.48 \text{ cm}^2$$

Se inicia con la relación de esbeltez

$$\frac{K * L}{r_m} < 200$$

$$I_y = 1.423 \text{ E}^6 \text{ mm}^4 \left| \frac{1 \text{ cm}^4}{(10 \text{ mm})^4} \right| = 142.3 \text{ cm}^4$$

$$A = 2848 \text{ mm}^2 \left| \frac{1 \text{ cm}}{(10 \text{ mm})^2} \right| = 28.48 \text{ cm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{142.3 \text{ cm}^4}{28.48 \text{ cm}^2}} = 2.23 \text{ cm}$$

$$\frac{k * L}{r} = \frac{0.65 * 450 \text{ cm}}{2.23 \text{ cm}} = 131.165$$

$$E = 2.10 \text{ E}^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$L = 4.5 \text{ m} \rightarrow 450 \text{ cm}$$

- La carga crítica  $q_c$  esta dada por la inercia menor y la longitud de la columna

$$q_c = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$$

$$q_c = \frac{\pi^2 * 2.10 \text{ E}^6 \text{ cm}^2 * 142.3 \text{ cm}^4}{(450 \text{ cm})^2}$$

$$q_c = 14571.77 \text{ kg} = 14.571 \text{ T}$$

- La carga crítica  $q_c$  dada por el esfuerzo permisible de diseño  $F_a$ , Tabla C-36 AISC

$$\frac{k * L}{r} = \frac{0.65 * 450 \text{ cm}}{2.23 \text{ cm}} = 131.165$$

$\frac{kL}{r}$	$\frac{F_a}{\text{KSI}}$
131	8.7
131.165	8.678
132	8.57

$$8.678 \text{ KSI} \left| \frac{1000 \frac{\text{Lb}}{\text{plg}^2}}{1 \text{ KSI}} \right| = 8678.55 \frac{\text{Lb}}{\text{plg}^2}$$

$$8678.55 \frac{\text{Lb}}{\text{plg}^2} \left| \frac{1 \text{ kg}}{2.2 \text{ Lb}} \right| \left| \frac{1 \text{ plg}^2}{(2.54 \text{ cm})^2} \right| = 611.44 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$q_c = F_a * A_g$$

$$q_c = 611.44 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 28.48 \text{ cm}^2$$

$$q_c = 17413.93 \text{ kg} = 17.41 \text{ T}$$

La columna con la Viga IPE 200 seleccionada para las columnas, cumple la relación de esbeltez requerida por la condición dada, y con la resistencia a la carga puntual requerida.

#### 4.4.5 CALCULO DE PLACA BASE DE LAS COLUMNAS

Se inicia considerando la resistencia presentada por el hormigón y el acero.

- $f'_c$  = Resistencia compresión hormigón

$$f'_c = 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

- $f_y$  = Resistencia compresión acero

$$f_y = 2450 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

El valor de las reacciones en el miembro sometido a mayor esfuerzo ha sido obtenido por medio del software de diseño estructuras SAP 2000 V. 14, siendo estas las indicadas en las figuras 4.23, 4.24, 4.25.

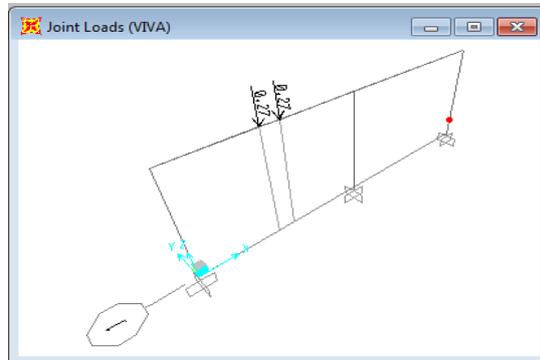


Fig. 4.23 Diagrama de cargas testero  
Realizado: Miguel Angel Merchán

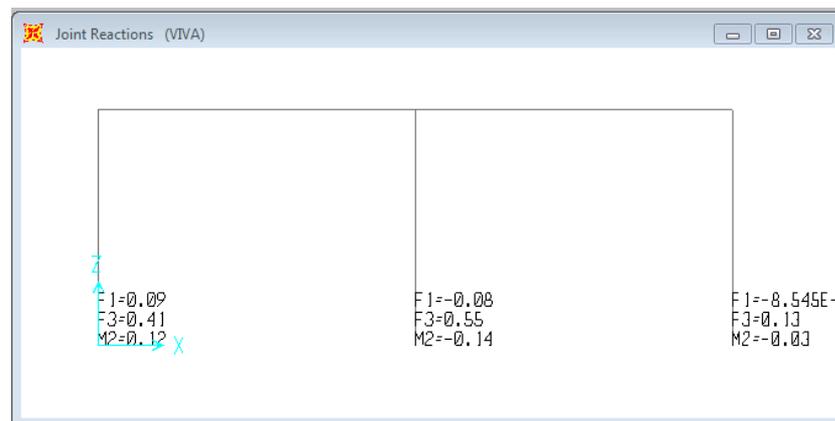


Fig. 4.24 Reacciones por cargas vivas  
Realizado: Miguel Angel Merchán

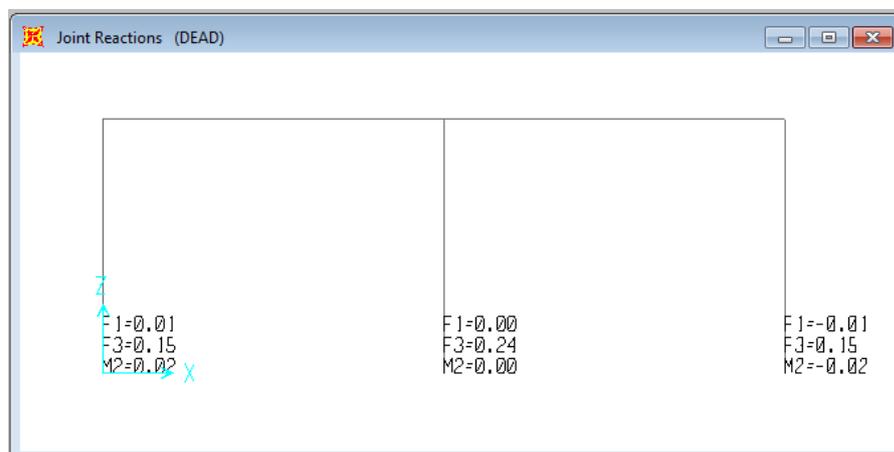


Fig. 4.25 Reacciones por cargas propias de viga (cargas muertas)  
Realizado: Miguel Angel Merchán

Basados en el Software SAP 2000 V14 se determina las reacciones mayores, dadas estas en la columna central ocasionada por las cargas vivas y muertas aplicadas al pórtico  $F1 = R_x$ ;  $F2 = R_y$  y  $F3 = R_z$ , con lo que se procede con la sumatoria de las estas reacciones obteniendo el valor de la carga P en el concreto.

$$\Sigma R = C_v (F3) + C_m (F3)$$

$$R = 0.55 T + 0.24 T$$

$$R = 0.79 T = 790 \text{ kg.}$$

$$P = 790 \text{ kg.}$$

Se inicia calculada el área del plinto donde se asentará la columna y placa base., se impone una área inicial del plinto según medida de columna IPE 200 con un formato de plinto de 40 x 40 (cm).

- Área de plinto de concreto

$$A_2 = L * L$$

$$A_2 = (40 * 40) \text{ cm} = 1600 \text{ cm}^2$$

- Área requerida para el concreto

$$A_1 = \frac{1}{A_2} \left( \frac{P}{0.35 * f'c} \right)^2 = \frac{1}{1600 \text{ cm}^2} \left( \frac{790 \text{ kg}}{0.35 * 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \right)^2 = 0.072 \text{ cm}^2$$

$$A_1 = \frac{P}{0.7 * f'c} = \frac{790 \text{ kg}}{0.70 * 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 5.37 \text{ cm}^2$$

$$A'_1 = b_f * d \Rightarrow \text{Donde: } b_f = 100 \text{ mm y } d = 200 \text{ mm} \quad \text{Viga IPE 200}$$

$$A'_1 = (10 * 20) = 200 \text{ cm}^2$$

Se selecciona el área  $A_2$  más crítica dada por la Viga IPE 200 siendo esta  $200 \text{ cm}^2$

- Se calcula la deflexión

$$\Delta = 0.5[0.95 * d - 0.8 * b_f]$$

$$\Delta = 0.5[0.95 * 20 - 0.8 * 10]$$

$$\Delta = 0.5 = 5.5 \text{ cm}$$

- Relación de formato de placa

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta = \sqrt{200 \text{ cm}^2} + 5.5 \text{ cm} = 19.64 \text{ cm}$$

$$N = 20 \text{ cm}$$

$$B = \frac{A_1}{N} = \frac{200 \text{ cm}^2}{19.64 \text{ cm}} = 10.18 \text{ cm}$$

Se requiere un formato de 20 cm x 10 cm en la placa base pero al ser este igual al formato de la viga IPE 200, se puede aumentar 10 cm al borde de la misma para atornillar la placa al concreto por medio de pernos de anclaje, obteniendo así un formato de 30 cm x 20 cm., con lo cual se procede a calcular su área.

- Área total

$$A_T = N * B = 30 * 20 = 600 \text{ (cm)}$$

- Verificamos el esfuerzo del hormigón

$$f_p = \frac{P}{N * B} = \frac{790 \text{ kg}}{30 * 20} = 1.316 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

- Resistencia del hormigón basado en las áreas

$$F_p = 0.35 * f'c * \sqrt{\frac{A_2}{A_T}} \leq 0.7 * f'c$$

- Se encuentra la  $F_p =$  crítica

$$F_p = 0.35 * f'c * \sqrt{\frac{A_2}{A_T}} = 0.35 * 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \sqrt{\frac{1600 \text{ cm}^2}{600 \text{ cm}^2}} = 120.02 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_p < F_p \Rightarrow 1.316 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 120.02 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

- Especificación del método ASD ( 0.7  $\Rightarrow$  70%), trabajo recomendado para el concreto a compresión.

$$F_p \leq 0.7 * f'c$$

$$120.02 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \leq 0.7 * f'c$$

$$120.02 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 0.7 * 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$120.02 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 147 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

La carga  $F_p$  cumple con la condición del método ASD

Como la placa se ajusta al perfil de la columna se obtiene el mayor valor de  $C$  con el cual procedemos a calcular el espesor ( $t$ ) de la placa determinada este por:

- Se calcula  $c = \text{máximo valor de } m, n, \lambda n'$

$$m = \frac{N - 0.9d}{2} = \frac{30 - (0.9 * 20)}{2} = 6 \text{ cm}$$

$$n = \frac{B - 0.8bf}{2} = \frac{20 - (0.8 * 10)}{2} = 6 \text{ cm}$$

$$n' = \frac{\sqrt{d * bf}}{4} = \frac{\sqrt{20 * 10}}{4} = 7.07 \text{ cm}$$

$$c = (6.0; 6.0; 7.07)$$

$$c = 7.07 \text{ cm}$$

- Calculamos el espesor de la placa  $t_p$

$$t_p = 2 * c \sqrt{\frac{f_p}{F_y}}$$

$$t_p = 2 * 7.07 \text{ cm} \sqrt{\frac{1.316 \text{ kg/cm}^2}{2450 \text{ kg/cm}^2}} = 0.32 \text{ cm}$$

$$t_p = 0.32 \text{ cm}$$

$$t_p = 3.2 \text{ mm}$$

El espesor mínimo requerido para la placa base es 3.2 mm, por acople de la placa base a columna por medio de soldadura se determina que el espesor debe ser mayor que el calculado para evitar la deformación provocada por esta, también debe ser mayor por los requerimientos de los pernos de anclaje por expansión tipo Fischer FH M12 calculado posteriormente requiriendo este tipo de perno de anclaje una placa de 10 mm para su uso, anexo 4.

- Se verifica si las medidas calculas de la placa satisface las condiciones de diseño dadas para placas ligeras y muy cargadas determinadas por los siguientes coeficiente:

$$q < 1 \text{ y } \lambda \leq 1$$

$$q = \frac{4 * f_p * d * b_f}{(d + b_f)^2 * F_p} < 1$$

$$q = \frac{4 * 10.16 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 20\text{cm} * 10\text{cm}}{((20 + 10)\text{cm})^2 * 138.9 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$q = 0.065 < 1$$

$$\lambda = \frac{2(1 - \sqrt{t - q})}{\sqrt{q}} \leq 1$$

$$\lambda = \frac{2(1 - \sqrt{0.91 \text{ cm} - 0.065 \text{ cm}})}{\sqrt{0.065 \text{ cm}}}$$

$$\lambda = \frac{2(1 - 0.62)}{0.93}$$

$$\lambda = 0.63 \leq 1$$

Los valores obtenidos satisfacen los coeficientes de diseño para placas ligeras y muy cargadas.

#### 4.4.6 CÁLCULO PARA PERNOS DE ANCLAJE

Se considera para el anclaje del pórtico por medio de la placa base, pernos de expansión de alta resistencia Fischer FH recomendado para estructuras metálicas en general, ya que la superficie de apoyo para este pórtico ya se encuentra fabricada, siendo esta la losa de estructura donde se apoyaran todos los elementos.

Fuerza cortante en la placa base de la columna central del pórtico esta dada por:

$$F_1 = 0.08 T = 80 \text{ kg}$$

Momento en este punto indicado es igual a:

$$M = 0.14 T * m = 14 T * \text{cm}$$

Esfuerzo de tracción aplicado a cada perno esta dado por:

$$M_y = 2 * P * d_0$$

$$P = \frac{My}{2 * d_o}$$

$$P = \frac{14 T * cm}{2 * 24 cm} = 0.29 T = 290 \text{ kg}$$

Esfuerzo de trabajo para un perno grado 8, (Anexo 4)

$$\sigma_t = 105 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 10500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Basados en los valores obtenidos y considerando la resistencia máxima de los pernos de anclaje por expansión tipo Fisher se determina el perno M12 su área esta dada por  $A_r = 0.84 \text{ cm}^2$  y sus esfuerzos son:

$\varnothing \text{ mm}$	10	12	16	20	22	24	27	30	33	36
$A_r \text{ cm}^2$	0,58	0,84	1,57	2,75	3,03	3,53	4,59	5,61	6,94	8,17

Cargas de rotura perno M12 (F 18 x 80)

- Tracción  $P = 45.2 \text{ kN} = 4612.24 \text{ kg}$ .
- Corte  $59.9 \text{ kN} = 6112.24 \text{ kg}$ .
- Cargas recomendadas
- Tracción  $P = 8.3 \text{ kN} = 846.93 \text{ kg}$ .
- Corte  $18.9. \text{ kN} = 1928.57 \text{ kg}$

Requiriendo una carga de tracción para el pernos de la placa base de  $P = 290 \text{ kg}$ ., proporcionando el perno Fisher M12 una carga de trabajo de  $846.93 \text{ kg}$ ., siendo este un valor muy próximo al requerido en el calculo.

Se verifica por ultimo el esfuerzo de tracción por agotamiento del perno teniendo este que cumplirse la siguiente consideración.

$$\frac{P}{n} \leq P \text{ agotamiento}$$

$$P \text{ agotamiento} = 0.8 * \sigma_t * A_r$$

$$P \text{ agotamiento} = 0.8 * 10500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 0.84 \text{ cm}^2 = 7056 \text{ kg}$$

$$\frac{P}{n} \leq P \text{ agotamiento}$$

$$\frac{290}{4} \leq 7056 \text{ kg}$$

$$72.5 \text{ kg} \leq 7056 \text{ kg}$$

- El diámetro de la perforación en la placa base y la distancia desde los canto esta dada por.

$$\text{Diámetro (agujero placa)} = \text{diámetro del perno} + 3.2$$

$$\text{Diámetro (agujero placa)} = 12 \text{ mm} + 3.2 = 15.2 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia (canto de placa)} \geq 1.5 * \text{diámetro (agujero placa)}$$

$$\text{Distancia (canto de placa)} \geq 1.5 * 15.2 \text{ mm} = 22.8 \text{ mm}$$

El diámetro del agujero a perforar en la placa base para cada perno será de 20 mm con una distancia al centro de la perforación desde los cantos de la placa base de 30 mm.



Fig. 4.26 Pórtico para transportar productos  
Realizado: Miguel Angel Merchán

#### 4.4.7 CÁLCULO DE ELEMENTOS SOLDADOS

##### Esfuerzo permisible de la soldadura

$$F_{\text{soldadura}} = \frac{S_y}{F_s}$$

$F_s$ , Factor de seguridad según norma AWS D1.1 es 2.2

Electrodo norma AWS E 6010  $S_y = 50 \text{ kpsi} \Rightarrow 17050.03 \text{ kg/cm}^2$ , anexo 6.

$$F_{\text{soldadura}} = \frac{17050.30 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{2.2} = 7750 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

##### Esfuerzo de la soldadura en tina de lavado

- Se analiza inicialmente como un esfuerzo de cote para juntas en filete

$$S_{\text{ut}} = 62 \text{ kpsi} \Rightarrow 62000 \text{ psi} \Rightarrow 21142.04 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{y \text{ corte}} = 0.45 * S_{\text{ut}} = 0.45 * 21142.04 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 15413.918 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

- El esfuerzo permisible para las juntas en filete

$$F_{\text{soldadura}} = 0.205 * S_{\text{ut}} = 0.205 * 21142.04 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 4334.11 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

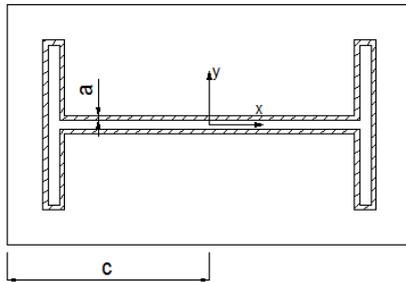
- Esfuerzo en la parte inferior de la tina unión placa longitudinal y placa transversal.

$$q = \rho * h$$

$$q = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.22 \text{ m} = 1220 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \left| \frac{1 \text{ m}^2}{(100 \text{ cm})^2} \right| = 0.122 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

El esfuerzo producido en la unión de la tina es menor que el esfuerzo permisible de la soldadura por lo tanto la soldadura empleada en la unión de la base y placas laterales de tina resiste el esfuerzo provocado por la presión del líquido sobre estos elementos.

## Esfuerzo de la soldadura en juntas soldadas a flexión



Distancia al centro de la placa base,  $C = 150 \text{ mm} \Rightarrow 15 \text{ cm}$

Momento en la base de la columna dado por software Sap 2000 V 14,

$$M = 0.14 T * m \Rightarrow 14 T * \text{cm}$$

Inercia menor de viga IPE 200

$$I = 1.4237 E^6 \text{ mm}^4 \Rightarrow 142.3 \text{ cm}^4$$

$$f_{bs} = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{14 T * \text{cm} \cdot 15 \text{ cm}}{142.3 \text{ cm}^4} = 1.47 \frac{T}{\text{cm}^4} \Rightarrow 1475.75 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

El esfuerzo de soldadura provocado por el momento en la junta columna - placa base de apoyo, es menor que el esfuerzo permisible de la soldadura, por lo tanto la soldadura resiste el esfuerzo de trabajo a la que esta sometida.

### 4.4.8 CÁLCULO DE ELEMENTOS DE IZAJE

La fuerza en cada ramal empleando una esliga de 4 ramales esta dada por la carga total a soportar y el ángulo formado por los ramales de esta, siendo:

$$P = 453.57 \text{ kg y } \alpha = 120^0$$

$$R = \frac{P}{4} * \frac{1}{\text{Cos } \alpha}$$

$$R = \frac{453.57 \text{ kg}}{4} * \frac{1}{\text{Cos } 120}$$

$$R = 139.27 \text{ kg}$$

Una vez obtenida esta carga R, se debe multiplicar por el factor de sobrecarga determinado por el ángulo formado por los ramales siendo este de 2.

$$R = 139.27 \text{ kg} * 2 = 278.54 \text{ kg.}$$

Basados en la carga de trabajo que debe soportar el cable se determina el diámetro de este según la tabla 3.14.

Cargas de trabajo (en Kg.) de los cables de uso mas frecuente				
Diámetro en m.m.		9,45	12,6	15,7
18,9	25,2			
Carga en Kg.		710	1.270	1.970
2.850	5.080			

El diámetro de cable que resiste la carga de 278.54 kg es el diámetro de 9.45 mm resistiendo un valor máximo de 710 kg.

Se verifica la carga que este tipo de cable soporta en una eslinga de 4 ramales, siendo la resistencia total de este tipo de eslinga según el cable seleccionado de 1300 kg, según norma ISO 7531 – CS, 5:1 para cables de acero, anexo 5.

Basados en el tipo cáncamo giratorio seleccionado preliminarmente en el diseño de la canasta se determina el gancho de anclaje que dispondrá la eslinga, siendo este el tipo P - 6714C para carga de trabajo de 0.8 T según norma EN - 1677-5, siendo este el que ingresara adecuadamente en el cáncamo giratorio seleccionado.

A continuación en la figura 4.27 se presenta el esquema completo de proceso de inmersión, mientras que la figura 4.28 se presenta el mismo esquema del proceso implementado en el área que esta destina para este, verificando de esta manera que el este quepa en el espacio mencionado.

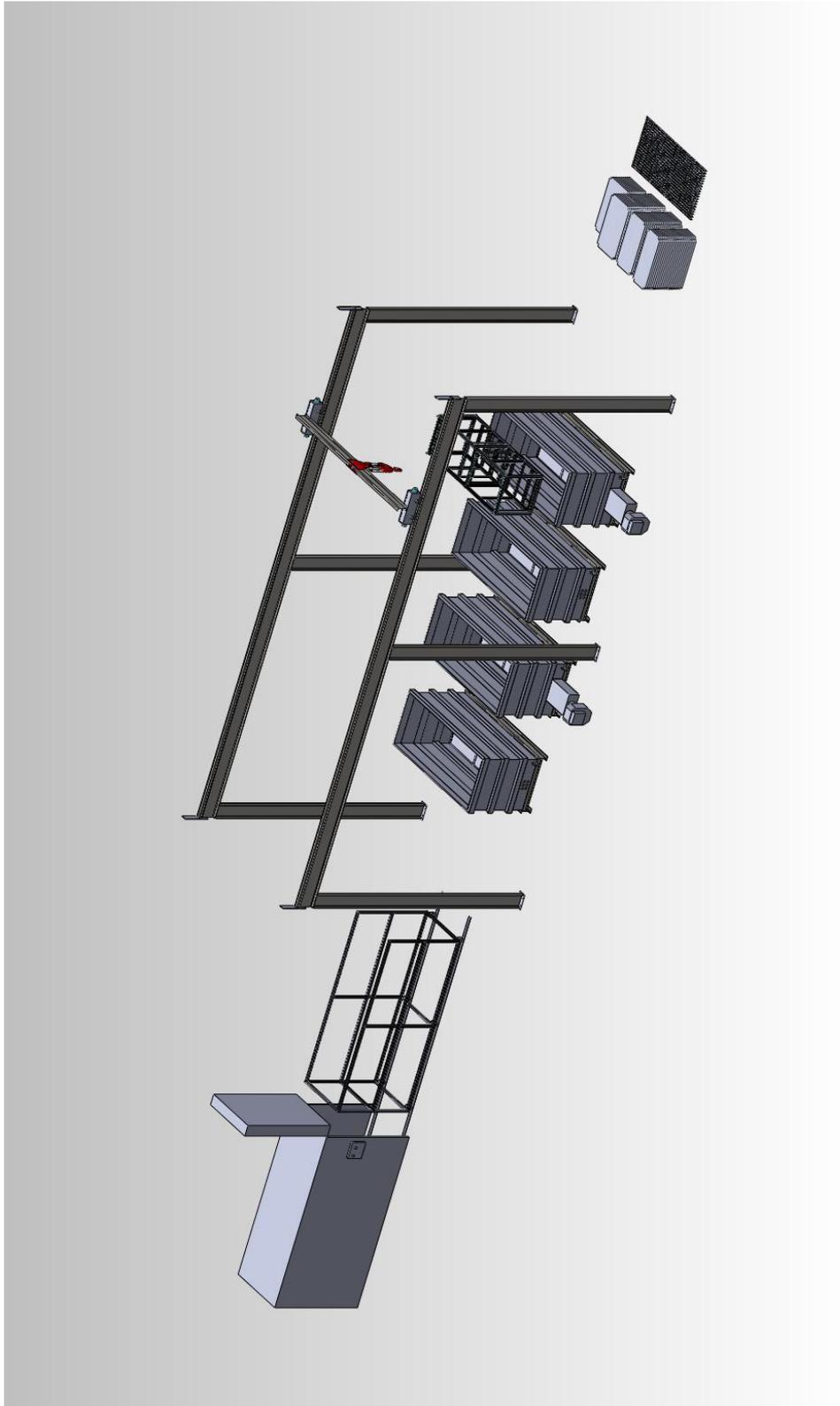


Fig. 4.27 Proceso completo para pretratamiento de láminas metálicas  
Realizado: Miguel Angel Merchán

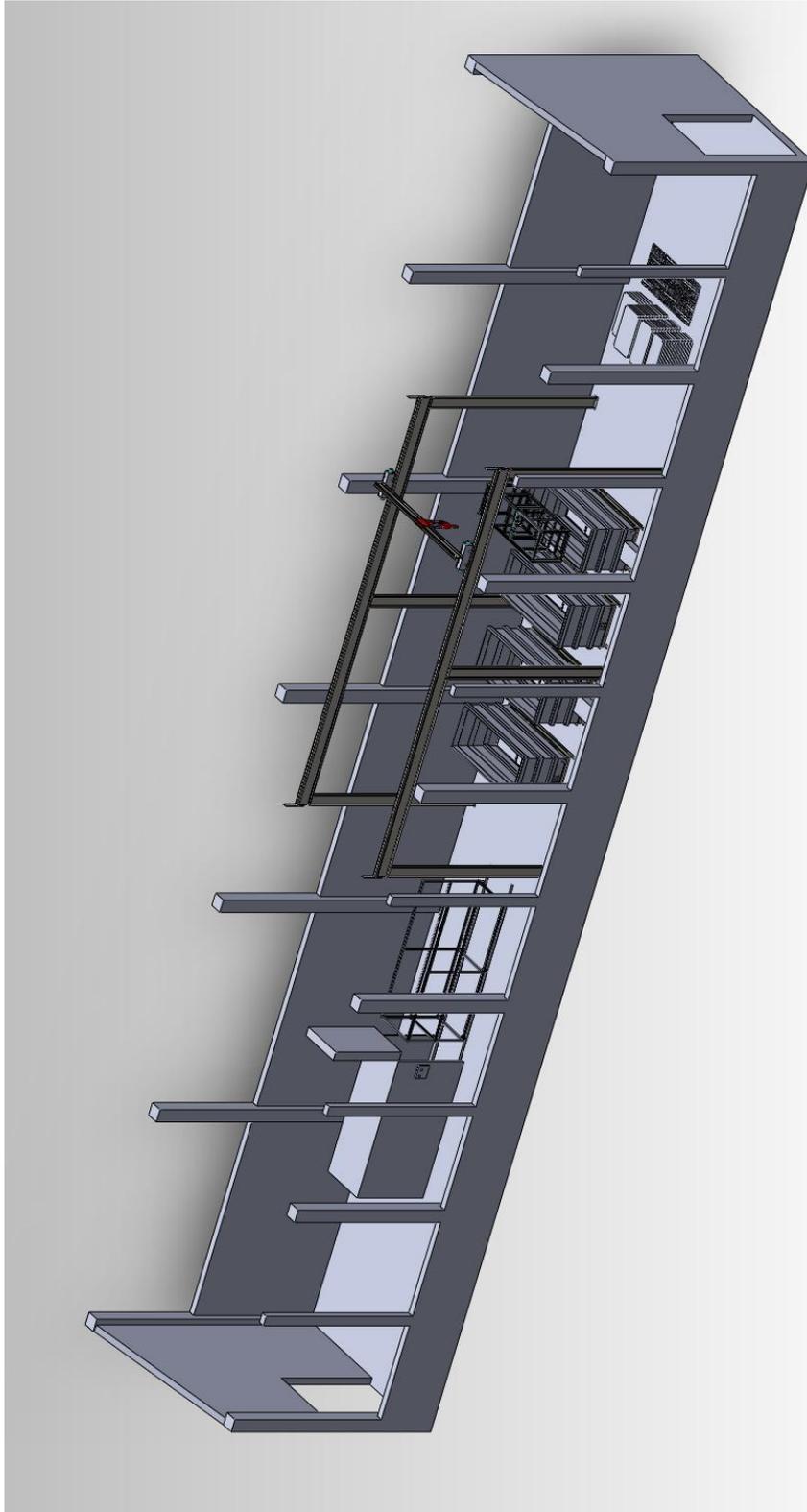


Fig. 4.28 Proceso completo para pretratamiento de láminas metálicas implementado en el área destina para este.  
Realizado: Miguel Angel Merchán

#### 4.4.9 DIAGRAMA DE FLUJO

Este diagrama muestra los movimientos de los productos a lo largo de su línea de producción, así como el tiempo de ejecución en cada uno de sus fases además de el número de personas empleadas en sus diferentes etapas específicas.

Los símbolos empleados para construir este diagrama son:

- **Operación.** Se realiza algo o se produce un bien, el símbolo con el que se representa es: 
- **Inspección.** Se verifica la calidad o cantidad del producto a ser procesado, el símbolo con el que se representa es: 
- **Transporte:** Se cambia de ubicación por medio del movimiento físico del producto, el símbolo con el que se representa es: 
- **Demora:** Se obstruye o retrasa el siguiente proceso por alguna circunstancia, el símbolo con el que se representa es: 
- **Almacenamiento:** Se guarda o protege la materia prima por procesar o procesada, de los diferentes medios expuesta, el símbolo con el que se representa es: 

Al realizar el diagrama de flujo es posible determinar con mayor precisión los valores de los costos que se tendrán en proceso de limpieza por inmersión.

A continuación en la tabla 4.12 se desarrolla el diagrama de flujo para el proceso de limpieza por inmersión diseñado para la limpieza de láminas metálicas en la Mecánica Don Bosco.

## DIAGRAMA DE FLUJO

NÚMERO DE PASOS	TIEMPO (min.)	DISTANCIA (m)	NÚMERO DE PERSONAS	●	➔	■	D	▼	DESCRIPCION
1									Bodega de almacenamiento de productos previos a ser procesados
2	5		1	X					Recepción de materia prima para ser procesada
3	5		1			X			Control de cantidad de materia prima recibida
4	2		1	X					Encendido de equipo para calentamiento de químicos contenidos de tinas
5	180		1				X		Espera para que los productos químicos que se encuentren en las tinas lleguen a la temperatura adecuada para el inicio del proceso de inmersión
6	5	2	1		X				Transporte de productos a canasta de inmersión
7	5		1	X					Colocación de productos en el interior de la canasta de inmersión
8	1	1	1		X				Transporte de productos colocados en canasta de inmersión hacia la tina de desengrase empleando polipasto
9	20		1	X					Proceso de desengrase por inmersión
10	1	1	1		X				Transporte de productos colocados en canasta de inmersión hacia la tina de enjuague empleando polipasto
11	2		1	X					Proceso de enjuague por inmersión
12	1	1	1		X				Transporte de productos colocados en canasta de inmersión hacia la tina de fosfatado empleando polipasto
13	10		1	X					Proceso de fosfatado por inmersión
14	1	1	1		X				Transporte de productos colocados en canasta de inmersión hacia la tina de enjuague empleando polipasto
15	5	1	1	X					Descarga de productos procesados
16	5	1	1		X				Transporte de productos procesados hacia coche para secado
17	2	1	1		X				Transporte de coche con productos hacia interior de horno
18								X	Almacenamiento de producto para ser pintados posteriormente

Tabla 4.12 Diagrama de flujo, proceso de limpieza por inmersión  
Realizado: Miguel Angel Merchán

#### **4.4.10 PARÁMETROS PARA MANTENIMIENTO DE EQUIPO DE LIMPIEZA**

A continuación se detallan algunos parámetros para el mantenimiento de los equipos que componen el proceso de limpieza por inmersión.

##### **TINAS DE LAVADO**

El mantenimiento de las tinas de lavado es de suma importancia ya que estas contienen los productos químicos empleados en la limpieza, ejerciendo estos una gran presión sobre la base y paredes de las tinas, por tal motivo deben estar en buen estado para evitar la rotura de las mismas.

- Limpieza de sedimentos o lodos depositados en la base, paredes de las tinas y tubos del intercambiador de calor producidos por el desengrase y fosfatado de los productos inmersos en esta, por medio del empleo de un jabón neutro.
- Verificación del buen estado del recubrimiento de poliuretano colocado en el interior de las tinas para evitar la corrosión y exposición de las placas de metal con los químicos empleados en la limpieza de los productos.
- Verificación del estado de las uniones de soldadura que comprenden la estructura de las tinas y bases, para evitar fugas de los líquidos y deterioro de dichas tinas.
- Mantener la superficie externa de las tinas de lavado y bases en buen estado, pintándolas periódicamente según se requiera para evitar la corrosión provocada por la salpicadura de los químicos al realizar el proceso de limpieza.

##### **SISTEMA DE CALENTAMIENTO**

El sistema de calentamiento así como su línea de combustión requiere de un mantenimiento periódico que debe ser realizado por personal calificado, siendo este de vital importancia para el buen funcionamiento del quemador empleado, evitando de esta manera el consumo excesivo de combustible y reduciendo la contaminación al ambiente.

- Antes de efectuarse cualquier operación de limpieza o control, se deberá desconectar la alimentación eléctrica del quemador.
- Limpieza interior de tubos de intercambiador de calor o baqueteado para eliminar las incrustaciones provocadas por la combustión del gas.
- Controlar que no se presenten obstrucciones o abolladuras en los tubos de alimentación y retorno de combustible.
- Realizar la limpieza del filtro de la línea de aspiración de combustible.
- Controlar el consumo correcto de combustible.
- Efectuar la limpieza de la cabeza de combustión en la zona de salida del combustible.

## **SISTEMA DE TRANSPORTACION**

El mantenimiento del sistema de transportación es de suma importancia ya que este soportara la carga de los productos sobre las tinas de lavado y al no ser inspeccionado y mantenido correctamente pone en riesgo al personal y los equipos que debajo de este se encuentran, por tal motivo se tiene los siguientes parámetros.

- Revisión visual y de funcionamiento de los mecanismos de seguridad: limitadores de carrera, frenos, dispositivos de seguridad y de parada de emergencia, así como del sistema eléctrico empleado en su funcionamiento.
- Revisión visual de los aspectos más aparentes del pórtico y de elementos sometidos a esfuerzo.
- Revisión visual de estado de riel corredera empleada para rodadura de ruedas de testeros.
- Revisión visual y estado del sistema de anclaje de las columnas del pórtico hacia su base por medio de pernos de expansión empleados.
- Mantenimiento de polipasto y elementos de izaje según requerimientos de inspecciones visuales en sistema de rodadura, cable de acero, cáncamos, ganchos y eslingas.
- Mantenimiento de testeros y elementos de rodadura.

## CAPITULO V

### COSTOS

Para realizar una comparación entre los procesos de limpieza manual y de inmersión a implementarse en la Obra Mecánica Don Bosco se debe determinar los siguientes costos.

- Costo de proceso limpieza manual.
- Costo de implementación de proceso de inmersión.
- Costo estimado de ejecución de proceso de inmersión.

#### 5.1 COSTO DE PROCESO LIMPIEZA MANUAL

Se detalla a continuación en las tablas 5.1 y 5.2, los costos del proceso manual en la actualidad, basados en la mano de obra y en los insumos estimados empleados anualmente, anexo 6

Parámetro	Cantidad de personas empleadas	Cantidad anual producida de estanterías	Total meses trabajados por las 4 personas	Salario promedio mensual de cada persona en en \$	Total en \$.
Mano de obra	4	3000	2.64	380.00	<b>1003.2</b>

Tabla 5.1 Costo anual de mano de obra para limpieza manual  
Fuente: Salario promedio Mecánica Don Bosco

Parámetro	Cantidad anual	Unidad	Costo unitario en \$	Total en \$.
Guantes de cuero	384.00	Und.	5.75	2208.00
Guantes de PVC	384.00	Und.	3.95	1516.80
Paños de limpieza	1200.00	Kg.	1.52	1824.00
Producto químico	240.00	Gl.	6.4	1536.00
Mascarilla	384.00	Und.	1.05	403.20
Antiparras	384.00	Und.	3.15	1209.60
Mandiles de cuero	384.00	Und.	3.0	1152.00
			<b>TOTAL</b>	<b>9849.60</b>

Tabla 5.2 Costo anual de insumos requeridos para limpieza manual  
Fuente: Valores de productos, anexo 6

Sumados los valores de mano de obra e insumos requeridos dados por las tablas 5.1 y 5.2, se determina que se requiere \$ 10852.80 anuales para realizar la limpieza de los productos descritos en este proceso, sin considerar el tiempo, mano de obra e insumos empelados para la limpieza de otros productos mencionados anteriormente como muebles, sillas, mesas, etc.

## 5.2 COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE PROCESO POR INMERSIÓN

Para determinar el costo de implementación del proceso de inmersión se determinará el costo de los elementos el anexo 6 por medio de proformas las cuales se son requeridas para los costos de los elementos que componen los siguientes elementos.

- Canasta de carga
- Base de apoyo de tinas
- Tinas de enjuague
- Tina de desengrase
- Tina de fosfatado
- Pórtico para transporte

### 5.2.1 COSTO CANASTA DE CARGA

A continuación se detallan en la tabla 5.3 los costos de los elementos que componen la canasta de carga, considerándose que esta se fabricará con un perfil tubular cuadrado de 2" x 2.0 mm, el cual tiene un costo de \$ 38.22 por los 6 metros.

Componentes de Canasta	Cant.	Dimensiones	Total	Costo en \$. tubo de 6 m.	Total en \$.
Tubos longitudinales	4	2.80 m	11.20m	38.22	71.34
Tubos verticales	10	0.75m	7.5m	38.22	286.65
Tubos transversales	7	0.92m	6.44m	38.22	41.02
Mano de obra	1				150.00
Soldadura	1		0.5kg	4.02	2.01
Elementos de izaje	1		1 und.		241.98
				<b>TOTAL</b>	<b>793.00</b>

Tabla 5.3 Costo canasta de carga diseñada

## 5.2.2 COSTO BASES DE APOYO DE TINAS

A continuación se detallan en la tabla 5.4 se detallan los costos de los elementos que componen la base para las tinas de lavado, se debe considerar que se requiere de cuatro bases para las tinas del proceso de inmersión definido.

Componetes Base	Cant.	Dimensiones	Longitud m.	Costo en \$. de Comp.	Total en \$
Viga longitudinal	2	IPE 200	3.000	189.60	379.20
Viga transversal	4	IPE 100	1.220	13.94	117.72
Mano de obra	1			500.00	500.00
Soldadura	1	1 kg.		4.02	4.02
Pintura y diluyente	1	1 gl.		30.00	30.00
<b>TOTAL</b>					<b>1030.94</b>

Tabla 5.4 Costo de base para tinas

## 5.2.3 COSTO TINAS DE ENJUAGUES

A continuación se detallan en la 5.5 los costos de los elementos que componen la tina de enjuague, se debe considerar que se requiere de dos tinas para el proceso de limpieza por inmersión seleccionado, una después del desengrase y otra después del fosfatado.

Componetes de Tina de enjuague	Cant.	Dimensiones mm	Costo en \$. de Comp.	Total en \$
Placa Base	1	4 x 1220 x 3000	135.25	135.25
Placa longitudinal	2	4 x 1220 x 3000	135.25	270.50
Placa transversal	2	4 x 1220 x 1200	54.10	108.20
Refuerzos longitudinales	8	6 x 212 x 3100	37.20	297.60
Refuerzos transversales	6	6 x 212 x 1300	17.50	105.00
Valvula de vaciado	1	Anexo 6	250	250
Mano de obra	1		1600	1600
Soldadura	1	3 kg	4.02	12.06
Recubrimiento interior	1	Anexo 6	1080	1080.00
Pintura y diluyente (externa)	1	2 gl.	30	60.00
<b>TOTAL</b>				<b>3918.61</b>

Tabla 5.5 Costo tina de enjuague

## 5.2.4 COSTO TINA DE DESENGRASE Y FOSFATADO

A continuación se detallan en la tabla 5.6 los costos de los elementos que componen las tinas de desengrase y fosfatado, requiriendo una tina para cada proceso.

Componentes de Tinas de Desengrase y Fosfatado	Cant. Und.	Dimensión	Costo en \$. de Comp.	Total en \$
Placa Base hierro	1	4 x 1220 x 3000 mm	135.25	135.25
Placa longitudinal hierro	2	4 x 1220 x 3000 mm	135.25	270.50
Placa transversal hierro	2	4 x 1220 x 1200 mm	54.10	108.20
Refuerzos long. hierro	8	6 x 212 x 3100 mm	37.20	297.60
Refuerzos transversales	6	6 x 212 x 1300 mm	17.50	105.00
Valvula para vaciado	1	Anexo 6	250.00	250.00
Mano de obra	1		1800.00	1800.00
Soldadura	1	3 kg	4.02	12.06
Sistema de calentamiento	1	Anexo 6	7895.00	7895.00
Cámara de combustion	1	Anexo 6	3800.00	3800.00
Tubos Intercambiador	6	1 1/2" x 3000	20.46	122.76
Recubrimiento interior	1	Anexo 6	1080	1080.00
Pintura y diluyente (externa)	1	2 gl.	30	60
<b>TOTAL</b>			<b>15936.37</b>	<b>15936.37</b>

Tabla 5.6 Costo tina de desengrase y fosfatado

## 5.2.5 COSTO PÓRTICO PARA TRANSPORTE

El costo del pórtico requerido se lo detalla en la tabla 5.7 considerando los equipos necesarios para su funcionamiento, así como la materia prima requerida.

Componetes Portico	Cant.	Dimensiones mm	Longitud m.	Costo en \$. de Comp.	Total en \$
Viga Puente	1	IPE 200	4.00	379.20	379.20
Polipasto	1	Load mate LM10	1 Tn	3950.00	3950.00
Viga longitudinal	2	IPE 200	12.000	379.20	758.40
Perfil riel	2	UPN 65	12.000	252	504
Testerros	2	R&M80015D125	0.800	1875	3750
Viga columnas	6	IPE 200	4.50	379.20	2275.20
Bases	6	10 x 200 x 300		6.00	36.00
Pernos de anclaje	24	M 12 x 80		1.05	25.2
Mano de obra	1			2000.00	20000
Soldadura	1	2 kg.		4.02	8.04
Pintura y diluyente	1	3 gl.		30.00	90.00
<b>TOTAL</b>				<b>13776.04</b>	<b>13776.04</b>

Tabla 5.7 Costo de Pórtico

### 5.2.6 COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACION DEL PROCESO DE LIMPIEZA POR INMERSION

Una vez obtenido los costos de los elementos que componen el proceso de inmersión procedemos a su sumatoria para definir el costo total de instalación de este proceso detallado este valor total en la tabla 5.8.

<b>Elementos</b>	<b>Costo en \$. de Elementos</b>
Canasta de carga	793.00
Base de tina	1030.94
Tina de desengrase	15936.37
Tina de enjuague	3918.61
Tina de fosfatado	15936.37
Tina de enjuague	3918.61
Pórtico	13776.04
<b>TOTAL</b>	<b>55309.94</b>

Tabla 5.8 Costo total de elementos para Proceso de Inmersión

### 5.3 COSTO ESTIMADO DE EJECUCIÓN DE PROCESO DE INMERSIÓN

Para realizar el análisis de los costos de ejecución del proceso de inmersión se define inicialmente basados tabla 4.4, el tiempo estimado para ejecución de este proceso siendo este de 60 min, tiempo en el cual se procesa una carga o tandas sea de 80 bandejas o de 56 parantes por cada inmersión, definiendo con estos valores la cantidad de estanterías obtenidas por proceso siendo esta cantidad de 13 estanterías en promedio como indica la tabla 5.9.

<b>Componente</b>	<b>Tiempo en min empleado en proceso de inmersión</b>	<b>Cantidad producida por cada tanda de limpieza</b>	<b>Cantidad de elementos por estantería</b>	<b>Número de estanterías producidas</b>
Bandejas	60	80	6	13
Parantes	60	56	4	14

Tabla 5.9 Número de estanterías producidas por tanda

Considerando la cantidad producida de 3000 estanterías para el año 2011 y en la cantidad estimada de 6482.33 estanterías proyectadas para el año 2016 según la tabla 4.6, se define en la tabla 5.10 el número de inmersiones o tandas que se deben realizar por día para cubrir este requerimiento actual y futuro, con lo cual se verifica si esta cantidad de inmersiones satisface la producción deseada en estos periodos de tiempo.

Año	Cantidad de estanterías producidas inicial, y con incremento anual del 16.66%	Cantidad de estanterías producidas realizando una tanda de bandejas y parantes en 60 min c/u	Número de inmersiones anuales que se deben realizar por cada elemento	Número de inmersiones anuales totales que se deben realizar por los elementos	Número de semanas que tienen un año	Número de inmersiones semanales que se debe realizar	Número de días laborales en la semana	Número de inmersiones diarias que se debe realizar para cubrir la producción anual
2012	3000	13	230.76	461.52	52	8.8	5	<b>1.7 (2)</b>
2016	6482.33	13	498.64	997.28	52	19	5	<b>3.8 (4)</b>

Tabla 5.10 Número de inmersiones diarias para cubrir la producción anual actual y futura.

### 5.3.1 COSTO DE ETAPA DE DESENGRASE

Basados en el número de inmersiones anuales obtenidas en la tabla 5.10 para el año 2012 y bajo las recomendaciones dadas por el proveedor del producto de desengrase, se recomienda realizar el cambio total del contenido de la tina de desengrase cada 3 semanas según la impureza de los productos a ser procesados, logrando alargar la vida de la mezcla desengrasante-agua al medir su alcalinidad y aumentando más producto según se requiera anexo 6, así se tiene por consiguiente:

La cantidad de semanas que el año tiene son 52 semanas

Según las recomendaciones dadas realizar el cambio del contenido de la tina cada 3 semanas si se procesa 2 inmersiones diarias, se tiene un total de 30 inmersiones en las 3 semanas indicadas.

El número de cambios totales del contenido de la tina de desengrase será de 17 veces al año siendo este valor muy importante para llegar a determinar el consumo de los insumos requeridos en el periodo mencionado.

En la tabla 5.11 se determina el costo de esta etapa de desengrase considerando el consumo de agua y producto desengrasante, así como el consumo de combustible para el funcionamiento del quemador.

Componentes	Cantidad empleada en tina	Cantidad empleada anualmente	Valor Unitario de Insumos en \$.	Valor Anual Total de Insumos en \$.
Agua	3 m <sup>3</sup>	51 m <sup>3</sup>	0.16 c/m <sup>3</sup>	8.16
Desengrasante	300 kg	5100 kg	3.75 c/kg.	19125.00
Combustible	9 kg (Calentamiento)	2340 kg	1.33 c/kg.	3112.2
			<b>Total</b>	<b>22245.36</b>

Tabla 5.11 Costo de etapa de desengrase para proceso de inmersión.

### 5.3.2 COSTO DE ETAPA DE FOSFATADO

De igual manera para evaluar el costo de la etapa de fosfatado se parte del número de inmersiones a realizar durante el año 2012 y según las recomendaciones dadas por el proveedor del producto de fosfato el cual indica que, contenido debe ser repontecializado según el consumo de fosfato tenido por la introducción de los productos en la mezcla fosfato-agua el cual es medido basado en su acides y considerando un desgaste del fosfato entre 0.5 a 1.2 gr/m<sup>2</sup> se tiene en la tabla 5.12.

Componentes	Cantidad empleada en tina	Cantidad empleada anualmente	Valor Unitario de Insumos en \$.	Valor Anual Total de Insumos en \$.
Agua	3 m <sup>3</sup>	3 m <sup>3</sup>	0.16 c/m <sup>3</sup>	0.48
Fosfatizante	180 Kg	266 kg	8.35 c/kg.	2221.1
Combustible	9 kg (Calentamiento)	2340 kg	1.33 c/kg.	3112.2
			<b>Total</b>	<b>5333.78</b>

Tabla 5.12 Costo de etapa de fosfatado para proceso de inmersión.

Con la limpieza interior de las tinas de desengrase y fosfatado se alarga aun más la vida útil de las mezclas empleadas en la limpieza de los productos ya que en sus base se formarían sedimentos por la acción de arranque de impurezas y grasas además también por la reacción química del fosfato con el metal de los productos procesados, recomendándose realizar la limpieza de estas tinas trasladando temporalmente las sustancias mezcla a una tina de enjuague para con ello proceder a remover los sedimentos que en ellas se depositaran.

### 5.3.3 COSTO DE ETAPAS DE ENJUAGUES

El costo de la etapa de enjuague está determinado por la cantidad de metros cúbicos de agua empleados basado en el número de cambios que se deben realizar en estas tinas para que los productos desengrasados y fosfatados se enjuaguen apropiadamente en sus respectivas etapas, siendo el número de cambios recomendados 1 vez cada 2 semanas, esto equivale a 26 cambios de agua para cada tina de enjuague en el año, en la tabla 5.13 también se considerará la mano de obra anual empleada para el proceso tema de análisis.

Componentes	Cantidad empleada en tina de enjuague 1 y 2	Cantidad empleada anualmente	Valor Unitario de Insumos en \$.	Valor Anual Total de Insumos en \$.
Agua	6 m <sup>3</sup>	156 m <sup>3</sup>	0.16 c/m <sup>3</sup>	24.96
Mano de obra	1 persona	320 (mensuales)	12 meses	4200
			<b>Total</b>	<b>4224.96</b>

Tabla 5.13 Costo de etapa de enjuagues para proceso de inmersión.

El costo total anual del proceso de inmersión se obtiene realizando la sumatoria de los valores obtenidos en cada etapa siendo el valor total anual de **\$ 31804.10**, cabe considerar que este valor es estimado basado en la cantidad de insumos y en número de reposiciones que se estima realizar, disminuyendo este valor al realizar el análisis de las mezclas las cuales definirán un menor número de cambios y por ende una disminución de los costos estimados anualmente, adicionalmente el tratamiento de aguas será realizado por la empresa Galvagestor el cual determinará el valor del metro cúbico al realizar los análisis de impurezas que contengan las sustancias a tratar.

## CONCLUSIONES

- El proceso por inmersión definido para la limpieza de láminas metálicas previa a la aplicación de recubrimientos de pintura, cumple con los requerimientos de limpieza en tiempo y cantidad de productos procesados en la Obra Mecánica Don Bosco para el periodo 2010.
- El proceso de inmersión garantiza el incremento de producción del 16.66% anual para el periodo 2011 – 2012.
- Basados en el incremento de producción anual del 16.66% tomará 5 años para que el proceso de inmersión determinado proporcione la misma cantidad producida en el año 2012.
- Los productos químicos seleccionados son los adecuados para el proceso de limpieza, logrando que estos trabajen eficientemente con el diseño y selección de los elementos y equipos requeridos para este proceso.
- Los elementos y equipos diseñados, calculados y seleccionados están bajo parámetros de trabajo dadas por teorías de cálculo, normas y experiencias prácticas de funcionamiento, obtenidas de empresas como, Galvano Ecuatoriana, Comrepsa, Venamet.
- La geometría dada al proceso y elementos como canasta, tinas, pórtico, permite que el proceso sea más eficiente, comparado con el proceso manual que se realiza en la actualidad, ya que este procesa mayor cantidad de productos en menor tiempo.
- Las dimensiones determinadas en los elementos que involucran el proceso de inmersión están acordes al área destinada para su instalación y funcionamiento.

- La limpieza por inmersión mejorará la calidad de los productos procesados y permitirá dar mayor garantía al recubrimiento de pintura aplicado sobre los productos procesados, logrando atraer a potenciales nuevos clientes.
- La limpieza por inmersión permite la adherencia correcta de los recubrimientos de pintura sobre la superficie de los productos procesados, eliminando así el tiempo y recursos perdidos por reprocesos.

## RECOMENDACIONES

- Emplear personal capacitado para la fabricación e instalación de los elementos y equipos requeridos para el proceso de inmersión.
- Solicitar el asesoramiento del personal que proporciona los químicos empleados en la limpieza de los productos, para que provea las concentraciones adecuadas para su uso, su repotenciación, cambio y tratamiento de las concentraciones, una vez saturadas por el proceso de limpieza de los productos.
- No superar la carga máxima determinada para en la canasta empleada en la limpieza por inmersión
- Emplear un aislante térmico en las tinas de desengrase y fosfatado para disminuir la pérdida de calor del líquido a través de sus paredes y base.
- Emplear una lámina antitérmica entre la cámara de combustión y la placa lateral de la tina, para evitar el calentamiento de esta y posible falla por acción de la llama generada por el quemador.
- Realizar un soporte interior en las tinas de desengrase y fosfatado que sirva como tope para evitar la rotura de los tubos empleados en el intercambiador de calor, ocasionada esta por la inmersión y posible impacto sobre ellos de la canasta de carga.
- Realizar una tapa para las tinas de desengrase y fosfato para que disminuir la pérdida de calor del líquido a través de su superficie libre de este.
- Verificar la colocación de los elementos fines de carrera para la viga puente y realizar pruebas sin carga antes de ponerlo en funcionamiento.

- Emplear una canasta de transportación para introducir los productos al horno de secado.
- No superara la temperatura y tiempo recomendados en el secado de los productos procesados.
- La soldadura de los refuerzos empleados en las tinas de lavado realizarlas por tramos para evitar el sobrecalentamiento de la superficie y posible deformación de la placa lateral de la tina.
- Verificar en las tinas de limpieza la alcalinidad y la acidez de las mezclas de desengrase y fosfato para que se mantenga un proceso eficiente.
- Mantener los rangos de temperaturas en los procesos de limpieza por inmersión para evitar el deterioro prematuro de las sustancias.
- Realizar un plan de mantenimiento de todo es sistema de limpieza por inmersión basados en los parámetros independientes determinados para cara uno de los elementos que lo componen.

## GLOSARIO

**ÁCIDO:** Un ácido (del latín *acidus*, que significa *agrio*) es considerado tradicionalmente como cualquier compuesto químico que, cuando se disuelve en agua, produce una solución con una actividad de catión hidronio mayor que el agua pura, esto es, un pH menor que 7.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**ACEITE:** Término genérico para designar numerosos líquidos grasos de orígenes diversos que no se disuelven en agua y que tienen mayor densidad que está.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**ACERO:** Son aleaciones de hierro con una cantidad de carbono variable entre el 0.1 y el 2.1% en peso de su composición aunque normalmente estos valores se encuentra entre el 0.2 y el 0.3%. Si la aleación presenta una concentración de carbono mayor al 2.0% se producen fundiciones aunque en oposición al acero son quebradizas y no es posible forjarlas sino deben ser moldeadas.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**AGUA:** El agua es una sustancia cuya molécula esta formada de dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno H<sub>2</sub>O, El término agua, generalmente, se refiere a la sustancia en su estado líquido, pero la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa denominada vapor.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**CARBONATO DE SODIO:** El carbonato sódico es una sal blanca y translúcida de fórmula química Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, usada entre otras cosas en la fabricación de jabón, vidrio y tintes. Es conocido comúnmente como barrilla, natrón, soda Solvay, soda Ash, ceniza de soda y sosa (no confundir con la sosa cáustica o la soda cáustica).

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**CALOR:** El calor es la transferencia de energía entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**CÁMARA DE COMBUSTIÓN:** La cámara de combustión es el lugar donde se realiza la combustión del combustible con el comburente, generalmente aire.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**CONBUSTIÓN:** La combustión es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de calor y luz (fuego). En toda combustión existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente), generalmente oxígeno en forma de O<sub>2</sub> gaseoso.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**CONDUCCIÓN:** La conducción de calor es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto por medio de ondas.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**CONVECCIÓN:** La convección es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por intermedio de un fluido (aire, agua) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**DUREZA:** La dureza es la oposición que ofrecen los materiales a la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes, etc. También puede definirse como la cantidad de energía que absorbe un material ante un esfuerzo antes de romperse o deformarse.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**DENSIDAD:** En física y química, la densidad (símbolo  $\rho$ ) es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen de una sustancia. Se expresa como la masa de un cuerpo dividida por el volumen que ocupa y sus unidades son Kg/m<sup>3</sup> en el S.I.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**ELECTROSTÁTICA:** Rama de la física que estudia los fenómenos mutuos que se producen entre los cuerpos como consecuencia de su carga eléctrica, siendo esta carga eléctrica responsable de los fenómenos electrostáticos cuyos efectos aparecen en forma de atracción y repulsión entre los cuerpos que la poseen.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**FLEXIBILIDAD:** Relación entre los esfuerzos aplicados y los desplazamientos obtenidos en un sólido deformable.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**HIDROCARBURO:** Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. La estructura molecular consiste en un armazón de átomos de carbono a los que se unen los átomos de hidrógeno.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**HIDRÓXIDO DE SODIO:** El hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido sódico, también conocido como sosa cáustica o soda cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejidos y detergentes. Además es usado en la Industria Petrolera en la elaboración de Lodos de Perforación base Agua. El hidróxido de sodio se usa para fabricar jabones, crayón, papel, explosivos, pinturas y productos de petróleo. También se usa en el procesamiento de textiles de algodón, lavandería y blanqueado, revestimiento de óxidos, galvanoplastia y extracción electrolítica. Se encuentra comúnmente en limpiadores de desagües y hornos.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**HORNO:** Un horno es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimento cerrado. Se utiliza tanto en la cocina para cocinar, calentar o secar alimentos, como en la industria.

La energía calorífica utilizada para alimentar un horno puede obtenerse directamente por combustión (leña, gas u otro combustible), radiación (luz solar), o indirectamente por medio de electricidad (horno eléctrico).

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**INMERSIÓN:** La inmersión entendida como la inclusión de un sólido en un líquido.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**ISOCIANATOS:** Los isocianatos inorgánicos son las sales del ácido isocianico  $\text{HNCO}$ , que contienen el anión  $\text{NCO}^-$ . La transformación del isocianato de amonio ( $\text{H}_4\text{NNCO}$ ) en urea ( $\text{H}_2\text{NC}(\text{=O})\text{NH}_2$ ) por Wöhler era la primera síntesis de un compuesto orgánico a partir de un precursor completamente inorgánico y acabó de esta manera con la teoría de la *vis vitalis*, la fuerza de vida que se presumía hasta este momento necesaria para generar los compuestos orgánicos.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**LÁMINA METÁLICA:** También denominada chapa a una lámina delgada de metal que se utiliza para las construcciones mecánicas tales como carrocerías de automóviles, cisternas de camiones, etc. Las chapas se construyen en varios espesores, generalmente de 1 a 12 milímetros, dependiendo del uso y del tipo de fabricación que tenga. Su mecanizado se realiza en prensas de estampación y de troquelado mediante punzones y matrices.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**MATERIA PRIMA.-** Se conocen como materia prima a la materia extraída de la naturaleza y que se transforma para elaborar materiales que más tarde se convertirán en bienes de consumo.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**PINTURA EN POLVO:** También llamado recubrimientos en polvo, es un tipo de recubrimiento industrial en forma de polvo, 100% sólido. Se aplica por medios electrostáticos a un sustrato generalmente metálico, para después ser sometido a calentamiento fundiendo este sobre el mismo metal adquiriendo al polimerizar por temperatura propiedades físico mecánicas excelentes.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**PESO:** El peso es la fuerza con la cual un cuerpo actúa sobre un punto de apoyo, originado por la aceleración de la gravedad, cuando esta actúa sobre la masa del cuerpo.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**POLIPASTO:** Se llama polipasto a una máquina que se utiliza para levantar o mover una carga con una gran ventaja mecánica, porque se necesita aplicar una fuerza mucho menor que el peso que hay que mover, formado por una rueda (también denominada roldana) montada en un eje, con una cuerda que rodea la circunferencia de la rueda. Tanto la polea como la rueda y el eje pueden considerarse máquinas simples que constituyen casos especiales de la palanca.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**POTENCIA:** En física, potencia símbolo P es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**PRODUCTO:** Un producto es cualquier cosa que se puede ofrecer a un mercado para satisfacer un deseo o una necesidad. El producto es parte de la mezcla de marketing de la empresa, junto al precio, distribución y promoción, lo que conforman las 4 Ps.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**QUEMADOR:** Un quemador es un dispositivo para quemar combustible líquido, gaseoso o ambos (excepcionalmente también sólido) y producir calor generalmente mediante una llama. Habitualmente va asociado a una caldera o un generador de calor para calentar agua o aire, pero también se usa en procesos industriales para calentar cualquier sustancia.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**RADIACION:** El fenómeno de la radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**RECUBRIMIENTO:** Material que es depositado sobre la superficie de un objeto, por lo general denominado sustrato. En muchos casos los recubrimientos son realizados para mejorar alguna(s) propiedades o cualidades de la superficie del sustrato, tales como aspecto, adhesión, características de mojado, resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste, y resistencia a las ralladuras entre muchas otras.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**RIGIDEZ:** En ingeniería, la rigidez es la capacidad de un objeto sólido o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos. Los coeficientes de rigidez son magnitudes físicas que cuantifican la rigidez de un elemento resistente bajo diversas configuraciones de carga. Normalmente las rigideces se calculan como la razón entre una fuerza aplicada y el desplazamiento obtenido por la aplicación de esa fuerza.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**SILICATOS:** Constituyen más del 95% de la corteza terrestre, además del grupo de más importancia geológica por ser petrogénicos, es decir, los minerales que forman las rocas. Todos los silicatos están compuestos por silicio y oxígeno. Estos elementos pueden estar acompañados de otros entre los que destacan aluminio, hierro, magnesio o calcio. Químicamente son sales del ácido silícico. Los silicatos, así como los aluminosilicatos, son la base de numerosos minerales que tienen al tetraedro de silicio-oxígeno (un átomo de silicio coordinado tetraédricamente a átomos de oxígeno) como su estructura básica: feldespatos, micas, arcillas.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA (TG):** La Temperatura de transición vítrea (Tg) es la temperatura a la que se da una pseudotransición termodinámica en materiales vítreos, por lo que se encuentra en vidrios, polímeros y otros materiales inorgánicos amorfos. Esto quiere decir que, termodinámicamente hablando, no es propiamente una transición. La Tg se puede entender de forma bastante simple cuando se entiende que en esa temperatura el polímero deja de ser rígido y comienza a ablandarse. Se entiende que es un punto intermedio de temperatura entre el estado fundido y el estado rígido del material. El estudio de Tg es más complejo en el caso de polímeros que en de cualquier otro material de

moléculas pequeñas. Por encima de la Tg los enlaces secundarios de las moléculas son mucho más débiles que el movimiento térmico de las mismas, por ello el polímero se torna gomoso y adquiere cierta elasticidad y capacidad de deformación plástica sin fractura. Este comportamiento es específico de polímeros termoplásticos y no ocurre en polímeros termoestables.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**TENSOACTIVOS:** Los tensoactivos o tensioactivos (también llamados surfactantes) son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases (p.ej., dos líquidos insolubles uno en otro). la clasificación se fundamenta en el poder de disociación del tensoactivo en presencia de un electrolito y de sus propiedades fisicoquímicas pueden ser: iónicos o no iónicos; y dentro de los iónicos según la carga que posea la parte que presenta la actividad de superficie serán: aniónicos, catiónicos y anfóteros.

los iónicos, con fuerte afinidad por el agua, motivada por su atracción electrostática hacia los dipolos del agua, pueden arrastrar consigo a las soluciones de cadenas de hidrocarburos, por ejemplo el ácido palmítico, prácticamente no ionizable es insoluble, mientras que el palmitato sódico es soluble completamente ionizado.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**TESTERO:** El testero es la parte frontal de un vehículo ferroviario. En él se encuentran los parabrisas, las puertas de intercomunicación entre coches, los dispositivos de iluminación, los aparatos de tracción y choque (topes, gancho y tensor), las mangas de freno y las conexiones eléctricas entre los distintos vehículos que forman un tren. Algunos o todos estos elementos pueden quedar protegidos bajo carenados retráctiles.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**TRIGLICIDILISOCIANURATO (TGIC):** Es un polvo o granulado blanco, siendo este mixto de dos diastereómeros (alfa y beta), reacciona rápidamente con las aminas primarias y secundarias, ácidos carboxílicos y anhídridos, tioles, alcoholes y fenoles. Puede someterse a auto polimerización con violencia en caso de la calefacción a más de 120 grados centígrados o en presencia de catalizadores. Se descompone en la combustión. Se usa ampliamente como agente de reticulación o de

curado en industria de recubrimientos en polvo, para proporcionar durabilidad y resistencia UV eficaz. Se usa también en la industria de tableros de circuitos impresos, aislamiento eléctrico y como estabilizador en la industria de plástico.

Autor. <http://www.fenchemcn.com/Productx.asp?BigSortID=78&SortID=79>

**VIGA:** En ingeniería y arquitectura se denomina **viga** a un elemento constructivo lineal que trabaja principalmente a flexión. En las vigas, la longitud predomina sobre las otras dos dimensiones y suele ser horizontal.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**VISCOSIDAD:** La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal. En realidad todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones. La viscosidad sólo se manifiesta en líquidos en movimiento.

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

**SOLDADURA:** La soldadura es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos materiales, generalmente metales, usualmente logrado a través de la fusión, en la cual las piezas son soldadas fundiendo ambas y pudiendo agregar un material de relleno fundido, para conseguir un baño de material fundido que, al enfriarse, se convierte en una unión fija

Autor La enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki>

## BIBLIOGRAFIA

- UNIVERSIDAD POLTECNICA SALESIANA, Normas para la Presentación Final de los Trabajos de Grado, Tesis, Producto o Proyecto.
- GERE James M, Mecánica De Materiales, Quinta Edición, Editorial Thomson Learning, México 2003.
- KARLEKAR B. V., Transferencia de Calor, Segunda Edición, Editorial Mc Graw Hill México 1995.
- MC CORMAC, Diseño de estructuras metálicas Método ASD, Cuarta Edición, Editorial Alfaomega, México 2005.
- MC CORMAC, Diseño de estructuras metálicas Método LRFD, Segunda Edición, Editorial Alfaomega, México 2002.
- MANUAL AISC - ASD, Manual de Construcciones de Acero, Novena Edición, Octubre 1986.
- TIMOSHENKO Stephen, WIONOWSKY Krieger S., Teoría de Placas y Laminas, Ediciones Umbro 1970.
- CENGEL Yanus A. Transferencia de Calor y Masa, Tercera Edición, Editorial Mc Graw Hill 2007.
- HORWITZ Henry, Soldadura Aplicaciones y Práctica, Alfa Omega 1997
- MECANICA DE MATERIALES, Beer Ferdinand P., Cuarta Edición, Editorial Mc Graw Hill 2007.

- SHINGLEY JOSEPH EDWARD, Diseño en Ingeniería Mecánica, Quinta Edición Editorial. Mc Graw Hill 2007.
- IZQUIERDO José María, Tecnología de Recubrimientos en Polvo, Editorial Ingoprint, Barcelona 1990.
- EPRISTINTA, Manual Técnico de Pinturas en Polvo
- GOULET Jean, Prontuario de Resistencia de los Materiales, Editorial Paraninfo Thomson Learning, México 1998
- LOPEZ Javier, TAJADURA José Antonio, Autocad 2009 Avanzado, Editorial Mc Graw Hill Madrid 2009.
- ESPINOZA Jorge, Curso de Estructuras III, Politécnica Nacional, Edición 2008.
- GOMEZ GONZALEZ Sergio, El gran libro de SolidWorks, Editorial Alfaomega, México 2008
- MOTT, Robert, Mecánica de Fluidos Aplicada, Cuarta Edición, Editorial Person Educación, México 1996
- LARBURO ARRIZABALAGA, Nicolás, Máquinas Prontuario Técnicas, Máquinas Herramientas, Décimo Tercera Edición, Editorial Paraninfo, Magallanes Madrid, 2001.
- ACEROS ESTRUCTURALES, Mayo 2009, <http://www.virtual.unal.edu.com/>
- ENCICLOPEDIA LIBRE: <http://es.wikipedia.org/wiki>