

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

FACULTAD DE CIENCIAS EXÁCTAS FÍSICAS Y NATURALES

PROYECTO INTEGRADOR



DISEÑO DE LINEA PARA PINTADO ELECTROSTATICO

AUTOR:

Lizárraga, Gustavo Alberto

CARRERA:

Ing. Mecánica

DIRECTOR:

Ing. Romero, José Juan

AGRADECIMIENTOS

- ❖ Primeramente al Creador de todas las cosas por haberme regalado esta posibilidad de estudiar que muchos quisieran tener, dándome fuerzas en los momentos que las cosas no iban bien.
- ❖ A mis padres por apoyarme y darme todo lo necesario para cumplir este sueño que desde niño llevo y así formarme profesionalmente manteniendo los buenos valores transmitidos.
- ❖ A mis hermanos por haberme brindado su apoyo y compartir conmigo cada paso en este caminar.
- ❖ A mi abuela y tías por tenerme en sus oraciones en cada parcial y examen de la carrera.
- ❖ A mis abuelos que desde arriba me guiaron para no bajar los brazos.
- ❖ A mi familia en general, novia y amigos por compartir cada alegría y cada derrota que tuve en esta etapa.
- ❖ A la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales junto con sus profesores e ingenieros que me brindaron sus conocimientos para llegar a obtener mi título.
- ❖ A mi Director de trabajo final por la paciencia y ayuda para la realización de este proyecto.

RESUMEN

El siguiente proyecto se centra en el cálculo de los parámetros principal para la construcción de una línea automática de pintado por deposición electrostática. A su vez se analizó las opciones más adecuadas para cada etapa del proceso a fin de disminuir las pérdidas de calor en los sistemas térmicos utilizados, las mecánicas en sistemas de transporte, de presión en tuberías, etc.

El proyecto se inicia con el planteamiento de una situación real de una industria metalúrgica y las limitaciones de esta para tal proceso de pintura entre las cuales se destacan el bajo volumen de producción, cuellos de botella y variaciones de calidad.

Una vez expuesta la base del proyecto se plantea una solución al problema y se inicia el cálculo de los hornos de secado y curado, cabina de pretratamiento y selección de proveedores de la cabina de pintura.

Los cálculos consisten en pérdidas de calor, pérdidas de carga, cálculo estructural de vigas y columnas críticas, diámetro de tuberías, espesores de chapa y refuerzos en tanques, etc.

Además se agrega al trabajo el diseño en 3D de los hornos y la cabina de pretratamiento con sus distintos elementos intervinientes (cámara de combustión, tuberías, paredes de aislación, sellos de aire, sistema de bombeo, tanques, calentadores, entre otros) y el layout tentativo final para la planta.

Por último se elabora una conclusión determinando la efectividad de la solución que se ha planteado para tal fin justificando la misma.

Contenido

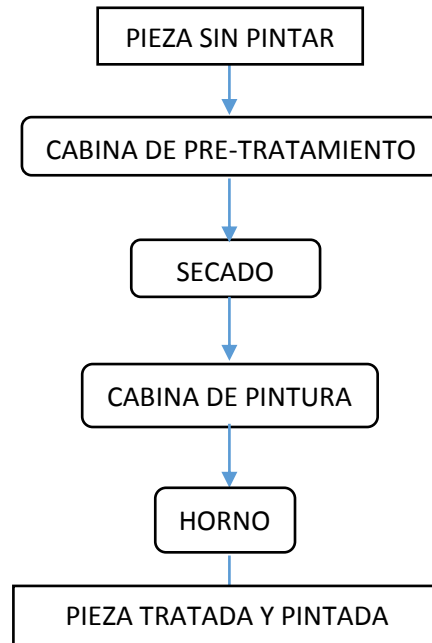
RESEÑA HISTÓRICA	7
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
EVALUACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
Objetivos generales	9
Objetivos específicos.....	9
Alcances	9
CAPÍTULO 2: DESARROLLO TEORICO.....	10
Descripción de la pintura electrostática:	10
CAPITULO 3: MARCO METODOLOGICO.....	13
MODELO PROPUESTO PARA LOS HORNOS	13
Diseño recomendado:	16
MODELO PROPUESTO PARA LA CABINA DE PRE-TRATAMIENTO	23
Cabina	24
Sistema de pulverización.....	26
Depósitos y sistemas de calentamiento de fluidos	32
MODELO PROPUESTO PARA LA CABINA DE PINTURA Y SIST. DE APLICACIÓN	35
CADENAS Y TROLLEYS.....	39
LAYOUT FINAL DE LA PLANTA.....	40
CONCLUSIONES	43
ANEXOS	44
CALCULO DE LONGITUDES DEL HORNO	44
Calculo de longitud de “Rampa de precalentamiento”	44
Calculo de longitud de “Zona de fin de levantamiento de temperatura”	45
Calculo de longitud de “Zona de sostenimiento de temperatura”	45
Longitud total.....	46
CALCULO DE ESPESOR DEL AISLANTE TERMICO DE LOS HORNOS	46
Pared exterior Horno Curado.....	47
Pared exterior horno de secado.....	48
Aislante sobre el techo y piso del horno de curado.....	49
Aislante sobre el techo del horno de secado	50
Aislante sobre el tabique divisorio	51
PERDIDAS DE CALOR EN EL HORNO.....	52

Perdida de calor por la puerta del horno de curado.....	52
Perdida de calor por la puerta del horno de secado.....	53
Perdida de calor por el tubo de la chimenea	54
Perdidas de calor en las paredes de la cámara de combustión	54
Pérdidas totales.....	55
CALCULO DE LA RAZON DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN HORNOS.....	56
Calor necesario para calentar las piezas	56
Calor necesario para calentar la cadena y trolleys	56
Calor necesario para calentar paredes, techo y piso.....	57
Calor necesario para calentar el aire de infiltración.....	58
Calor necesario para calentar el aire en la cámara (en régimen del horno de curado).....	58
Calor necesario para calentar el aire en la cámara (en régimen del horno de secado).....	59
CARGAS TERMICAS EN LOS HORNOS.....	60
Cargas térmicas para el curado.....	60
Cargas térmicas para el secado.....	61
CALCULO ESTRUCTURAL DE LOS HORNOS.....	61
Peso del perfil IPN-100	62
Peso de las piezas	63
Peso del aislante térmico	63
Peso de las placas de acero.....	65
Peso de la cámara de combustión	66
Tuberías.....	67
Pasarela de inspección.....	68
Peso total sobre la estructura	68
Vigas	69
Columnas	74
CALCULO DE LA LONGITUD DE LA CABINA DE PRE-TRATAMIENTO	78
CALCULO DE CAUDALES PARA PRE-TRATAMIENTO	79
CALCULO DEL RECIPIENTE Y CALENTADOR	80
Determinación del quemador de gas.....	80
Análisis de esfuerzos	83
Calculo del espesor del aislante.....	98
DIAMETROS DE TUBERIAS	100

Sistema de cuatro cortinas (Fosfatado y desengrasante)	100
Sistema de tres cortinas (Refinador de grano)	101
Sistema de dos cortinas (Enjuague N°1 y N°2)	102
PERDIDAS DE CARGA EN LOS SISTEMAS DE ASPERSION	103
Sistema de cuatro cortinas (Fosfatado y desengrasante)	103
Sistema de tres cortinas (Refinador de grano)	107
Sistema de dos cortinas (Enjuague N°1 y N°2)	109
CALCULO DE LA BOMBA NECESARIA PARA EL PULVERIZADO	112
CALCULO ESTRUCTURAL DE LA CABINA DE PRE-TRATAMIENTO	113
Vigas	116
Columnas	121
CALCULO DE CADENAS Y TROLLEYS	124
CALCULO ESTRUCTURAL DEL RIEL	126
Vigas:	126
Columnas	132
TABLAS	135
BIBLIOGRAFÍA:	141
GLOSARIO	142

INTRODUCCIÓN:

El Proyecto Integrador consiste en los cálculos principales y diseño de una línea continua de pintura con aplicación electrostática, que deberá contar con etapas de pre-tratamiento, horno de secado, cabina de pintura con recuperación de polvo y horno de curado de la pintura:



Cuando el elemento a tratar ingresa a la línea de pintura, pasa en primera instancia por una cabina de pre-tratamiento. Mientras avanza es rociada por un sistema de pulverizado o spray, aplicándole baños que básicamente pueden ser: Desengrase - Enjuague – Refinador de grano- Lavado- Fosfatado.

Luego de lograr un recubrimiento superficial (capaz de soportar ambientes corrosivos), el elemento tratado pasa a un horno de secado donde se quita el mayor grado de humedad causado por la precedente etapa, para luego ingresar a la cabina de pintura

La pintura se aplica mediante un principio electrostático, donde la pintura en polvo se adhiere a su superficie (el polvo que queda circulando en la cabina es filtrado y reutilizado en los ciclos posteriores). Finalmente la pieza ya pintada ingresa al horno donde se lleva a cabo el proceso de curado. En este paso lo que se hace es elevar la temperatura de la pieza, logrando así que se funda la pintura de su superficie llevándose a cabo la cocción de esta.

Las piezas son trasladadas a través de una línea continua aérea, mediante un sistema de cadenas y “trolleys” o carros impulsados por motores eléctricos a una velocidad acorde a las necesidades de volumen de producción.

RESEÑA HISTÓRICA

La empresa Servicios Metalúrgicos/ Mali S.R.L. tiene sus orígenes en el año 2009 cuando se observó la necesidad en la industria autopartista de tratamientos anticorrosivos. De a poco se fueron mejorando procesos e incorporando otros nuevos.

En la actualidad la firma ubicada en Barrio Los Boulevares cuenta con distintos procesos de fabricación como: estampado en frío hasta 120 toneladas, diseño y fabricación de matricería, soldaduras MIG-MAC-TIG, curvado de tubos hasta 50 [mm] de diámetro, tornos, sistema de corte por plasma comandado por control numérico, entre otros.

Inicialmente la empresa contaba con un tratamiento superficial de cataforesis con espesores de 25 micrones promedio de espesor y una resistencia de 300 horas de niebla salina. Con el correr de los años se fue mejorando y hoy en día se agregaron tratamientos químicos como ser DELTA PROTECK® y pintura en polvo termo convertible (Epoxi) con deposición electrostática.

Para satisfacer los grandes requerimientos de calidad exigidos por el mercado se cuenta con un área de calidad con herramientas de medición para el área metalúrgica como calibres convencionales, pies de rey y galga, micrómetros, goniómetros, mesas de planitud, etc. El sector de tratamiento de superficie cuenta con rugosímetros, medidores de espesor, elementos para ensayo de reticulado, etc.

La mejora continua y la experiencia que se fue ganando de a poco le permitieron a la firma obtener certificaciones de calidad según las entidades IRAM e IQnet. Además ser proveedores de grandes marcas como IVECO Argentina, Fiat, Magneti Marelli, entre muchos otros menores.

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

EVALUACIÓN DEL PROBLEMA

Analizando los puntos débiles en la empresa se llegó a la conclusión que se debía mejorar el actual proceso de pintura electrostática quedo obsoleto a comparación de tecnologías más efectivas usadas por competidores del mercado.

Actualmente se cuenta con cabina de pintura, sistema de pre-tratamiento y horno, de los cuales cada uno tiene capacidades de producción muy distintas. Esto trae como consecuencia distintas tonalidades en las superficies y hasta quemaduras debido a ineficiencias en el horno, acumulación de materiales en el proceso a causa de cuellos de botella, etc.

Otro punto a destacar es que cada etapa del proceso se encuentran alejadas entre si lo que provoca aumento de tiempos improductivos, desorden de material y trafico peligroso de cargamentos desde una etapa a la otra.

Con la intención de solucionar este problema tan limitante para la empresa se propuso diseñar un sistema que aumente los niveles de producción sugiriendo a tal fin una línea continua para el sector de pintura que será ubicada en un nuevo tinglado que construirá la empresa.

Como el proceso actual es tan irregular no se puede determinar el volumen de producción debido a tantas aleatoriedades, hacer previsiones para satisfacer demandas, etc. Esto provocó pérdida de clientes por no cumplir con entregas o niveles de calidad pactados.

Al tener variedad de clientes, llegan distintos tipos de piezas a trabajar lo que requiere que el proceso sea lo más versátil posible ya que no es posible tener una uniformidad de piezas en tamaño, dimensiones, espesor, etc. Para ello se propone centrarse en una pieza crítica que se recibe comúnmente y no puede ser pintada.

Lo que se consideró fue enfocarse en el proceso de pintura de puertas de chapa de acero similares a las mostradas en la Figura 1.1, tratando de mantener un volumen de producción de 25 piezas por hora, es decir, 200 piezas pintadas por turno de 8 horas. Las puertas tienen las siguientes características:

Ancho: 0,80 [m]

Largo: 2 [m]

Espesor: ± 2 [mm]

Peso aproximado: 31,2 [kg]

Área a cubrir: 3,54 [m²]



Fig. 1.1

Objetivos generales

Automatizar el sistema de pintura en la planta

Determinar los parámetros necesarios para poner en práctica el modelo a realizar

Objetivos específicos

Aumentar el volumen de producción actual

Disminuir tiempos improductivos

Eliminar cuellos de botella que posee el actual sistema

Alcances

El Proyecto Integrador será limitado por cuestiones temporales al cálculo de parámetros principales en los distintos pasos del proceso de (longitud y potencia del horno, velocidad de la línea, caudal de pulverización en la cabina de pre-tratamiento, etc.), dibujo del horno con las dimensiones obtenidas y sus partes intervinientes y además se confeccionara un Lay-Out tentativo del sistema.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO TEORICO

Descripción de la pintura electrostática:

También llamada pintura en polvo (Powder coating) es un tipo de recubrimiento en forma de polvo seco que se aplica a las piezas generando un recubrimiento más duro, resistente que la pintura convencional y de buen aspecto visual.

El proceso de pintura electrostática es simple en concepto y funcionamiento. Un polvo seco compuesto de resinas y pigmentos es alimentado desde un depósito de suministro de una pistola en un bajo amperaje, se imparte de carga de alto voltaje al polvo (aproximadamente 90.00 V). La pieza que se pintará está eléctricamente conectada a tierra. Cuando se rocía, las partículas de polvo cargadas son atraídas con firmeza a la superficie de la parte puesta a tierra hasta que se derrita y se funde en una capa lisa en los hornos de curado.

Es mucho más duradera que las pinturas líquidas y es un proceso respetuoso del medio ambiente porque no hay solventes que se evaporan en el aire o vaya por el desagüe.

Diferentes formulaciones (epoxi, poliuretano, poliéster o híbridos) están determinados por el destino de la partida. Por ejemplo, poliuretano y poliéster ofrecen la mejor durabilidad exterior mientras epoxi que es mejor para protección contra la corrosión y resistencia a químicos y disolventes.

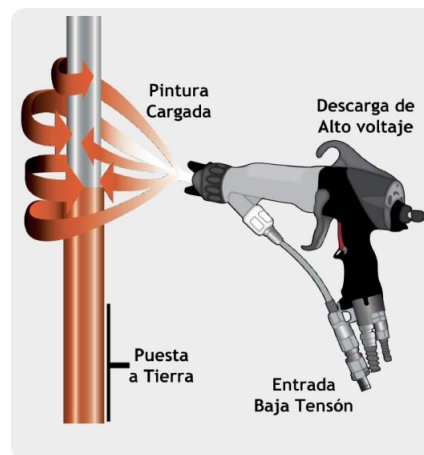


Fig. 2.1

Pre-tratamiento:

El pintado como se menciona debe ser provisto para una larga vida útil de las piezas de un proceso de tratado previo. Esto se lo puede efectuar por métodos de inmersión en cubas o sino por baños por aspersión logrando los mismos resultados. Los baños que se requieren básicamente son:

Primer baño: Desengrase

La aspersión o inmersión es llevada a cabo con un compuesto químico en una concentración de 50 [gr/lit]= 5% que limpia la superficie de las piezas de suciedades. El desengrasante debe ser aplicado a una temperatura de 80° C durante un lapso de 1 a 5 minutos

Segundo baño: Enjuague

Aquí el objeto a pintar es sometido a un lavado con agua a presión para sacar los restos de suciedad y químicos que quedaron de las etapas anteriores.

Tercer baño: Refinador de grano

Las piezas son atacadas por químicos que producen un refinamiento en la estructura granular para disminuir los efectos contraproducentes de plegados, estampados, soldaduras, etc.

Cuarto baño: Fosfatado

Fosfato de cinc es aplicado para formar una película continua sobre la pieza logrando muy buenas características anticorrosivas y una buena adherencia. Este es aplicado durante 2 a 4 minutos a una temperatura aproximada de 75° C.

Quinto baño: Enjuague

Se limpia los restos de químicos con agua desmineralizada a presión librándola de todo tipo de sobrantes químicos y suciedades.

Posteriormente a este tratamiento se debe tener las piezas secas para que se pueda lograr una buena adherencia del polvo en la cabina de pintura. Para ello deberán secarse las piezas en un horno.

Curado:

Aunque la carga estática alcanza para sostener los pigmentos y las partículas de resina temporalmente en su lugar, no es una solución permanente. Las partículas se fusionan permanentemente con la superficie en un horno de curado, que derrite la cobertura y crea ese acabado muy suave familiar. Dependiendo del uso que se le dará al objeto de metal, hay varias fórmulas para la mezcla del pigmento y la resina. Para uso al aire libre, la mezcla probablemente llevara resina de poliéster y poliuretano, que ofrecen una buena resistencia a los cambios de clima. Para uso interior, se utilizará una resina epoxi que resista la corrosión.

Para que la pintura en polvo (o pintura epoxi, pintura electrostática o pintura termo convertible, son todos sinónimos) adquiera ese acabado, y se produzcan las reacciones químicas descritas más arriba, se debe someter al calor, de ahí su nombre "termo convertible", es decir, cambia con la temperatura.

Las piezas son llevadas a un gran horno en el que son colgadas del techo, y son sometidas a una temperatura de entre 180 y 200° C durante unos 20 minutos aproximadamente. Este proceso permite que la resina con el pigmento se fundan, y a su vez, se adhieran al metal logrando un acabado inigualable, duradero y resistente a rayones.

Beneficios:

Hay muchos beneficios para llevar al cabo este proceso múltiple. El acabado estético de la pintura electrostática es superior; a diferencia de las pinturas líquidas, no hay marcas de pincel, burbujas, goteo o imperfecciones. Además la cobertura curada al calor es más durable que una superficie pintada tradicionalmente, y está mejor preparada para resistir cambios de clima, corrosión y manchas de químicos o solventes. Finalmente, el proceso de pintura de metal electrostática evita el uso de solventes dañinos utilizados comúnmente en la industria de la pintura tradicional.

Composición de la pintura electrostática:

La pintura electrostática es un compuesto de resinas sintéticas, endurecedores, aditivos, pigmentos y cargas. Los porcentajes en los cuales estos se presenten, dará a la pintura las características propias como lo son el color, la resistencia, la flexibilidad y el acabado.

Las resinas son la base de la pintura, ya que son las encargadas de aportarle el brillo y la mayoría de propiedades mecánicas a la misma. Para lograr un buen recubrimiento en la pieza se habla de tener aproximadamente entre un 50-55% del peso total en resina. Y su porcentaje es directamente proporcional al aumento de las propiedades que le da a la pintura. Los endurecedores son los compuestos que reaccionan con las resinas para que se dé la polimerización. De acuerdo al tipo de resina que se use para diferentes aplicaciones, tiene también su endurecedor definido. Por esto, el endurecedor no tiene muchas posibilidades de variación dentro de las pinturas y se podría asumir como un valor constante. Los pigmentos son los encargados de darle el color a la pintura. Para este compuesto en particular la formulación porcentual es similar a la de la pintura líquida, ya que el color exacto que se requiere tiene sus porcentajes definidos en los colores que lo conforman. Los pigmentos que se utilizan para la pintura electrostática deben ser especiales para soportar y no decolorarse a las altas temperaturas que son sometidos en el proceso de polimerización.

Las cargas son los componentes encargados de brindar al producto final importantes propiedades mecánicas como la resistencia al impacto, también ayudan a eliminar el brillo excesivo que puedan dejar las resinas en la pintura. Por último, los aditivos son el componente de menor porcentaje dentro de la pintura, y están encargados del aspecto y del acabado de la pintura, para que sea de manera prolija y homogénea.

CAPITULO 3: MARCO METODOLOGICO

MODELO PROPUESTO PARA LOS HORNOS

Tipo de horno:

Se sugiere un horno elevado o también llamado “Camelback”. Estos se encuentran separados de la superficie del suelo a fin de garantizar un ambiente más habitable a los operarios ya que las pérdidas de calor tienden a elevarse permitiendo un tránsito aceptable en cercanías del túnel y hasta por debajo de él.

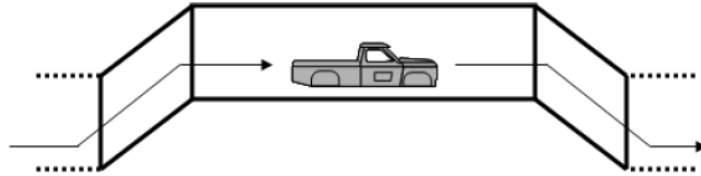


Fig. 3.1

El horno cuenta con rampas de ascenso y descenso en donde se usara las pérdidas de calor del túnel para lograr así un precalentamiento en el inicio y un enfriamiento suave al final.

A su vez como se dijo el proceso requiere un área de curado y otra de secado, por esto se propone que el horno este dividido en la mitad para que en dos recorridos de las piezas en sentidos opuestos se lleven a cabo las dos etapas necesarias. De esta forma lograr utilizar parte del calor suministrado al horno de curado, donde se tendrá una temperatura de trabajo de aproximadamente 180°C para calentar el túnel secador que trabajara a 90°C.

Sellos de aire:

Los extremos serán abiertos pero se utilizara un sistema de sellos de aire para disminuir las pérdidas de calor al exterior. El método consiste en trabajar con presiones ligeramente negativas en el túnel a fin de disminuir lo máximo posible de perdida de calor al exterior, esto se logra aplicando una recirculación del aire por medio de ventiladores en los vestíbulos manteniendo un balance de tal forma que haya una pequeña corriente de aire de infiltración (o sea que entra al horno) para evitar que se escape el caliente.

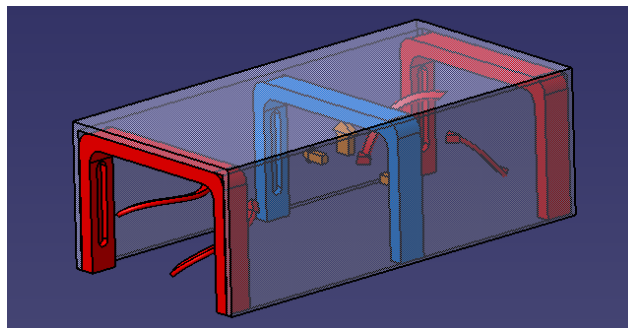


Fig. 3.2

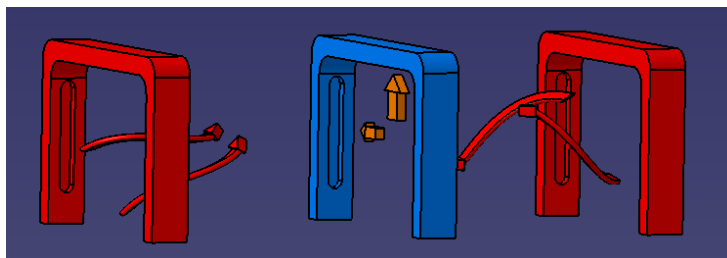


Fig. 3.3

Tal como se aprecia en las figuras 3.2 y 3.3, un tramo de túnel ubicado tanto en el ingreso como en la salida del horno, contiene una especie de portales. Los cuales, dos son de suministro de aire caliente (rojo) y uno de extracción (azul). El del medio está conectado a un extractor centrifugo que permite succionar el aire para ser recalentado logrando así una depresión en esta parte del horno a fin de que el aire caliente no se escape por las puertas evitando perdidas de energía y un ambiente más confortable a los operarios de la planta. Los otros dos portales suministran aire caliente que ya fue recirculado y recalentado cumpliendo a su vez la función de cortinas de aire.

Cabe destacar que las ligeras presiones negativas con que se trabajan en los sellos (provocadas por la succión) tiene como consecuencia un pequeño caudal de aire frio de infiltración que para este proyecto se considerará una flujo volumétrico por puerta de $250 \left[\frac{m^3}{hr} \right]$ a una temperatura aproximada de $30^\circ C$.

Resumiendo, se va a poseer un sistema que si bien me aumenta el consumo de energía por los dos forzadores (en cada túnel), más el calentamiento del pequeño volumen de aire de infiltración pero como beneficio se tendrá un quemador mucho más chico que si fuera un túnel de un solo tramo y sin protecciones de escape de aire a la salida.

Túnel:

Tanto el de curado como el de secado serán para una mejor interpretación divididos en zonas, aunque cada una trabajará a distintas temperaturas para cada proceso. Esto se muestra en el siguiente gráfico:

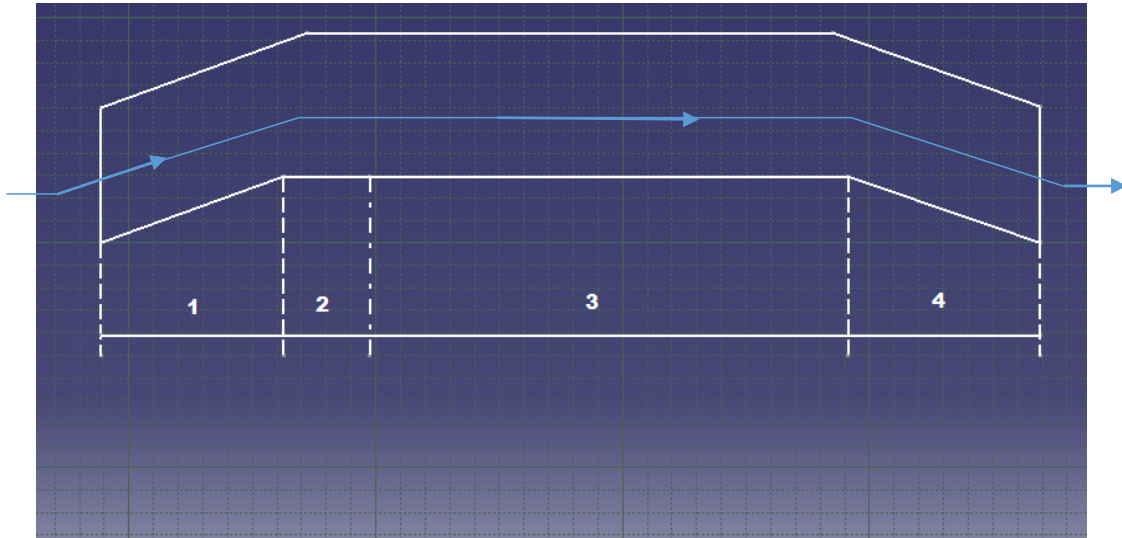


Fig. 3.3

Cada región del horno demarcada en la figura 3.3 tiene su funcionalidad en donde se tiene:

Rampa de precalentamiento: La rampa de elevación en el ingreso al horno será utilizada como vestíbulo de precalentamiento. Tendrá una longitud de 5 [m] con un ángulo de elevación de 12° . Aquí las pérdidas que escapan por el túnel (tramo recto) serán reutilizadas permitiendo que los objetos a pintar pasen de una temperatura ambiente de aproximadamente 30°C a una cercana a la de trabajo (100°C aproximadamente). Como se planteó se usaran sellos de aire para evitar que el calor escape hacia afuera de los vestíbulos.

Zona de fin de levantamiento de temperatura: Una vez que el objeto finalizó el ascenso en la rampa, ingresa al túnel propiamente dicho precalentado pero no a la temperatura de trabajo. Por esto en este tramo las piezas terminan de elevar su temperatura que se necesita para ser tratada (100°C para el secado y 180°C para el curado). La longitud requerida para este último tramo de elevación de temperatura es de 1,3 [m]

Zona de sostenimiento de temperatura: Llegado al punto de trabajo se deberá mantenerlo por un tiempo propuesto por el fabricante de la pintura mientras el elemento sigue avanzando en la línea. Esto nos da como resultado unos 15 min de curado lo que equivale a aproximadamente 6,3 [m].

Rampa de enfriamiento: Finalmente habiendo cumplido con el tiempo y temperatura de curado (o secado), el túnel finaliza y se tiene la rampa de descenso en donde usando el mismo principio que en la rampa de precalentamiento, las piezas son enfriadas suavemente de modo tal de no tener un gradiente alto de temperatura y se dañe la pintura. Para ello se propone una rampa de descenso geoméricamente simétrica a la de ascenso.

Cabe aclarar que el túnel será simétrico tanto para curado como para secado, a fin de evitar complicaciones constructivas en donde su longitud será determinada basándose en cumplir con los importantes requisitos de curado, ya que para el secado no se necesita más que un

tramo en donde la pieza eleve su temperatura durante un instante de tiempo para quitar la humedad y no tener problemas de adherencia de polvo.

Diseño recomendado:

En las siguientes figuras se propone un diseño del horno que como se dijo será de doble trayectoria en el cual se podrá llevar a cabo el secado en un primer sentido y posteriormente el curado de la pintura en el sentido opuesto.

Con respecto a la estructura del mismo, el piso (o base) del túnel se construirá con tubo estructural de sección cuadrada 100x100 [mm] y 6,35[mm] de espesor, las columnas encargadas de transmitir todo el peso al suelo deben ser perfil UPN N°120 y tendrán una longitud de 2,1[m] las más largas (ver cálculos en anexos).

Además las piezas serán transportadas por un riel construido de perfil IPN 100 que será fijado al techo. Se contara a lo largo y ancho de ambos túneles de estructuras del mismo perfil en forma de “U” invertida separadas entre sí y que estarán soldadas a la base o piso en sus dos extremos inferiores y en su extremo superior se fijara el monorriel de guía correspondientes a cada horno.

En la mitad de la trayectoria se dispuso la colocación de puertas de acceso y salida; ya se esto para mantenimiento, puesta a punto, regulación de aletas en las tuberías de descarga de aire caliente, salida de emergencia, etc. Para complementar esto último se cuenta con una pasarela de inspección que recorre toda la pared exterior de ambos lados y elaborada con placa de acero al carbón antideslizante tipo “semilla de melón” de 1[mm] de espesor.

Como se puede apreciar en las figuras siguientes, el túnel tendrá una rampa de ascenso y otra de descenso con una pendiente de 12°. El Angulo de elevación es relativamente chico a fin de hacer más versátil el horno en caso de que sea necesario pintar piezas un poco más largas (por ejemplo perfiles de aluminio de 3 metros)

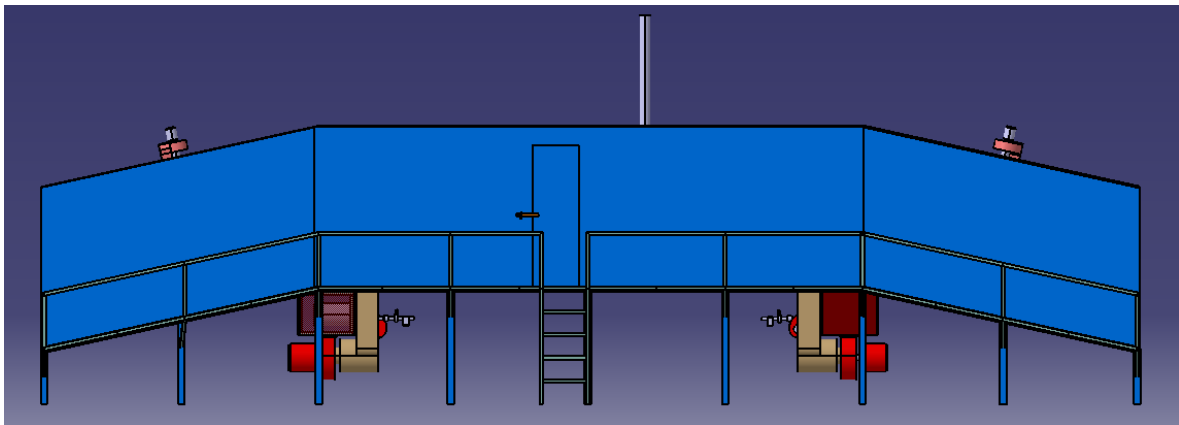


Figura 3.4

Esta cabina básicamente contiene las siguientes partes:

Cámara de combustión

Quemador de gas presurizado

Forzador de cámara de combustión

Forzadores de sellos de aire

Tuberías de sellos de aire

Tuberías de suministro de calor en el túnel (Rojo)

Tuberías de recolección de aire caliente (Marrón claro)

Chimenea del horno de secado

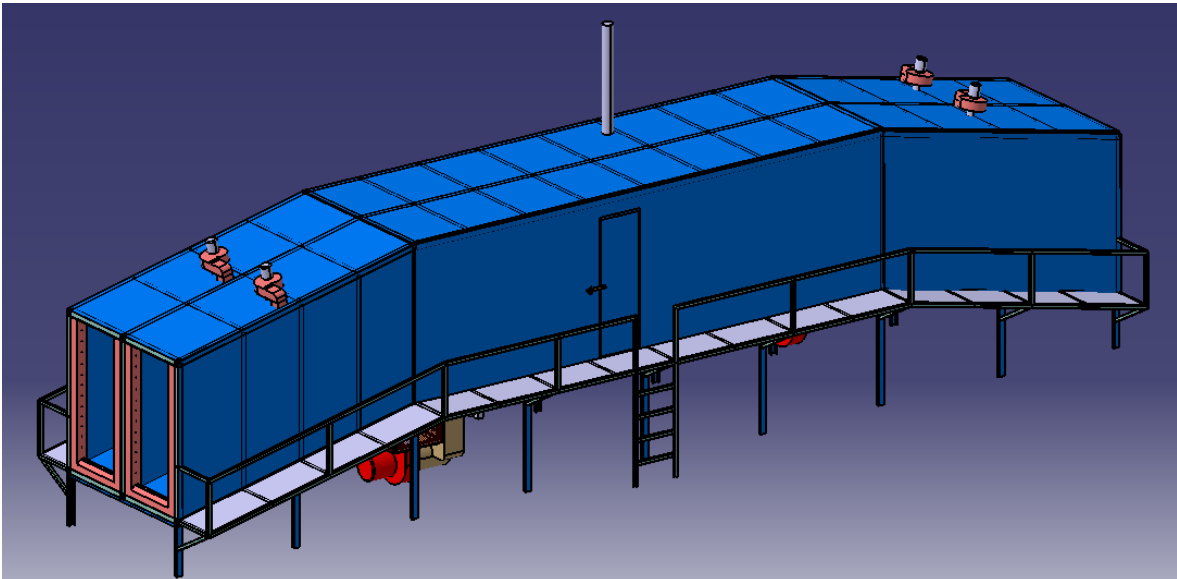


Figura 3.5

El principio de funcionamiento consiste como se ve en la Figura 3.6 en elevar la temperatura del aire en la cámara de combustión, el cual es succionado del interior del túnel y forzado a pasar por esta. Una vez que su temperatura alcanzó los 210°C para el horno de curado (o 100°C para el horno de secado) se va a poder liberar en el túnel. Para esto se provee de una tubería de sección rectangular de 400 [mm] x 250[mm] (rojo) que estará situada en el medio del piso y tendrá sucesivas aperturas u orificios para descargar esta masa de aire caliente.

El flujo de aire caliente que se soltó calentará el túnel de tal modo que se crea un ambiente acorde para el tratamiento de la pieza.

A su vez esta masa caliente tendrá una menor densidad; es decir que será más liviana que la masa a menor temperatura por lo que tenderá a elevarse a la parte superior. Para reutilizar esto se dispuso de dos las tuberías de succión de iguales dimensiones que la de extracción y que estarán ubicadas en cada esquina del techo.

En síntesis, el aire caliente que se encuentra arriba se extraerá por los tubos de extracción (Marrón claro) y se forzará a pasar nuevamente por la cámara de tal modo que solo se necesite recalentarlo para volver a utilizarlo. De esta manera no será necesario elevar la temperatura del aire desde la temperatura ambiente (30°C) hasta la temperatura de trabajo sino, solamente producir el recalentamiento de aproximadamente 180°C a 210°C . Con esto se logra una reducción considerable del tamaño del quemador de gas y por lo tanto su consumo.

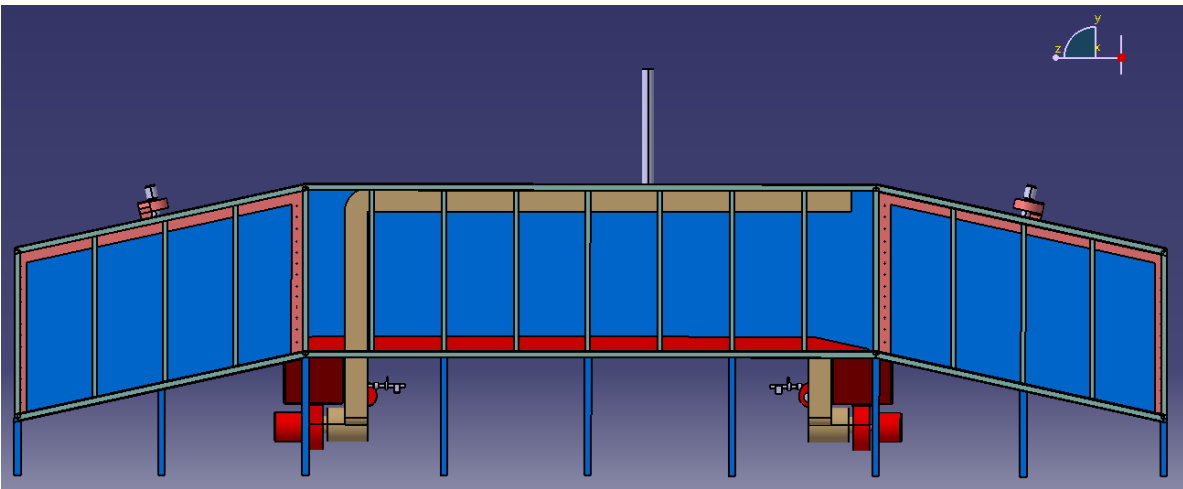


Figura 3.6

En la Figura 3.7 se puede apreciar el sistema de sello de aire propuesto para este túnel. Como se sabe parte del calor de la cabina propiamente dicha se escapará a las rampas de elevación de piezas y este será usado para un pre-calentamiento en el ascenso y un enfriamiento suave en el descenso.

Además el forzador ubicado en la parte superior de la rampa tendrá como objetivo succionar el aire caliente de este vestíbulo provocando una depresión mínima. Así evito el escape de masa de aire caliente hacia afuera mejorando la habitabilidad en la planta y además disminuyendo las pérdidas de calor.

La masa de aire aspirada por el forzador será devuelta por medios de las tuberías con mayor presión y velocidad en dos portales ubicados en este vestíbulo. Los mismos tendrán orificios o aberturas de modo tal que funcionen como cortinas de aire ayudando a que no se escape el flujo de calor.

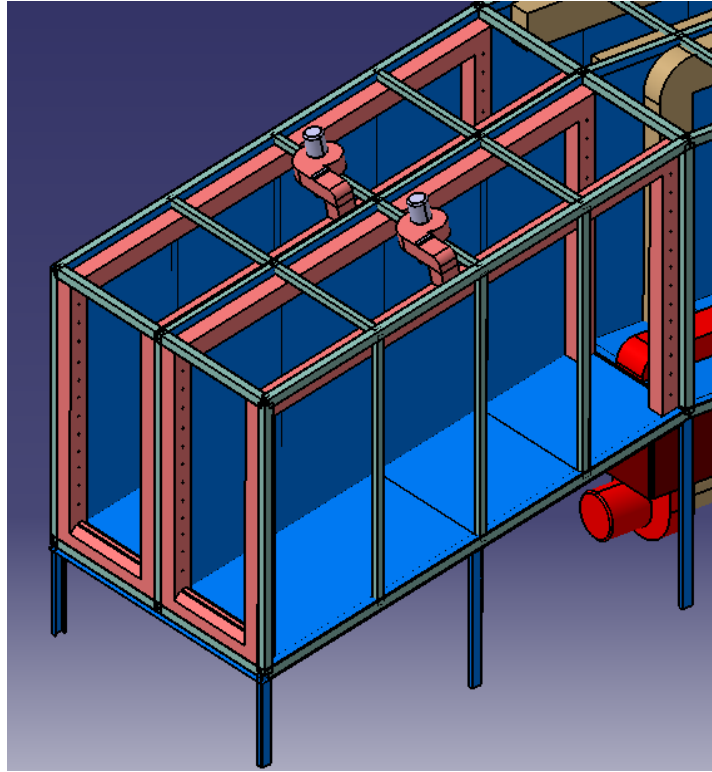


Figura 3.7

El túnel tiene simetría como se puede apreciar en la Figura 3.8 pero cada uno tiene un tamaño de quemador distinto debido que trabajan con distintas temperaturas.

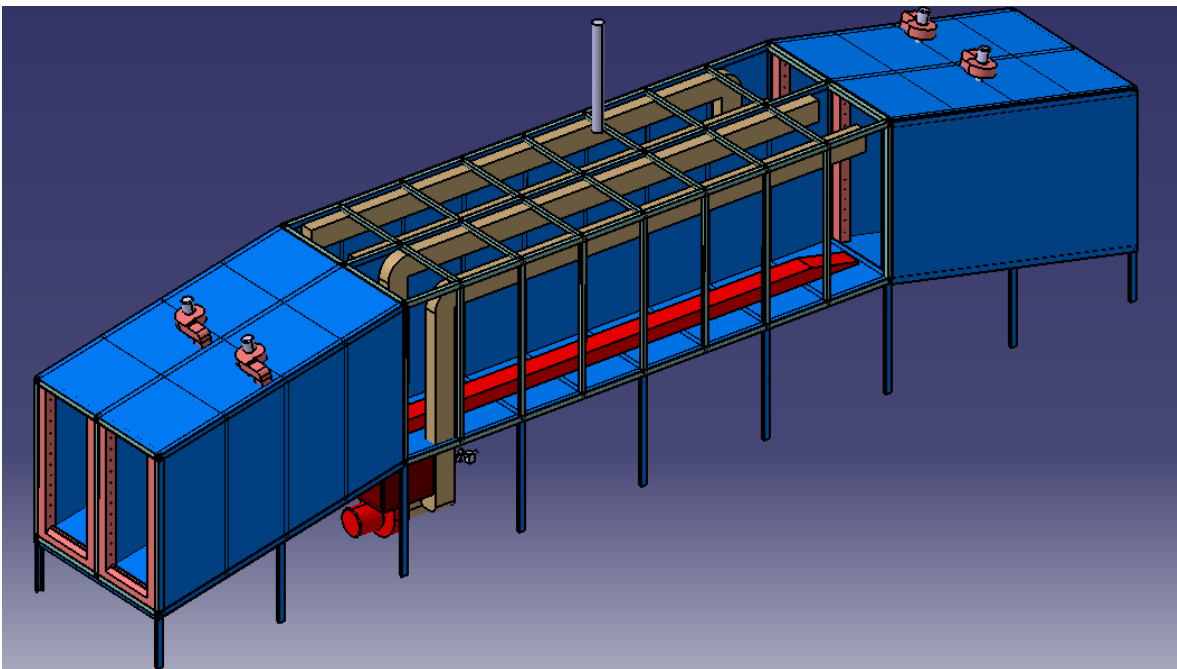


Figura 3.8

Paredes:

El túnel propuesto tendrá en sus paredes una composición de materiales tipo sándwich (chapa- aislante-chapa). Se sugieren los siguientes espesores de chapa de acero al carbón:

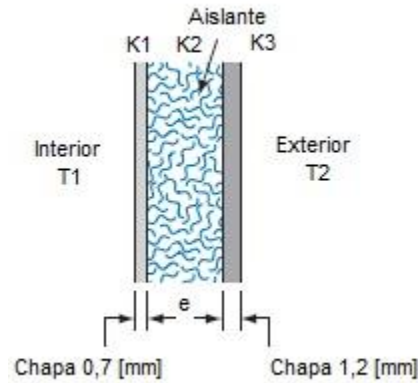


Figura 3.9

Los fenómenos térmicos que incurren aquí son, convección forzada en las paredes interiores del horno debido al sistema de ventilación, convección libre en las exteriores y conducción a través de esta. Este se rige por la ecuación:

$$\dot{q} = U * A * (T_2 - T_1)$$

Dónde: “ \dot{q} ” es calor transferido, “U” es el coeficiente de transferencia de calor global, “A” es el área expuesta a ese calor y “ $(T_2 - T_1)$ ” es el salto térmico.

Se propone para todas las paredes de este túnel un espesor de chapa interior de acero de 0,7 [mm] y para la cara exterior un espesor de 1,2 [mm] para darle más resistencia y rigidez a la estructura. A su vez esta última será revestida con pintura de modo tal de tener un diseño más acabado y atractivo del horno.

Aislante:

Como se sabe es necesario aislar las paredes del túnel a fin de minimizar las pérdidas de calor del horno para mantener un buen rendimiento. De otro modo los quemadores de gas estarían funcionando todo el tiempo y por lo tanto consumiendo gas natural lo que afectara la rentabilidad. Para intentar solucionar esto se escogió un aislante térmico de lana de vidrio marca “ISOVER TELISOL” de industria argentina, debido a su menor costo, buenas prestaciones y fácil obtención en el país.

(Ver las características técnicas de este material en anexos)

Los espesores que se calcularon (Ver anexo de cálculo) para cada pared se muestran en la siguiente tabla:

Parte	Espesor calculado[mm]	Esp. Normalizado [mm]
Pared exterior H. curado	90,7	100
Pared exterior H. secado	32	50
Divisorio	29	50
Techo H. curado	90,7	100
Techo H. secado	32	50
Piso Horno curado	90,7	100
Piso Horno secado	32	50

Tabla N°1

Diseño recomendado para la cámara de combustión:

La cámara de combustión es una parte muy importante para el túnel debido a que de allí se provee el calor necesario para calentar el aire. La misma cuenta con un quemador presurizado a gas. Al encenderse este genera una llama con la cual se calentara el aire.

El aire será forzado a pasar a través de la cámara por medio de un forzador “BIMONT” Mod. 2229 de 900 RPM y un caudal de 316 [m³/min]. Para evitar que este apague la llama se dispuso dotar la cámara de un deflector con forma de cuna, el cual será construido de acero inoxidable de 5 [mm] de espesor. Al chocar el flujo de aire con esta placa hará desviar el aire abrazando la llama de manera que se caliente perfectamente y no la apague.

El ventilador forzador tendrá en su región de extracción (succión) de aire un colector de admisión donde se reúnan los gases calientes que ya fueron utilizados en el horno y ahora se encuentran en su parte superior. Este colector múltiple será construido de manera sencilla con un tubo comercial con dos aberturas para conectar las dos tuberías que vienen con aire en desuso.

La cuna deflectora antes mencionada será provista en su pared posterior de una protección con ladrillos refractarios, a fin de evitar el daño a esta por la constante incidencia de la llama en esa zona.

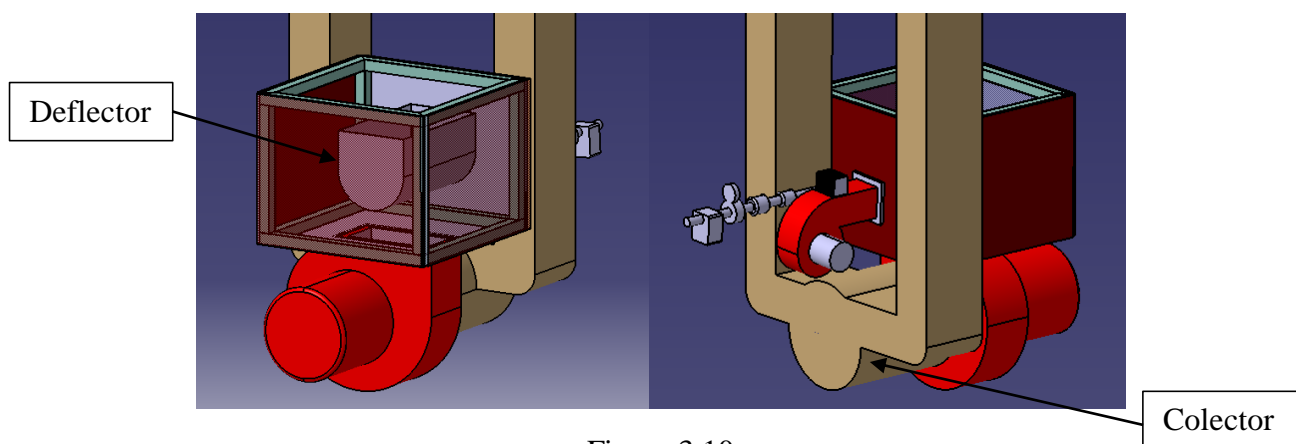


Figura 3.10

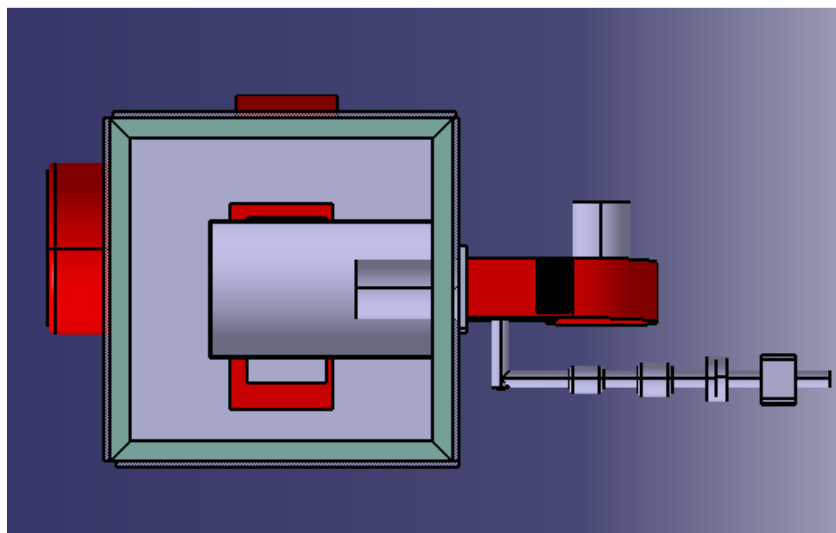


Figura 3.11

La cámara estará construida de tubo estructural de 60 x 60 mm, revestida por paredes tipo “sándwich” con una placa interna de acero de 1,2 mm de espesor, un aislante térmico de “ISOVER” de lana de vidrio de 100 [mm] de espesor en la parte media y en la cara exterior tendrá una placa de menor espesor de 0,7 [mm]

Quemadores de gas:

Como se calculó en los anexos se requiere adoptar quemadores de gas de modo tal que cumplan con estos requerimientos calóricos previsto y que a su vez lo superen por cualquier otra pérdida fortuita.

En base a esto se recurrió a un catálogo de fabricantes nacionales de quemadores de gas marca “FENIX” producidos en la provincia de Buenos Aires por lo que se proponen lo siguiente:

	Kcal/hr mínimas	Modelo de quemador	Capacidad [Kcal/hr]
Horno de Curado	155.000	CM25	150.000 a 270.000
Horno de Secado	38.200	CM5	30.000 a 70.000

Tabla N°2

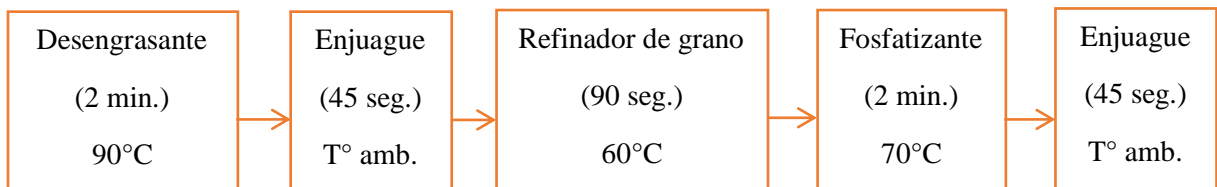
(Ver cálculos en anexos)

MODELO PROPUESTO PARA LA CABINA DE PRE-TRATAMIENTO

La cabina de pre-tratamiento se funda con el objetivo de tratar químicamente las piezas a pintar para lograr una buena calidad y adherencia de la pintura y una mejor resistencia al deterioro con el paso del tiempo.

Se propone un túnel de procesamiento químico, por el cual circularan las piezas en su interior sometiéndolas a distintos agentes.

Las etapas se definen en base a la pieza a pintar, su uso, su tamaño, entre otras cosas. En nuestro caso se van a trabajar puertas, pero también es necesario tener cierta versatilidad para cuando lleguen piezas de clientes muy distintas. Entonces se logró un acuerdo con el directivo de la empresa Mali SRL y los fabricantes de químicos (Química D&D) de contar con las 5 principales etapas:



Las sustancias serán aplicadas mediante picos aspersores, los cuales proporcionaran un flujo de los químicos en forma de lluvia. Para esto se va a proporcionar un sistema de calentamiento e impulsión para suministrar el caudal necesario y a la temperatura adecuada.

Los pulverizadores serán distribuidos en una suerte de arcos. Estos últimos estarán separados 30[cm] a lo largo de la cabina y serán dotados de 12 picos aspersores cada uno.

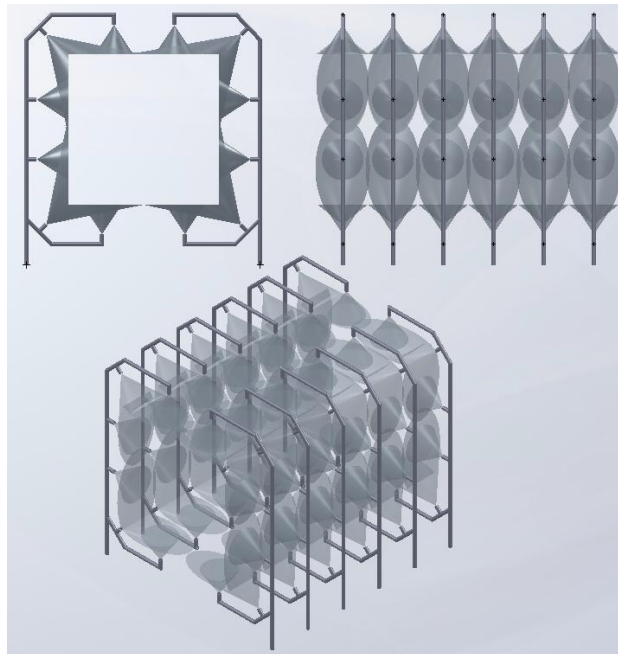


Figura 3.12

Entre cada etapa del tratamiento se deberá disponer de una cierta distancia para dejar que las piezas goteen el excedente de material que se pulverizó, lo cual alargará la cabina. A su vez el piso de cada una tendrá una forma de embudo de tal manera que encause los restos de fluidos hacia un recipiente en donde se calentara nuevamente y se recirculará.

En base a los requerimientos de cada paso y la velocidad calculada para la línea se determinó (ver anexos) que el largo total de la estructura deberá ser de aproximadamente 7,15[m]

Cabina

La cabina propiamente dicha, será un túnel a través del cual irán avanzando las piezas recién cargadas en la línea para ser tratadas químicamente. Por lo tanto se alojaran allí los distintos sistemas de pulverización de las distintas etapas.

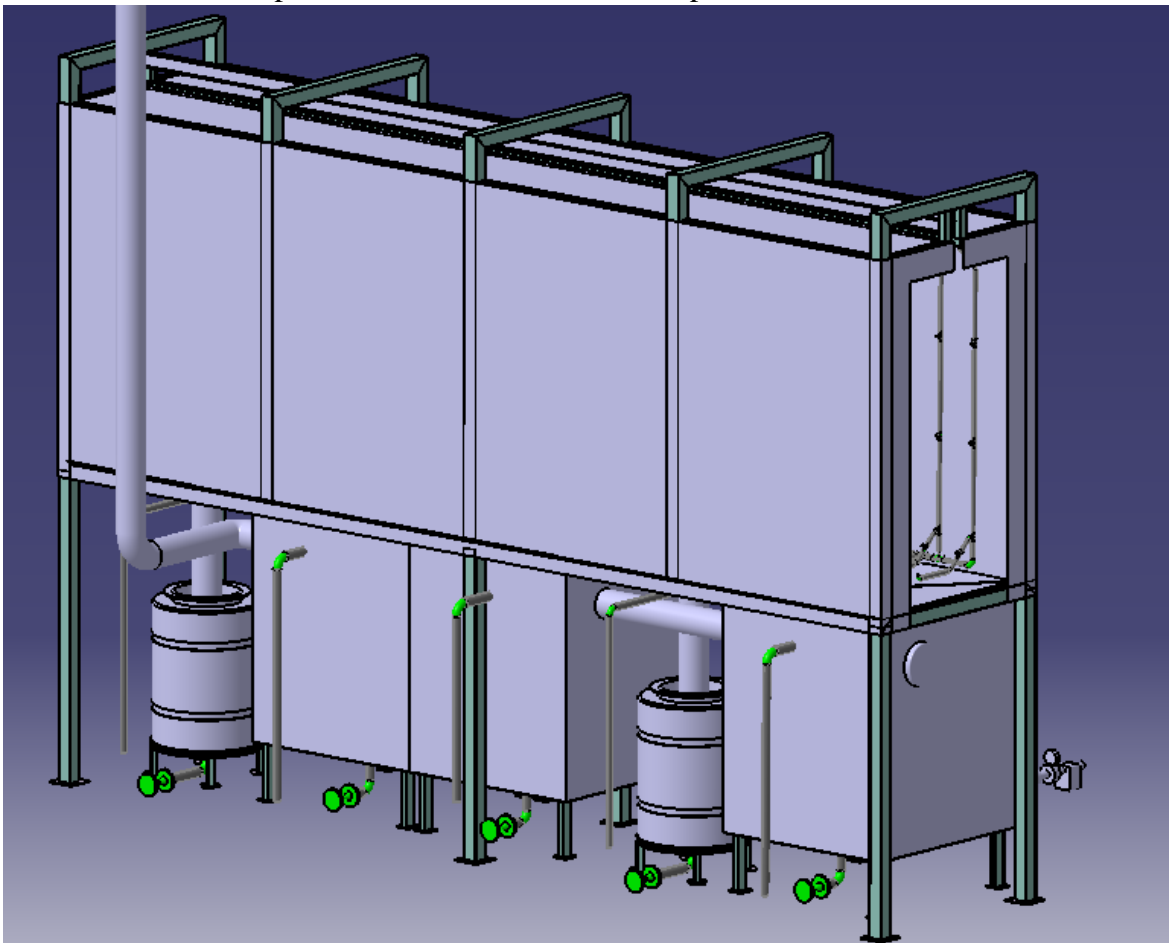


Figura 3.13

Las dimensiones finales del modelo son 7,3[m] de largo, la cual será elevada del suelo 2,1[m] de manera tal que el calor y vapor de los líquidos pulverizados se eleven sin provocar daños a la salud de los operarios que trabajen en cercanías. A su vez el alto de la boca de entrada al túnel es de 2,8[m].

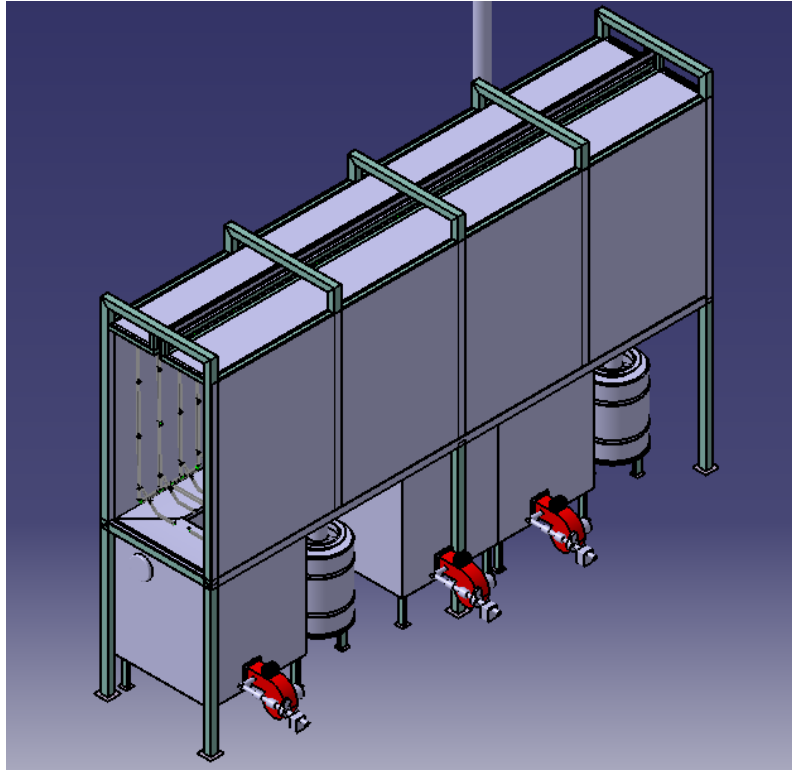


Figura 3.14

El peso de toda la estructura será soportado por 6 columnas que estarán soldadas al piso del túnel y fijas al suelo del terreno. Serán construidas de tubo estructural de sección cuadrada de 100x100, y 1,6[mm] de espesor. Cada una de estas tendrá una longitud de 2,1[m] y resistirá su carga individual (246[kg]) sin tener efectos de pandeo.

La base o piso es también construido en su totalidad por tubo cuadrado de 100x100 y un espesor máximo normalizados de 6,35 [mm] logrando así que la flecha máxima en el centro de cada viga larga sea menor al 0,1% de la su longitud (menor a 4[mm]).

La carga de las piezas y riel (entre otras), será transmitida al piso de la cabina por medio de 5 arcos en forma de “U” invertida (mismo sistema utilizado en el los hornos) y separados uniformemente a lo largo del túnel. Se utilizara perfil cuadrado de 100x100 y 6,35 [mm] de espesor.

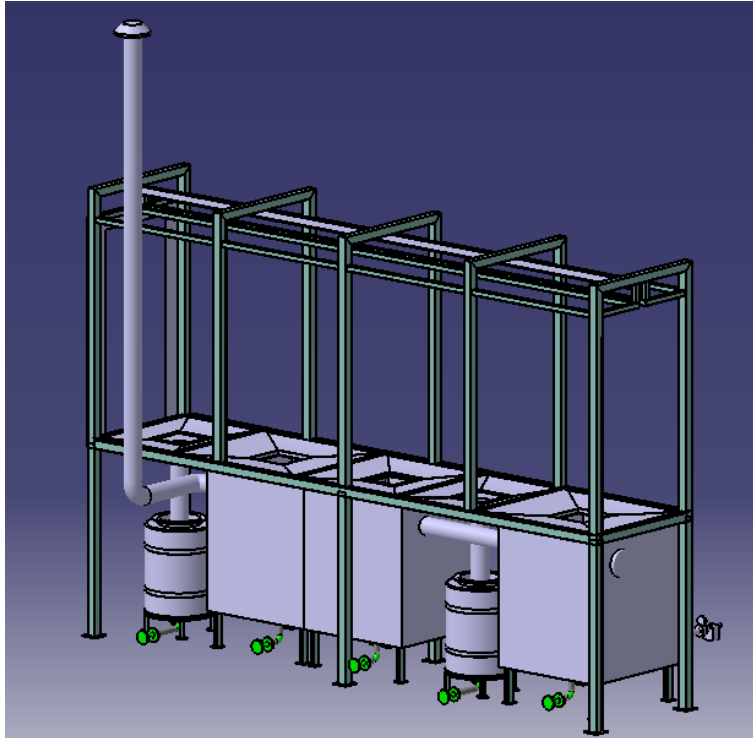


Figura 3.15

Se requiere cierta hermeticidad a lo largo de la estructura y a su vez resistencia a los químicos (algunos un tanto agresivos a lo largo del tiempo). Es por esto que se decidió recubrir los laterales, techo y piso con placas de acero inoxidable AISI 310 de 0,8[mm] de espesor, teniendo como ventaja este material la capacidad de soportar químicos agresivos sin corroerse y altas temperaturas sin perder sus propiedades.

Cada etapa, como se planteó al inicio, tiene una distancia de unos centímetros entre ella para lograr así un correcto goteo de los líquidos y que en su recuperación no se mezclen en los tanques de cada uno (o que sea lo menor posible)

Para la recolección y recirculación de los fluidos se propone que en el piso se cuente con pendientes formando así una especie de embudo cuadrado (construido también de acero inoxidable AISI 310) que recolecta los líquidos de cada etapa, dejándolos caer sobre los tanques que se ubican cada uno justo debajo de estos.

Sistema de pulverización

Se formaran cortinas de pulverización mediante una especie de marco que contendrá las 12 boquillas aspersoras ubicadas 6 en cada lateral. Los paneles ya formados serán ubicados transversalmente constituyendo un túnel, por medio del cual las piezas serán rociadas a presión para lograr el pre-tratamiento requerido para su posterior secado y pintado.

Las redes de distribución para cada paso son similares geoméricamente, solo que se aumenta la longitud de acuerdo a lo que se necesita exponer a tal tratamiento. La cantidad de cortinas dependerá entonces del tiempo requerido para que el objeto a tratar este sometido al químico. Para esto se calculó que para el proceso de fosfatado y desengrase

(que son los que más tiempo requieren) se dote de 4 cortinas, en la etapa de refinado de grano 3 cortinas y para los enjuagues N°1 y N°2 solamente 2, ya que el tiempo que requiere q se esponga la pieza es bajo.

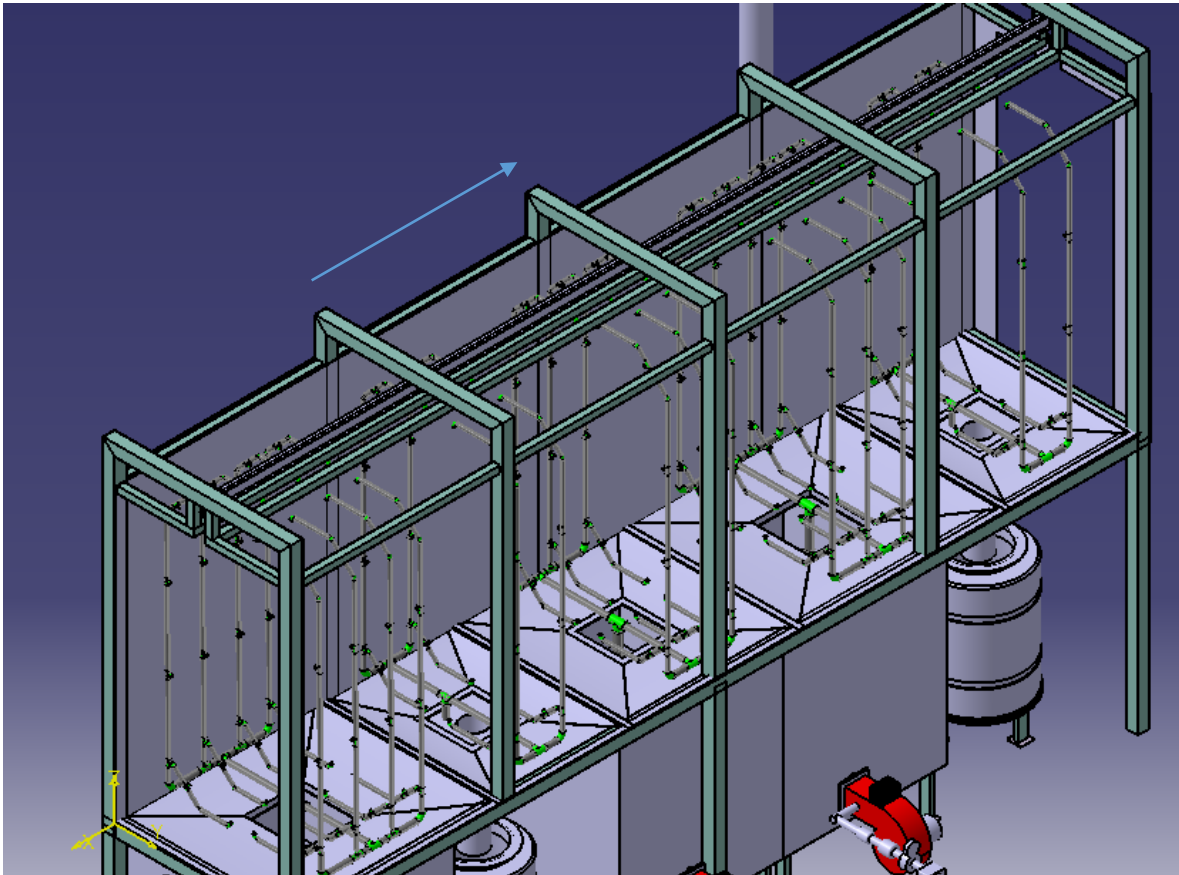


Figura 3.16

Como puede apreciarse en la figura, cada etapa del proceso no solo cuenta con su depósito de líquidos, sino también con su red de tuberías acorde a los tiempos y caudales.



Figura 3.17

Es fundamental que el aspersor sea el adecuado para esta labor, por lo que después de analizar la gran variedad de estos en el mercado se selecciona una boquilla de cuerpo en una sola pieza marca “FULLJET HH ¼ pulg.” con un caudal de 6,2 litros/min y 2 bar de presión. Este modelo cuenta con un ángulo de salida de 67° a una presión de 1,5 bar lo cual es totalmente adecuado para el uso que requerimos para el tratamiento.

El caudal de líquido que es succionado desde el depósito por medio de una bomba, es elevado y distribuido hacia los distintos aspersores provistos. En primera instancia va a ingresar al circuito por medio de un ramal central que tendrá la tubería de mayor diámetro ya que por allí se transportara todo el flujo.

Se propuso que la rama central llegue al circuito por el centro de tal manera que el caudal trate de ser lo más simétrico y uniforme posible para todas las boquillas. Una vez ingresado el líquido procede a separarse por los respectivos porta-ramales de cada lado y posteriormente a los porta-aspersores para finalmente llegar a cada aspersor liberándose en el túnel.

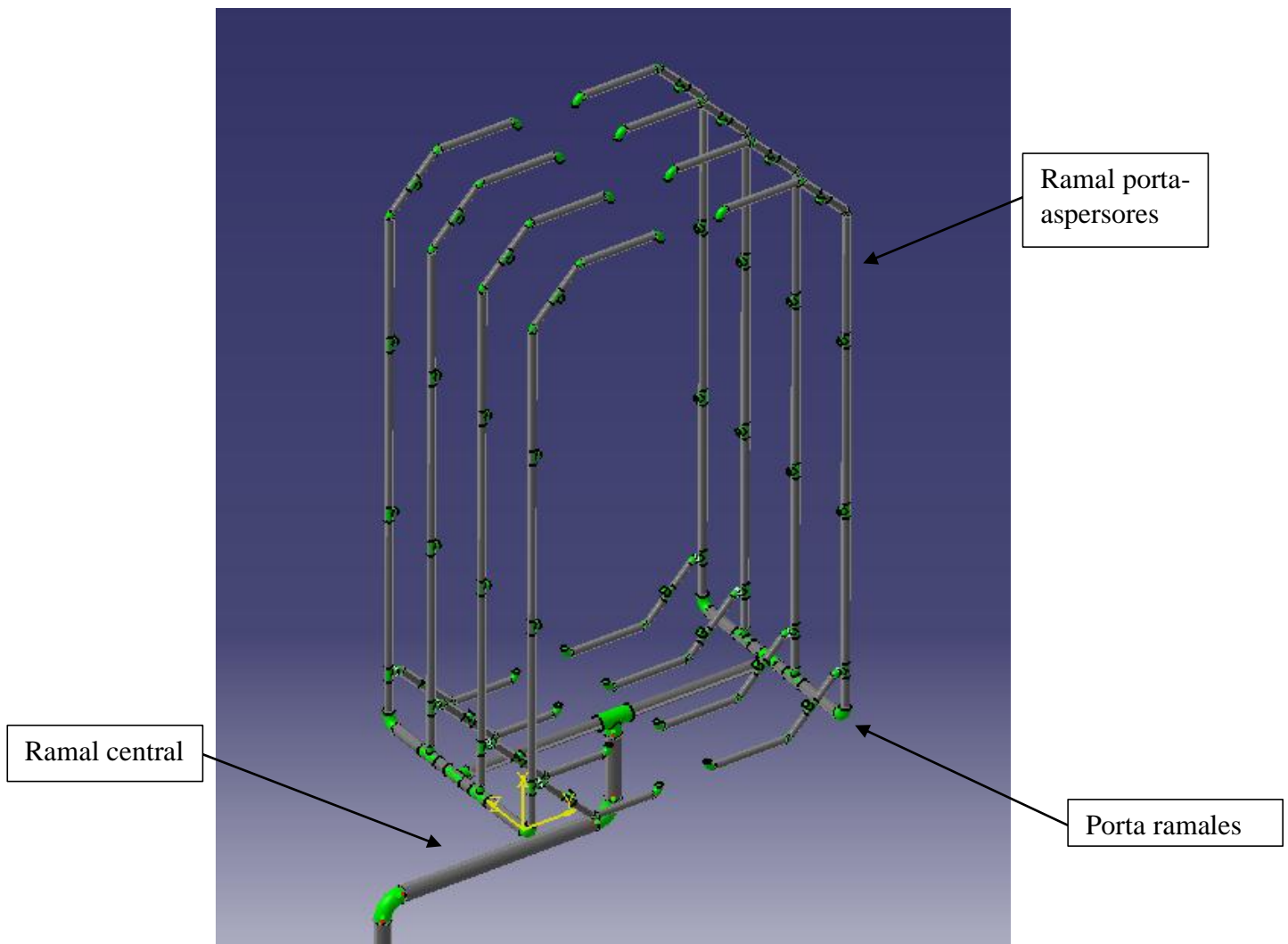


Figura 3.18

En la figura anterior se puede ver el sistema de tuberías diseñado con 4 cortinas para el fosfatado y el desengrase; es decir que se tiene cuatro ramales porta-aspersores de cada lado del circuito. El funcionamiento y disposición es similar en los sistemas de 2 y 3 cortinas para los enjuagues y refinado de granos respectivamente.

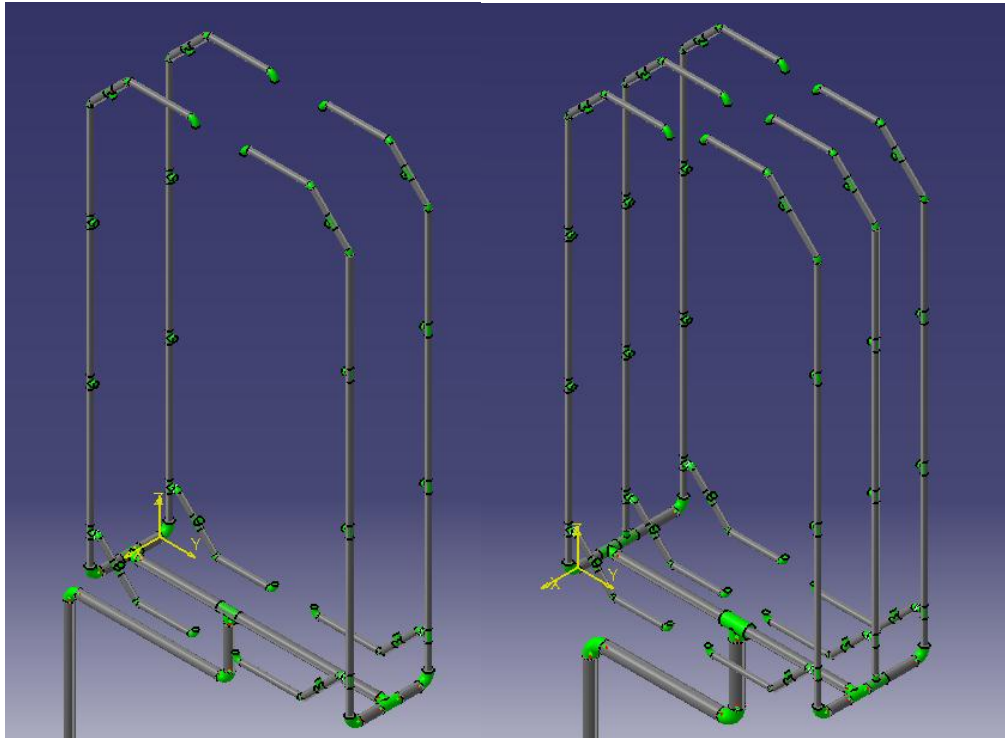


Figura 3.19

Las cañerías que se proponen son de material de acero inoxidable AISI 310 debido a su adaptabilidad adecuada para los químicos utilizados, soportar las temperaturas requeridas, ser un material que su vida útil es prolongada respecto a otros materiales (como el polipropileno) y resistir a los agentes químicos utilizados para la limpieza del circuito que periódicamente se lleva a cabo.

Los diámetros de cañerías se calcularon (ver anexo) suponiendo una velocidad máxima adecuada recomendada para estos sistemas de 3 [m/s] (Franco Salas & Pérez Urrestarazu, 2008) obteniéndose los siguientes valores ya normalizados a diámetros comerciales:

Sistema	Tramo	Diámetro Normalizado
4 Cortinas	Ramal porta-aspersores	3/4"
	Porta-ramal	1,25"
	Ramal central	2"
3 Cortinas	Ramal porta-aspersores	3/4"
	Porta-ramal	1,25"
	Ramal central	2"
2 Cortinas	Ramal porta-aspersores	3/4"
	Porta-ramal	1"
	Ramal central	1,25"

Tabla N°3

Los dispositivos de bombeo que se emplearan en los circuitos serán 5 bombas que se seleccionan en base a los siguientes requerimientos de caudal “Q” y carga útil de la bomba “h_p” determinados analíticamente para cada etapa:

Etapas	Q[m ³ /hr]	h _p [m]
Desengrasante	17,85	24,8
Enjuague N°1	5,33	20,45
Refinador de grano	13,39	22,9
Enjuague N°2	5,33	20,45
Fosfatado	17,85	24,8

Tabla N°4

- Desengrase, fosfatado y refinador de grano:

Utilizando el catálogo de bombas Marca HASA de las serie “Normalizada”, que son de tipo centrífugas de ejecución sobre bancada están especialmente diseñadas para el suministro de agua doméstico, para uso industrial, riego, agua condensada, agua caliente, agua de refrigeración y, en general, cualquier tratamiento de agua. Se selecciona en función de los requisitos para estas etapas y la curva de trabajo de estas el modelo “Normalizada 40-32”

El modelo que se escogió cumple con los requisitos para las tres etapas mencionadas. Esto se puede comprobar analizando la curva de trabajo y el punto de utilización (rojo para desengrase y fosfato, y naranja para el refinado de grano)

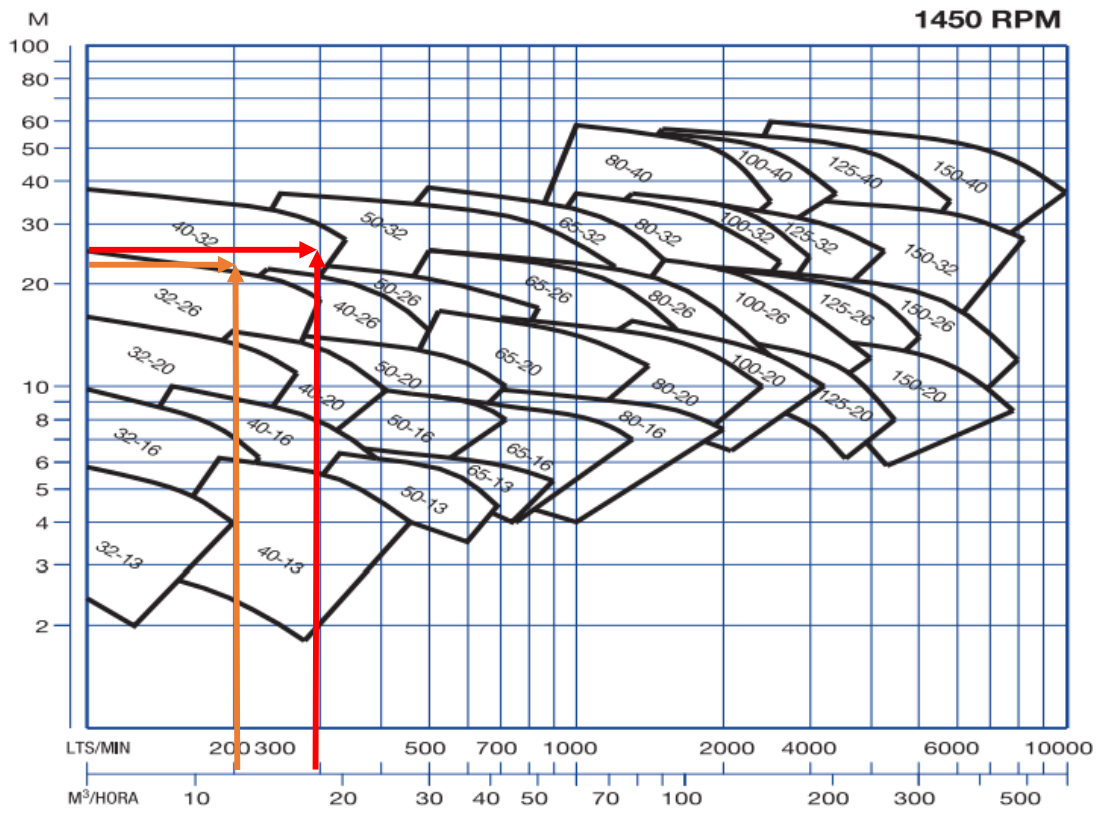


Figura 3.20



Figura 3.21

- Enjuagues y N° 1 y N° 2:

Se adoptaran dos bombas similares de un caudal de 5,5 [m³/hr] y una altura manométrica de 30 [m], Marca HASA, modelo “5HM05S T” 1CV de potencia - 2,8 Amper, diámetro de aspersión de 1¼” y diámetro impulsión de 1”

Estas electrobombas son construidas totalmente en acero inoxidable ideales para uso industrial, tratamiento de aguas, conducción de líquidos químicamente no agresivos y recirculación de agua fría y caliente.

Cuerpo bomba, turbinas, difusores y disco alojamiento sello son construidos en acero inoxidable ‘AISI 304’, tapones de purga y eje en acero inoxidable ‘AISI 316’ y cierre mecánico de cerámica.

Este tipo de bombas centrífugas son de tipo monobloc horizontales multicelulares, motor cerrado con ventilación externa. La temperatura del agua está en el rango de: -10°C a 120°C en motores trifásicos, -10°C a 60°C en motores monofásicos con condensador.



Figura 3.22

Depósitos y sistemas de calentamiento de fluidos

Se dispondrá de cinco de recipientes que contendrán las sustancias químicas (desengrasante, enjuagues, refinador de grano y fosfatizante).

Tres de los tanques serán utilizados como depósito de las sustancias (desengrasante, refinador de grano y fosfatizante) y además más allá serán calentadas a la temperatura correspondiente cada uno. Estos serán construidos de acero inoxidable en su interior, ya que por recomendación de los proveedores de las sustancias para el tratamiento se requiere que sea así, de tal modo que cuando se desee limpiar los residuos propios del uso en estos soporten los productos químicos para esa actividad. Se escogió el tipo AISI 310 como material debido a su alta eficiencia para soportar ambientes corrosivos, resistir hasta temperaturas inferiores a los 1000°C sin variar excesivamente sus propiedades, fácil soldadura a distintos espesores, entre otras ventajas.

El tanque de calentamiento mencionado tendrá un volumen de $1,5[m^3]$ a fin de satisfacer la demanda, y al fluido que se recolecta mantenerlo un cierto tiempo en recalentamiento, ya que a menor volumen, menor será el tiempo para volver a elevar la temperatura lo que me elevaría considerablemente la capacidad del quemador de gas y por lo tanto su consumo de combustible.

Las placas de acero inoxidable son las que contendrán los fluidos, las cuales serán cinco (uno en la base y cuatro laterales) formando una especie de cubo sin tapa y tendrán $5 [mm]$ de espesor todas y unas medidas de $1,15[m]$ de cada lado. Sobre el fondo se reforzara la misma dividiéndola en 4 cuadrantes mediante una estructura de tubo estructural $40x40x2$; y sobre laterales se colocaran largueros horizontales de $40x80x2$ a mitad de altura y en extremos de placas con el mismo objetivo. Otra ventaja que suman los refuerzos es disminuir los espesores de acero en las chapas inoxidables logrando así economía y disminución de peso.

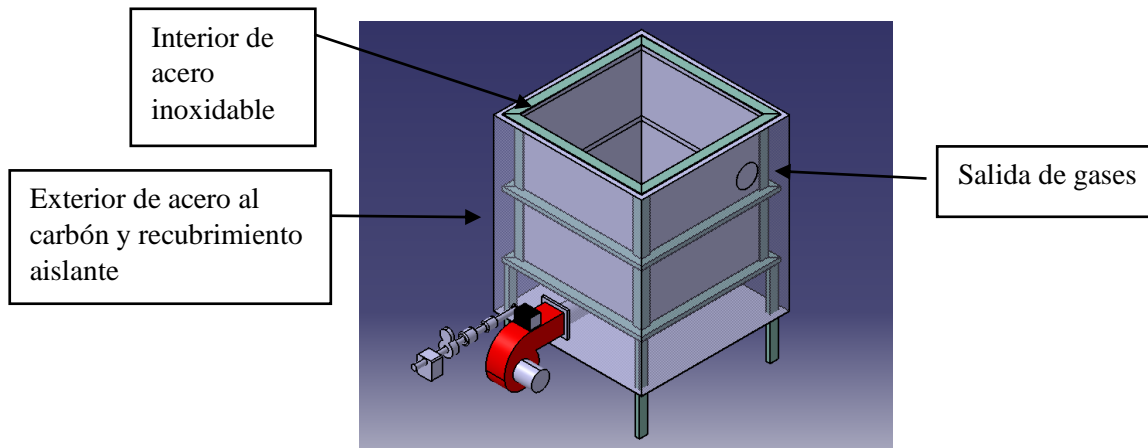


Figura 3.23

El peso de toda la estructura se soportara por cuatro columnas de $80[cm]$ de largo, construidas de tubo estructural $40x80x5.15$ que soldadas en un extremo y fijas en el otro al piso resisten la carga sin pandearse.

Por otro lado, se tendrá en la parte exterior placas de acero al carbón de $0,7[mm]$ de espesor y separadas a $10[cm]$ de la placa interior de acero inoxidable del tanque. De esta manera se posee una cavidad que envuelve sus costados y base al mismo, permitiendo que el aire que se encuentra a unos $300^{\circ}C$ que es forzado por el quemador presurizado (rojo) circule calentando el acero AISI 310 del recipiente mediante el fenómeno de convección forzada de gases.

Una vez calentado el recipiente, calentara el contenido líquido. Se acelerará el proceso mediante la adición de aire comprimido que, con una cañería proveniente de la sala de compresión de la empresa, ingresa al tanque para generar movimiento en el interior y transformar así un fenómeno de convección natural a convección forzada (Aumento del coeficiente de transferencia de calor por convección).

La zona exterior del calentador debe ser revestida con un aislante térmico de tal manera que se disminuyan lo máximo posible las pérdidas de calor hacia el medio. De esta manera le brindamos un mejor confort y seguridad a los operarios de la planta y a su vez se logra disminuir el consumo de combustible. Para esto se escogieron de catálogo y en función de los cálculos pertinentes para lograr una temperatura sobre el aislante de 40°C dos laminas aislante térmico de marca “ISOVER TELISOL” de 100[mm] y 50 [mm] que se colocaran una encima de otra y para fijarlas se envolverá la estructura con una malla de alambre hexagonal conocida como malla “tipo gallinero”.

El dispositivo de calentamiento seleccionado para tal caso es un quemador presurizado, que utiliza como combustible gas natural. Se necesita que este tenga una capacidad mayor a 217[kcal/hr]. De catálogo y en base a los requerimientos térmicos calculados se selecciona un “FENIX CM-25” de 250.000[kcal/hr] y producción argentina. El modelo tiene un sistema electromecánico llamado “Standard ON-OFF” que inicia y detiene su funcionamiento a un nivel de temperatura predeterminado.

Una de las chapas exteriores tendrá un orificio de 200[mm] de diámetro en su lateral para que la descarga de gases de combustión se lleve a cabo. Mediante una tubería se conectaran en serie las salidas de escape (por tal motivo su diámetro es elevado para asegurar la correcta ventilación) de los 3 tanques de calentamiento de manera que el parte del calor que se estaría desperdiciando en los productos de la combustión se reutilice ingresándolos al siguiente deposito a calentar y disminuir el tiempo de trabajo del quemador gracias a esta colaboración.

Con respecto a los otros dos recipientes donde se alojan los enjuagues serán de material plástico PVC ya que no se requiere otra exigencia mayor que alojar solamente el líquido a temperatura ambiente. Se seleccionó de catálogo dos tanques “FERMINGPLAST” vertical de 400 litros de 750[mm] de diámetro y 1060[mm] de alto.

MODELO PROPUESTO PARA LA CABINA DE PINTURA Y SIST. DE APLICACIÓN

Se requiere que la cabina de pintura (Powder booth) y el sistema de aplicación sean acordes el uno con el otro a fin de que el polvo sea adherido en las proporciones adecuadas en toda la superficie y a su vez recuperado por el sistema de recuperación de la cabina.

Se propone una cabina con un sistema de recolección del exceso de polvo en dos etapas a fin de minimizar las pérdidas de pintura. La primera etapa deberá ser un recolector ciclónico (Ciclón) y el segundo un sistema de filtrado.

El aire con polvo será recolectado de la cabina por medio de un ventilador y será forzado a pasar por un ciclón, el cual deberá tener una elevada eficiencia de trabajo y así lograr reducir hasta un 70% el nivel de pintura en el aire. Esta última se dejara caer sobre una tolva en donde el sistema de control de las pistolas succionará de estas cuando el nivel en esta sea máximo para efectuar el vaciado.

Así una vez pasada la primera etapa se llevara el resto de aire con bajo porcentaje de polvo a una cámara de filtrado. Allí una serie de filtros de forma tubular y de algodón, que estarán conectados en paralelo se usara para lograr que el aire quede prácticamente puro sin provocar daños al medio ambiente, operarios, maquinarias, etc. Esto se logrará succionando aire por el interior de este quedando los restos de polvo adheridos a este.

Para que el sistema sea totalmente efectivo, un pulso de aire en contraflujo a la succión y controlado por el procesador de los robot de pintura (estará programado para una cierta frecuencia de tiempo que el usuario requiera) dará un golpe sobre estos tubos de tela para dejar caer las partículas a una nueva tolva que al igual que en el ciclón se recolectara cuando se llegue a su nivel máximo.

En la siguiente figura se muestra el proceso de recolección y recirculación de polvo anteriormente mencionado.

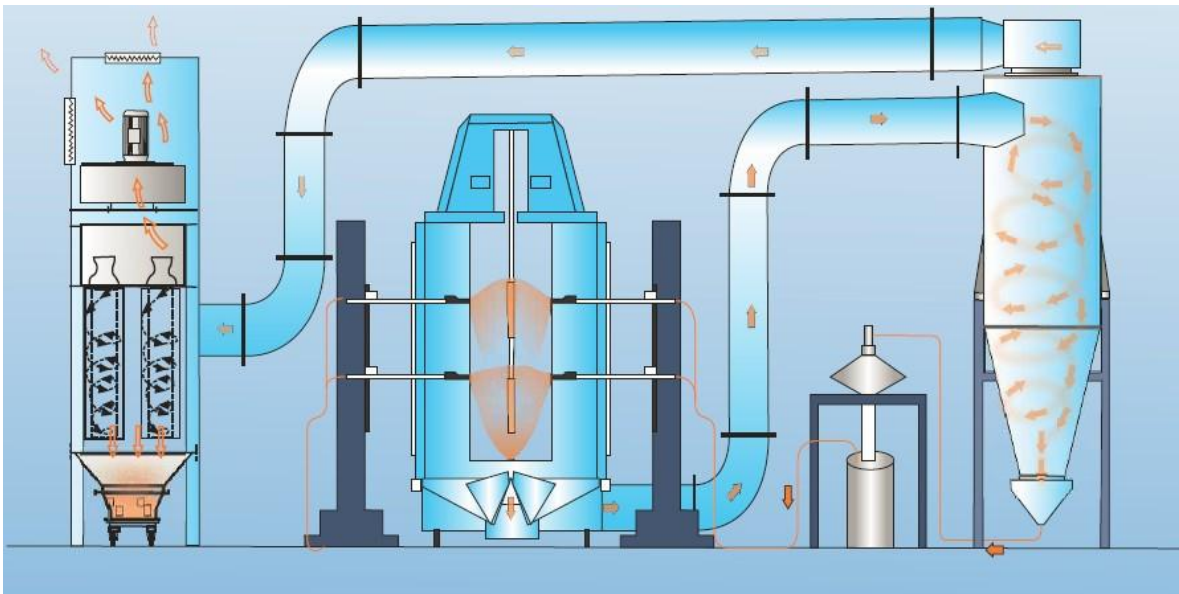


Figura 3.24

Debido a la complejidad del sistema mencionado, la gran dependencia de sistemas electrónicos y necesidad de buscar dispositivos que tengan gran confiabilidad ya que es un elemento muy importante para el correcto funcionamiento de la línea se optó por la opción de seleccionar productos con prestigio en el mercado y accesibles a los costos de la empresa MALI S.R.L.

Se inició la búsqueda de productos de la prestigiosa firma estadounidense Gema, la cual tiene distribuidores oficiales en el país y brinda asesoramiento, líneas completas de pintura en polvo y sus partes por separado (hornos, reciprocadores, cabinas de polvo, etc.). A pesar de ser la recomendada por el su reconocida trayectoria en el tema los presupuestos estaban totalmente inaccesibles para “Mali”, donde rondaban los €300.000 para una línea completa, el cual era excesivamente fuera de los valores que se manejaban de otros proveedores.

Continuando la búsqueda se logró contactar con una empresa de origen chino llamada “Taizhou Xinyue Spraying Equipment Co. Ltd.” que actualmente está exportando a 50 países sus productos como India, Perú, Brasil, Cuba, México, Canadá, Arabia Saudita, Israel, Nigeria, entre otros. Son proveedores de líneas completas de pintura, equipamientos, repuestos y asesoramiento con 24 años de experiencia en el mercado.

En base a nuestros requerimientos y elementos de la línea ya diseñados, estos nos ofrecieron una cabina de pintura con las siguientes características:

1. Cabina de pintura
 - Dimensiones: $L \times W \times H = 6500 \times 1800 \times 3050$ (mm)
 - Las paredes y techo de la cabina son de acero inoxidable AISI 201 de 1,2[mm] de espesor
 - El piso es de acero inoxidable AISI 201 de 1,2[mm] de espesor. Se usa una forma de “U” en la estructura de este. Además se cuenta con un sistema automático de recuperación de polvo
 - Se cuenta con cuatro pistolas automáticas y 1 manual ubicada delante del sistema automático
 - Iluminación fija dual de 40 [w] y sistema refractivo en la zona superior en la cabina
 - Se cuenta con un sistema de detección de pieza para cortar el flujo de polvo cuando esté ausente y eliminar desperdicios.



Figura 3.25

2. Sistema de recuperación de polvo - Separador de ciclón grande
 - Dimensiones: $L \times W \times H = 1,5 \times 1,5 \times 4,6$ [m]
 - Eficiencia de trabajo de 98% y nivel de ruido menor a 85 dB
 - Ciclón construidos de acero inoxidable y recubiertos con pintura por fuera
 - Tamiz de vibración.
 - En la parte inferior se cuenta con una bomba construida de aluminio para la recuperación de polvo que lo envía a un tamiz de vibración.



Figura 3.26

3. Segundo sistema de recuperación de polvo
 - Construido por filtros de cartucho de dimensiones: $L \times W \times H = 1,5 \times 1,5 \times 3,2$ [m]

- Se posee un grupo de 12 cartuchos formado por dos conjuntos de Ø320[mm] x 600[mm] (24 piezas)
- Dispositivo de limpieza, un golpe o impulso de aire en contraflujo a la succión sobre la pared del filtro hace caer el polvo al recuperador
- La máquina usa un controlador programable para cambiar los filtros y programar el tiempo de limpieza
- Los filtros son de algodón a fin de permitir el paso de aire sin restos de pintura a fin de reducir el impacto ambiental.
- Para el dispositivo de limpieza se cuenta además con una válvula de control de impulso, válvula reguladora de presión, etc.
- Ventilador de recuperación de 18,5 Kw



Figura 3.27

4. Movilidad de pistolas
 - Funcionamiento con bajo ruido y larga vida
 - Controladores e inversores universales
 - Controlado por PLC para crear la posición exacta e inversión brindando un funcionamiento muy estable.
 - Finales de carrera arriba y debajo de la cabina para evitar golpes de las pistolas contra la cabina
 - Velocidad de elevación de 0 a 750[mm/seg]
5. Máquina de pulverización de polvo “Xinyue Electrostatic” (10 conjuntos: 8 automáticos y dos manuales)
 - Controlador electrónico:
 - Voltaje de entrada 220-240 V AC
 - Potencia 40 VA
 - Voltaje de salida 12 V AC
 - Frecuencia de salida 10KHz
 - Voltaje del control neumático de 24 V DC
 - Corriente máxima de salida: 0.8 Amper
 - Controlador neumático:
 - Válvula solenoide de control de 24 V DC
 - Entrada de aire: 8 bar

- Pistola de pintura:
 - Voltaje de entrada de 12 V AC
 - Frecuencia 10KHz
 - Corriente de entrada: 0.8 Amper
 - Voltaje de salida: 0-100KV DC
 - Corriente de salida 0,15 mA
 - Cable de conexión de 5m

Este dispositivo propuesto por la firma oriental nos pareció el más adecuado en base a las necesidades que nuestra metalúrgica requiere para la línea de pintura y a su vez por el costo bajo comparado con otras marcas como Gema (EEUU) y Lektra Ingeniera. (Argentina).

A continuación se muestra un cuadro comparativo de los costos requeridos y la conclusión posterior:

Firma	Origen	Valor línea completa	Valor Cabina+ Sistema de apl.
Gema	EEUU	€300000 (±\$5.100.000)	\$ 1.458.000
Lektra	Argentina	-	±\$1.250.000
Taizhou Xinyue Spraying	Taizhoun, Jiangsu- China	USD 135.000(±\$2.050.650)	252.000RMB (\$572.000)

Tabla N°5

Como se observa la tercera opción es la extremadamente más económica (los valores incluyen gastos de envíos) y considerando que proviene de una empresa que si bien no es la pionera a nivel mundial en estos sistemas, está en auge y brinda servicios, insumos y asesoramiento, se la escoge como proveedora del sistema de pulverización y cabina de pintura.

CADENAS Y TROLLEYS

Para la determinación del modelo comercial adecuado se recurrió a un fabricante con reconocimiento a nivel mundial en la fabricación de cadenas y carros como es Renold. Además se utilizó la bibliografía propuesta por el fabricante para su cálculo de donde se obtuvo que la fuerza de arrastre necesaria es de unos 8050,96[N] lo que equivale a unos 820,68[kg]. Con estos valores se propone los siguientes carros transportadores:

Marca Renold, modelo “Extra strenght serie 7000lb” el cual está diseñado para resistir unos 67000[N] y un peso de 2,42[kg/m]. Este mediante dos ruedas rodara a través del perfil IPN 100 utilizándolo como guía para su desplazamiento.

Los carros será traccionados por cadenas acopladas a ellos donde las adecuadas para tal fin son:

Marca Renold de 67000[N], de paso standard de 4” y un peso de 6,43[kg/m]

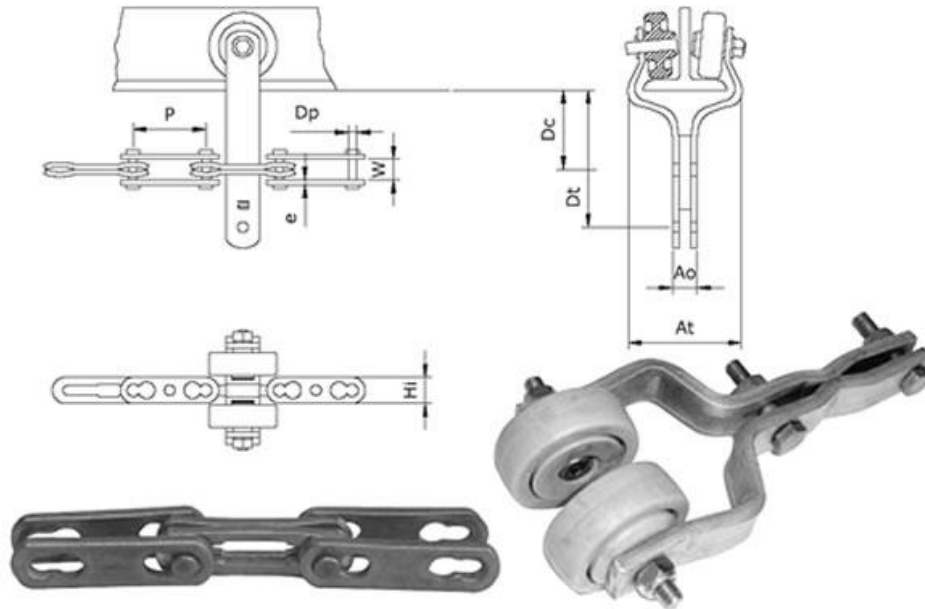


Figura 3.28

En la figura superior se muestra el montaje del trolley y la cadena en el riel de desplazamiento.

LAYOUT FINAL DE LA PLANTA

Considerando que la planta no tiene limitaciones físicas para la instalación de esta nueva línea de pintura, no es un problema mayor ya que se construirá una nueva nave en la misma para la inserción de todos los equipamientos.

La línea cuenta con aproximadamente 120[m] de cadena que será suspendida a 2,8[m] del suelo y sus ángulos máximos de ascenso (o descenso) no exceden los 20° . Esto se debe a que se recomienda no excederse en ángulos de 30° , por lo que decidimos ser un poco más conservativos con ángulos bajos arriesgando que la línea se alargue por tener pendientes bajas.

Las cadenas deben ser tensadas por un dispositivo para tal fin ya que debido a dilataciones por temperaturas, cargas o el propio uso afectaran el funcionamiento si no es corregido.

Con relación a la impulsión de la cadena, se requiere una potencia muy baja (ver cálculos en anexos) para mantener en movimiento la línea cargada debido a que la velocidad es muy baja. A pesar de esto se necesita un motor de empuje de por lo menos $\frac{1}{2}$ Hp para romper con la inercia y vencer los rozamientos en cada trolley al inicio del movimiento de la línea y considerando.

Se propuso una rueda dentada para el eje del cabezal de 8 dientes y un diámetro de 398 [mm] para lo que lógicamente se requiere un numero de revoluciones por minuto bajas de alrededor de 0,33 RPM. El torque sobre esta deberá ser de 1429,6[Nm] o mayor.

La planta tendrá alrededor de 58 metros de largo por 15 metros de ancho, para lo cual sumándole unos 5[m] en cada lado para previsiones extras se requiere una superficie de

68x25[m] obteniendo así una área mínima de 1700[m²]. El alto que se necesita para el galpón debe ser como mínimo de 6[m] de alto y que la zona más alta de la planta (horno) tiene una altura de 5,1[m].

Los radios de giro utilizados son de 1901[mm] para poder lograr que con un perfil completo IPN (6[m]) se haga un semicírculo sin interrupciones; es decir un cambio de sentido en la línea.

En las aristas de la línea se usaron radios de curvatura de 1000[mm] a fin de disminuir los cambios bruscos de dirección.

Para la carga y descarga de las piezas a pintar y pintadas respectivamente se dejó libre 10[m] de la línea para que un operario descuelgue las piezas de la línea y las monte sobre los cestones y otro se encargue de montarlas sobre los colgadores que vienen acoplados en cada trolley.

Los rieles serán construidos de perfil IPN 100 donde se requerirán aproximadamente 120[m] del mismo, necesitando 20 perfiles de 6 metros cada uno para este fin.

Las columnas tendrán 2,8[m] de alto y serán fabricadas de perfil con sección cuadrada de 60x60[mm] y 2[mm] de espesor. En su base se deberá soldar una placa de acero al carbón de 100x100[mm] y 2[mm] (o mayor) de espesor, con 4 perforaciones para poder fijar las columnas al suelo y darle así una relación de empotramiento.

A su vez en el extremo superior se deberá adicionar un tramo corto (perpendicularmente) de unos 45[cm] del mismo perfil formando una especie de “L” invertida, para en la punta del extremo de menor longitud soldar el riel.

En caso de creer conveniente para asegurar más las relaciones de empotramiento se adicionar esquineros en cada tubo construidos de placas de acero al carbón de 3[mm].

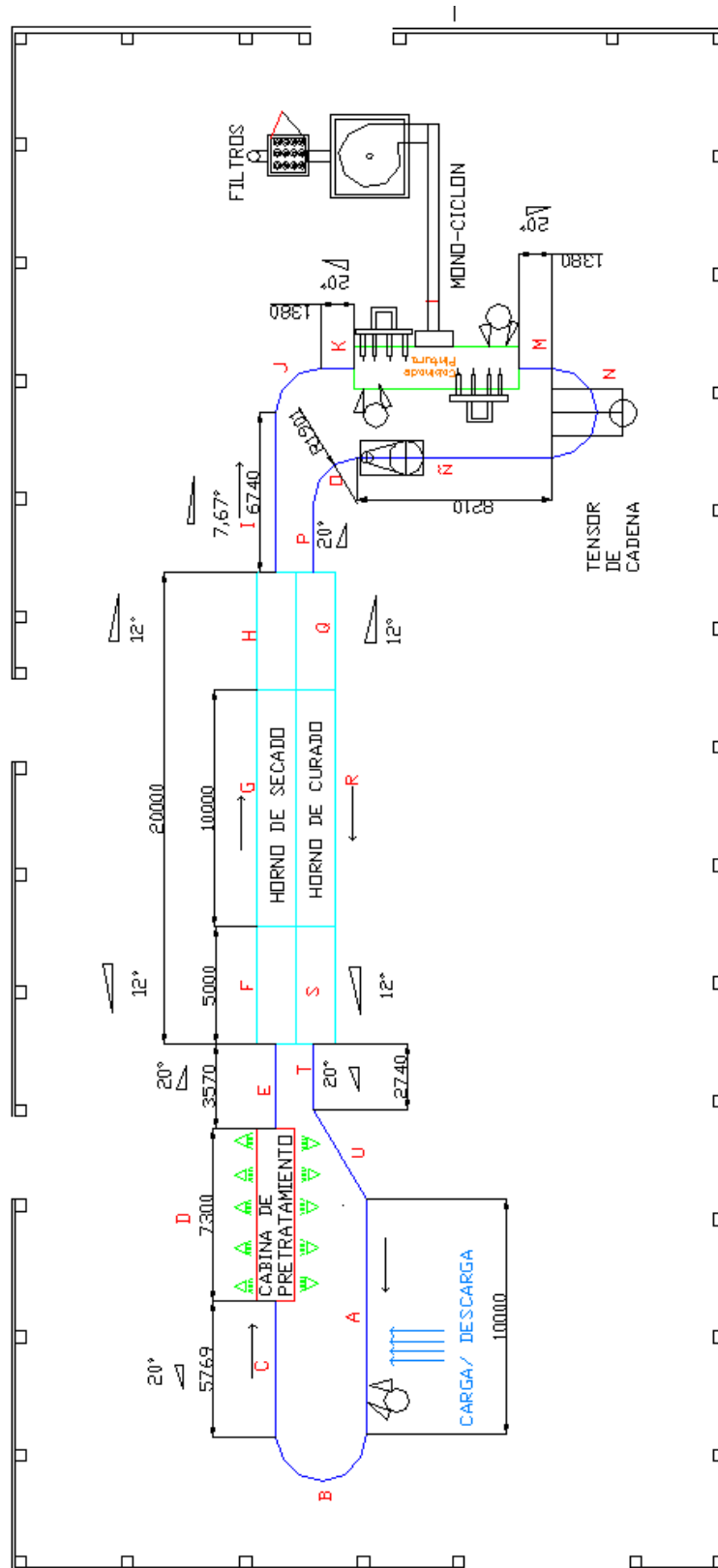


Figura 3.29

CONCLUSIONES

- ❖ Se diseñó un sistema de pintado electrostático para puertas pero con una versatilidad en la planta para pintar distintos tipos de piezas.
- ❖ Los dispositivos de la planta que liberan calor al medio como hornos y sistemas de pulverización, se logró dejarlos elevados del suelo y a una altura superior a la de un operario para mejorar su calidad de vida y habitabilidad en la planta
- ❖ La implantación del sistema aumentara el nivel de producción de la planta con mejor calidad y uniformidad en el pintado.
- ❖ El sistema de pulverización adoptado para el pre-tratamiento brinda el beneficio de aceptar todo tipo de piezas, teniendo como único requisito que cumpla con las dimensiones de la puerta de entrada a la cabina. Además evita el excesivo uso (y posterior recambio cuando se requiera) de líquidos de pre-tratado en casa de usar cubas de inmersión.
- ❖ El diseño logrado en los hornos aumentaran la rentabilidad debido al aprovechamiento del calor en el tabique divisorio y a la utilización de una sola estructura para ambos.
- ❖ Los sistemas de sellos de aire colocados en las rampas de los túneles de secado y curado brindan un ahorro de gas en los quemadores de gas ya que mejora la hermeticidad en estos y a su vez evita el escape brindando un ambiente confortable.
- ❖ Se optó por la opción de la adquisición de la cabina de pintura con su sistema de recolección y robots (reciprocadores) fundamentado por la necesidad de que sea un sistema de confiabilidad ya que es una parte vital de la planta. Además posee una alta dependencia de controladores electrónicos y que estos deben trabajar conjuntamente.
- ❖ La construcción de toda la planta puede ser llevada a cabo sin problemas por el personal de la empresa mediante una distribución adecuada de tareas y capacitación en medidas de seguridad para esta labor.

ANEXOS

CALCULO DE LONGITUDES DEL HORNO

Calculo de longitud de "Rampa de precalentamiento"

Se propone tener un volumen de producción de 25 piezas por hora, las cuales estarán separadas por un metro de distancia. La velocidad de la línea " v_l " será:

$$n = 25 \left[\frac{\text{piezas}}{\text{hr}} \right] \quad d = 1[\text{m}]$$

$$v_l = \frac{n * d}{60[\text{min}]} = 0,42 \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$$

Siendo "n" y "d" el volumen de producción propuesto y la distancia entre perchas en la cadena respectivamente.

La longitud del vestíbulo se determinará en base a la consideración de que las piezas son un sistema concentrado en donde la temperatura es solo función del tiempo y no varía a lo largo del espesor; es decir, es considerada como un "bulto". Por ello:

$$\frac{T(t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = e^{-\frac{hA_s * t}{mC_p}}$$

Dónde:

$T(t)$: Temperatura del cuerpo en un tiempo "t"

T_i : Temperatura inicial del cuerpo

T_{∞} : Temperatura del medio donde se encuentra colocado el cuerpo

h : Coef. de transferencia de calor

m : masa del cuerpo

C_p : Calor especifico del cuerpo

A_s : Area superficial del cuerpo

Supondremos que el vestíbulo tendrá una temperatura promedio $T_{\infty} = 110^{\circ} C$, la pieza inicialmente $T_i = 30^{\circ} C$ y el coeficiente de convección al aire libre $h = 13 \left[\frac{W * m^2}{^{\circ}K} \right]$. Este último es tomado entre el rango propuesto en el libro de Kreith para convección de aire libre.

Además sabemos los datos de la pieza:

$$C_p = 473 \left[\frac{J}{kg^{\circ}K} \right]: \text{Calor especifico del cuerpo}$$

$$A_s = 3,54 [m^2]: \text{Area superficial del cuerpo}$$

$$m = 31,2 [kg]: \text{Masa de la pieza}$$

Teniendo la velocidad de la línea “ v_l ” es necesario calcular el tiempo “ t_I ” para que la pieza alcance una temperatura aproximada a la del vestíbulo (T_∞). Se propone una temperatura final del cuerpo en este tramo cercana a la del vestíbulo de $T(t_I) = 100^\circ C$ Entonces:

$$t_I = \frac{\text{Ln} \left(\frac{T(t_I) - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right)}{-\frac{hA_s}{mC_p}} = \frac{\text{Ln} \left(\frac{100 - 110}{30 - 110} \right)}{-\frac{13 * 3,54}{31,2 * 473}} = 666[\text{seg}] = 11,11[\text{min}]$$

La longitud del vestíbulo donde se llevará a cabo el primer precalentamiento “ $l_{prec. I}$ ” será:

$$l_{prec. I} = v_l * t_I = 0,42 * 11,11 = 4,67 [m] \cong 5[m]$$

Calculo de longitud de “Zona de fin de levantamiento de temperatura”

Una vez que la pieza pasó el túnel de precalentamiento, ingresa a la cabina propiamente dicha y lo hace a una temperatura propuesta de unos $100^\circ C$ aproximadamente. Ahora deberá determinarse la longitud que debe recorrer la pieza para alcanzar la temperatura de curado. Para esto, de igual modo al caso anterior se debe calcular previamente el tiempo necesario “ t_{II} ” para alcanzarla.

Ahora tendremos los siguientes datos:

$T_\infty = 210^\circ C$: La temperatura de establecimiento del horno

$T(t_{II}) = 180^\circ C$: Temperatura que se quiere llegar en el cuerpo

$T_i = 100^\circ C$: Temperatura del cuerpo cuando ingresa a la cabina

$h = 30 \left[\frac{W * m^2}{^\circ K} \right]$: Coeficiente de convección forzada (Ver tabla)

$C_p = 473 \left[\frac{J}{kg^\circ K} \right]$: Calor específico del cuerpo

$A_s = 3,54 [m^2]$: Area superficial del cuerpo

$m = 31,2 [kg]$: Masa de la pieza

$$t_{II} = \frac{\text{Ln} \left(\frac{T(t_{II}) - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right)}{-\frac{hA_s}{mC_p}} = \frac{\text{Ln} \left(\frac{180 - 210}{100 - 210} \right)}{-\frac{30 * 3,54}{31,2 * 473}} = 180[\text{seg}] = 3[\text{min}]$$

La longitud del segundo tramo de precalentamiento será:

$$l_{prec. II} = v_l * t_{II} = 0,42 * 3 = 1,3 [m]$$

Calculo de longitud de “Zona de sostenimiento de temperatura”

Por otro lado el tiempo de proceso de curado requerido por el distribuidor de pintura es $t_{curado} = 15 \text{ min}$ a $180^\circ C$ (Ver hoja de datos en Tabla A.6 del anexo). Considerando la

velocidad de la línea y este tiempo se calcula la longitud del tramo de túnel que se requiere donde la temperatura deberá sostenerse:

$$l_{sost.} = v_l * t_{curado} = 0,42 * 15 = 6,3 [m]$$

Siendo “ $l_{sost.}$ ” La longitud de la zona de sostenimiento de temperatura.

Longitud total

Considerando igual longitud de vestíbulo para precalentamiento y enfriamiento el largo túnel “ l_{total} ” será la suma de las longitudes de cada parte donde:

$$l_{total} = 2 * l_{prec. I} + l_{prec. II} + l_{sost.} = 2 * 5 + 1,3 + 6,3 = 17,6[m]$$

Se adopta una longitud mayor a fin de poder calibrar el horno y en especial la parte final de modo que salga el objeto a temperaturas lo más cercano a la ambiente posible. Entonces:

$$l_{total} = 20[m]$$

CALCULO DE ESPESOR DEL AISLANTE TERMICO DE LOS HORNOS

Para el cálculo de espesores se utilizara el modelo equivalente de resistencias eléctricas en un proceso de transferencia de calor como este en donde se tendrá:

$$\dot{q}_{i-j} = \frac{T_i - T_j}{R_{total i-j}}$$

Esto quiere decir que la razón de transferencia de calor entre dos puntos i y j, sometidos a temperatura T_i y T_j respectivamente es el salto térmico sobre la sumatoria de resistencias equivalentes entre estos puntos. Para nuestro caso particular tenemos convección forzada en el interior del horno, conducción a través de la placa delgada de acero, aislante térmico y placa gruesa, y por último habrá convección al aire libre en la cara exterior de la pared del horno. Esto es aplicable para todas las paredes del horno, a excepción del tabique divisorio que la convección será forzada de ambas caras.

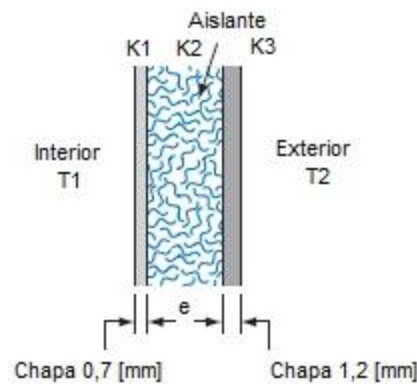


Figura A.1

$$R_{total} = \sum_{i-j} R_i = \frac{1}{h_{int}A} + \frac{e_1}{k_1A} + \frac{e_2}{k_2A} + \frac{e_3}{k_3A} + \frac{1}{h_{ext}A}$$

Dónde:

h_{int} : Coeficiente de convección forzada en el interior del horno

h_{ext} : Coeficiente de convección forzada en el exterior del horno

A : Área de transferencia de calor

e_1 : Espesor de la placa delgada de acero

e_2 : Espesor del aislante

e_3 : Espesor de la placa gruesa de acero

$k_{1,2,3}$: Conductividad térmica de pl. delgada, lana y pl. gruesa respectivamente

Pared exterior Horno Curado

La pared está sometida a convección al aire libre en su cara exterior adoptando un coeficiente de la tabla del libro de “Kreit” de $h_{ext} = 6 \left[\frac{W * m^2}{°K} \right]$. Se adoptó un valor mínimo dentro del rango intentando hacer este cálculo más conservativo.

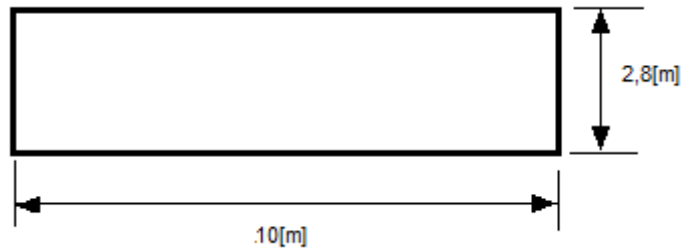


Figura A.2

Datos:

$$h_{ext} = 6 \left[\frac{W * m^2}{°K} \right]$$

$$A = 10 * 2,8 = 28[m^2] \text{ (Área de la pared)}$$

$$T_{\infty 1} = 210°C \text{ (temp. de estabilización del horno de c.)}$$

$$T_{\infty 2} = 40°C \text{ (Temperatura Ambiente)}$$

$$T_2 = 30°C \text{ (Temperatura en la pared exterior)}$$

$$k_{lv} = 0,032 \left[\frac{W}{m°C} \right] \text{ (Conductividad térmica de la lana de vidrio propuesta)}$$

Las temperaturas exterior y de la chapa en su superficie son 30°C y 40°C respectivamente. Por lo tanto la razón de transferencia de calor “ $\dot{q}_{p.ext_Curado}$ ” que se pierde hacia el exterior en esta pared:

$$\dot{q}_{p.ext_Curado} = h_{ext} * A * (T_{\infty 2} - T_2)$$

$$\dot{q}_{p.ext_Curado} = 6 * 10 * 2,8 * (40 - 30) = 1680[W]$$

En base a esto se podrá determinar el espesor del aislante teniendo en cuenta que $T_{\infty 1} = 210^\circ C$, $T_{\infty 2} = 40^\circ C$ y la conductividad térmica de la lana de vidrio es $k_{lv} = 0,032 \left[\frac{W}{m^\circ C} \right]$:

$$e = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) * k_{lv} * A}{\dot{q}_{p.ext_Curado}}$$

$$e = \frac{(210 - 40) * 0,032 * 10 * 2,8}{1680} = 0,0907[m] = 90,7[mm]$$

Por lo tanto se adopta el espesor comercial de 100 [mm].

Pared exterior horno de secado

De igual modo al caso anterior se tienen los siguientes datos:

$$h_{ext} = 6 \left[\frac{W * m^2}{^\circ K} \right]$$

$A = 10 * 2,8 = 28[m^2]$ (Área de la pared)

$T_{\infty 1} = 100^\circ C$ (temp. de estabilizacion del horno de secado)

$T_{\infty 2} = 40^\circ C$ (Temperatura Exterior)

$T_2 = 30^\circ C$ (Temperatura de la chapa exterior)

$k_{lv} = 0,032 \left[\frac{W}{m^\circ C} \right]$ (Conductividad térmica de la lana de vidrio propuesta)

Los valores de h_{ext} , A y k_{lv} se repiten debido a similitud en la pared simétrica antes calculada.

Las temperaturas exterior y de la chapa en su superficie son 30°C y 40°C respectivamente. Por lo tanto la razón de transferencia de calor que se pierde por la pared exterior del horno de secado “ $\dot{q}_{p.ext_Secado}$ ” será:

$$\dot{q}_{p.ext_Secado} = h_{ext} * A * (T_2 - T_{\infty 2})$$

$$\dot{q}_{p.ext_Secado} = 6 * 10 * 2,8 * (40 - 30) = 1680[W]$$

En base a esto se podrá determinar el espesor del aislante:

$$e = \frac{(T_{\infty 1} - T_2) * k * A}{\dot{q}_{p.ext_Secado}}$$

$$e = \frac{(100 - 40) * 0,032 * 10 * 2,8}{1680} = 0,032[m] = 32[mm]$$

Por lo tanto se adopta el espesor comercial de 50 [mm].

Aislante sobre el techo y piso del horno de curado

Se procede de la misma manera considerando un techo 12[m] de largo por 1,5[m] de ancho (medio techo). Cabe destacar que este cálculo tendrá también validez para determinar el aislante del piso ya que tiene iguales condiciones y dimensiones. Se tiene las siguientes medidas en la placa:

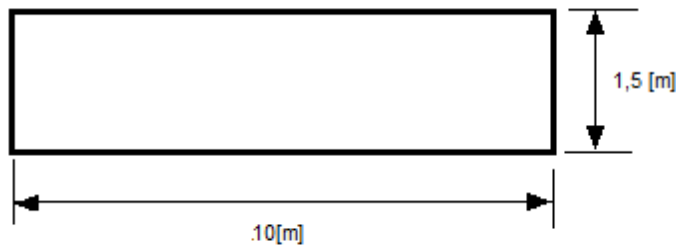


Figura A.3

Datos:

$$h_{ext} = 6 \left[\frac{W * m^2}{^{\circ}K} \right] \text{ Coeficiente de transferencia de calor}$$

$$A = 10 * 1,5 = 15[m^2] \text{ (Área del techo)}$$

$$T_{\infty 1} = 210^{\circ}C \text{ (Temp. De estabilización del horno de curado)}$$

$$T_{\infty 2} = 30^{\circ}C \text{ (Temperatura Exterior)}$$

$$T_2 = 40^{\circ}C \text{ (Temperatura de la chapa exterior)}$$

$$k_{lv} = 0,032 \left[\frac{W}{m^{\circ}C} \right] \text{ (Conductividad térmica de la lana de vidrio propuesta)}$$

La razón de la transferencia de calor perdido para el techo y el piso “ $\dot{q}_{techo/piso_Curado}$ ” será entonces:

$$\dot{q}_{techo/piso_Curado} = h_{ext} * A * (T_2 - T_{\infty 2})$$

$$\dot{q}_{techo/piso_Curado} = 6 * 10 * 1,5 * (40 - 30) = 900[W]$$

El espesor de aislante se calcula como:

$$e = \frac{(T_{\infty 1} - T_2) * k_{lv} * A}{\dot{q}_{techo/piso_{Curado}}}$$
$$e = \frac{(210 - 40) * 0,032 * 10 * 1,5}{900} = 0,0907[m] = 90,7[mm]$$

Por lo tanto se adopta el espesor comercial de 100 [mm].

Aislante sobre el techo del horno de secado

Sobre la mitad de techo sin calcular se determina el espesor de aislante, teniendo en cuenta que el secado se estabiliza a una temperatura de unos 100°C aproximadamente. Se repiten los cálculos teniendo en cuenta que también será válido para aislar el piso. Las dimensiones de la placa son:

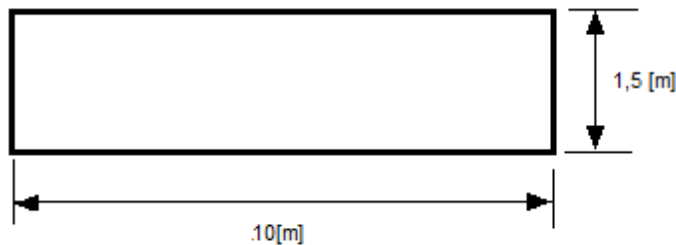


Figura A.4

Datos:

$$h_{ext} = 6 \left[\frac{W * m^2}{^{\circ}K} \right] \text{ (Coeficiente de transferencia de calor)}$$

$$A = 10 * 1,5 = 15[m^2] \text{ (Área del piso de secado)}$$

$$T_{\infty 1} = 100^{\circ}C \text{ (Temperatura de estabilización el horno de secado)}$$

$$T_2 = 40^{\circ}C \text{ T}$$

$$T_{\infty 2} = 30^{\circ}C \text{ (Temperatura exterior)}$$

$$k_{lv} = 0,032 \left[\frac{W}{m^{\circ}C} \right]$$

La razón de transferencia de calor perdido por el techo/piso del horno de secado será entonces:

$$\dot{q}_{techo/piso_{Secado}} = h_{ext} * A * (T_2 - T_{\infty 2})$$

$$\dot{q}_{techo/piso_{Secado}} = 6 * 10 * 1,5 * (40 - 30) = 900[W]$$

El espesor de aislante se calcula como:

$$e = \frac{(T_{\infty 1} - T_2) * k_{lv} * A}{\dot{q}_{techo/piso_{Secado}}}$$

$$e = \frac{(100 - 40) * 0,032 * 10 * 1,5}{900} = 0,032[m] = 32[mm]$$

Por lo tanto se adopta el espesor comercial de 50 [mm].

Aislante sobre el tabique divisorio

Sera necesario calcular el calor perdido por el tabique y para ellos por estar dentro del horno dividiéndolo en dos mitades se tendrá convección forzada donde se propone de tabla un coeficiente de convección $h = 100 \left[\frac{W * m^2}{\text{°K}} \right]$. Para hallar el calor perdido se dispone de un cambio de temperatura de 1°C entre el ambiente convectivo y la placa de acero.

Las dimensiones del panel de división son:

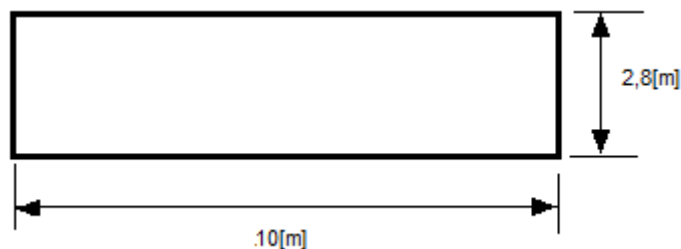


Figura A.5

Datos:

$$h = 100 \left[\frac{W * m^2}{\text{°K}} \right] \text{ (Coeficiente de transferencia de calor por convección)}$$

$$A = 10 * 2,8 = 28[m^2] \text{ (Área de la placa)}$$

$$T_{\infty 1} = 100^{\circ}C \text{ (Temperatura de estabilización del horno de secado)}$$

$$T_1 = 99^{\circ}C \text{ (Temperatura de la chapa interior en el horno de secado)}$$

$$T_2 = 180^{\circ}C \text{ (Temperatura de la chapa en el horno de curado)}$$

$$k_{lv} = 0,032 \left[\frac{W}{m^{\circ}C} \right] \text{ (Conductividad térmica de la lana de vidrio)}$$

La razón de transferencia de calor perdido a través del panel divisorio “ $\dot{q}_{Divisorio}$ ” será entonces:

$$\dot{q}_{Divisorio} = h * A * (T_{\infty 1} - T_1)$$

$$\dot{q}_{Divisorio} = 100 * 10 * 2,8 * (100 - 99) = 2800[W]$$

El espesor de aislante se calcula como:

$$e = \frac{(T_2 - T_1) * k * A}{\dot{q}_{Divisorio}}$$

$$e = \frac{(180 - 90) * 0,032 * 10 * 2,8}{2800} = 0,029[m] = 29[mm]$$

Por lo tanto se adopta el espesor comercial de 50 [mm].

PERDIDAS DE CALOR EN EL HORNO

Perdida de calor por la puerta del horno de curado

El calor que se escapa de las puertas es calculado como perdidas, pero como se mencionó serán aprovechados para el pre-calentamiento enfriamiento suave de las piezas en los extremos del horno.

Datos:

$$h = 100 \left[\frac{W * m^2}{^{\circ}K} \right] \text{ (Coeficiente de transferencia de calor por convección)}$$

$$A = 1 * 2,2 + 0,25 * 0,6 = 2,35[m^2] \text{ (Área de la puerta)}$$

$$T_{vestibulo} = 110^{\circ}C \text{ (Temperatura del vestíbulo de precalentamiento de curado)}$$

$$T_{horno c.} = 210^{\circ}C \text{ (Temperatura de estabilización del horno de curado)}$$

Las dimensiones de la puerta se muestran en el siguiente esquema ilustrativo:

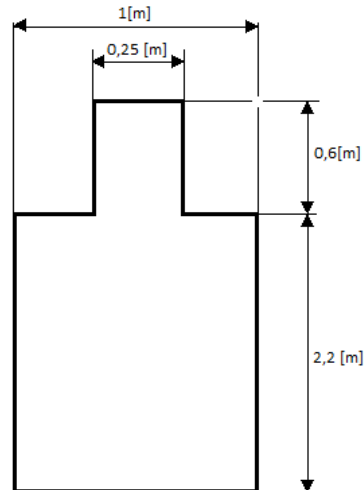


Figura A.6

La razón de transferencia de calor perdido por puerta “ $q_{puerta_{Curado}}$ ” será entonces:

$$q_{puerta_{Curado}} = h * A * (T_{horno} - T_{vestibulo})$$

$$q_{puerta_{Curado}} = 100 * 2,35 * (210 - 110) = 23500[W]$$

Como son dos puertas el calor que se pierde por estas es el doble:

$$q_{puerta_{Curado}} = 2 * 23500 = 47000[W]$$

Perdida de calor por la puerta del horno de secado

De similar manera para el horno de secado:

Datos:

$$h = 100 \left[\frac{W * m^2}{^\circ K} \right] \text{ (Coeficiente de transferencia de calor por convección)}$$

$$A = 1 * 2,2 + 0,25 * 0,6 = 2,35[m^2] \text{ (Área de la puerta)}$$

$$T_{vestibulo} = 50^\circ C \text{ (Temperatura del vestíbulo de precalentamiento de secado)}$$

$$T_{horno.s.} = 100^\circ C \text{ (Temperatura de estabilización del horno de secado)}$$

Entonces la razón de transferencia de calor a través de las puertas del horno de secado será:

$$q_{puerta_{secado}} = h * A * (T_{horno.s.} - T_{vestibulo}) = 100 * 2,35 * (100 - 50)$$

$$q_{puerta_{secado}} = 11750[W]$$

Como se tiene 2 puertas:

$$q_{puerta_{secado}} = 2 * 11750 = 23000[W]$$

Perdida de calor por el tubo de la chimenea

Datos:

$$h = 100 \left[\frac{W \cdot m^2}{^\circ K} \right] \text{ (Coeficiente de transferencia de calor por convección)}$$

$$r = 0,16[m] \text{ (Radio del tubo de chimenea)}$$

$$l = 2[m] \text{ (Longitud de la chimenea)}$$

$$A = 2\pi * r * l = 2\pi * 0,16 * 2 = 2,01[m^2] \text{ (Área de la chimenea)}$$

$$T_{gases} = 210^\circ C \text{ (Temperatura de los gases de escape aproximada)}$$

$$T_{ext} = 30^\circ C \text{ (Temperatura ambiente)}$$

La razón de transferencia de calor perdido por la chimenea del túnel de curado

“ $q_{chimenea_C}$ ” será entonces:

$$q_{chimenea_C} = h * A * (T_{gases} - T_{ext})$$

$$q_{chimenea_C} = 100 * 2,01 * (210 - 30) = 36180[W]$$

De igual manera en la chimenea del túnel de secado donde se tendrá una temperatura de gases de $100^\circ C$ aproximadamente y una razón de transferencia de calor “ $q_{chimenea_{Sec}}$ ”

$$q_{chimenea_{Sec}} = h * A * (T_{gases} - T_{ext})$$

$$q_{chimenea_{Sec}} = 100 * 2,01 * (100 - 30) = 12060[W]$$

Perdidas de calor en las paredes de la cámara de combustión

Las cámaras de combustión, tanto para el horno de curado, como para el horno de secado tendrán las mismas dimensiones que son $1[m] \times 1[m] \times 0,7 [m]$. La misma como se dijo será aislada con $100[mm]$ de lana de vidrio para lo cual aquí se verificara su correcto aislamiento térmico para tal espesor

Para el cálculo de las pérdidas de calor se tiene los siguientes datos:

$$T_{ext} = 30^\circ C \text{ (Temperatura ambiente)}$$

$$T_{pared\ ext} = 40^\circ C \text{ (Temperatura de la pared exterior de la cámara)}$$

$$T_{\infty} = 210^\circ C \text{ (Temperatura de estabilizacion del horno de curado)}$$

$$A = 3,8[m^2] \text{ (Area de la camara)}$$

$$h_{ext} = 6 \left[\frac{W \cdot m^2}{^\circ K} \right] \text{ (Coeficiente de transferencia de calor externo)}$$

$$h = 100 \left[\frac{W \cdot m^2}{^\circ K} \right] \text{ (Coeficiente de transferencia de calor interno)}$$

$$k_{lv} = 0,032 \left[\frac{W}{m^\circ C} \right] \text{ (Conductividad térmica de la lana de vidrio)}$$

$$k_{ac} = 0,153 \left[\frac{W}{m^\circ C} \right] \text{ (Conductividad térmica del acero)}$$

$$e_{lv} = 100 [mm] \text{ (Espesor de la lana de vidrio)}$$

$$e_{acero} = 1,2 [mm] \text{ (Espesor de la placa de acero)}$$

Entonces el calor perdido a través de las paredes de las cámaras de combustión

“ $\dot{q}_{perdido\ cam}$ ” es:

$$\dot{q}_{perdido\ cam} = h_{ext} * A * (T_{pared\ ext} - T_{ext}) = 6 * 3,8 * (40 - 30) = 228 [W]$$

Para verificar que la temperatura de la pared de la cámara es la prevista ($T_{pared\ ext} = 40^\circ C$) se hace el siguiente cálculo:

$$T_{pared\ ext} = T_{\infty} - \frac{\dot{q}_{perdido\ cam}}{A} \left(\frac{1}{h} + \frac{e_{acero}}{k_{ac}} + \frac{e_{lv}}{k_{lv}} + \frac{1}{h_{ext}} \right)$$

$$T_{pared\ ext} = 210 - \frac{228}{3,8} \left(\frac{1}{100} + \frac{1,2 \times 10^{-3}}{0,153} + \frac{0,1}{0,032} + \frac{1}{6} \right)$$

$$T_{pared\ ext} = 12^\circ$$

Por lo tanto se verifica que está cerca de la propuesta y no se excede.

Pérdidas totales

Usando la misma notación anterior podemos obtener las pérdidas de calor en cada túnel siendo para curado y secado “ $\dot{q}_{p\ total\ curado}$ ” y “ $\dot{q}_{p\ total\ Sec}$ ” respectivamente

Horno de curado:

$$\dot{q}_{p\ total\ curado} = \dot{q}_{puerta\ Curado} + \dot{q}_{chimenea} + \dot{q}_{Divisorio} + \dot{q}_{techo/piso\ Curado} + \dot{q}_{p.ext\ Curado}$$

$$\dot{q}_{p\ total\ curado} = 47000 + 36180 + 3360 + 1080 + 2016$$

$$\dot{q}_{p\ total\ curado} = 89,64 [KW]$$

Horno de secado:

$$\dot{q}_{p\ total\ Sec} = \dot{q}_{puerta\ Sec} + \dot{q}_{chimenea\ Sec} - \dot{q}_{Divisorio} + \dot{q}_{techo/piso\ Secado} + \dot{q}_{p.ext\ Secado}$$

$$\dot{q}_{p\ total\ Sec} = 23000 + 12060 - 3360 + 1080 + 2016$$

$$\dot{q}_{p\ total\ Sec} = 34,8 [KW]$$

CALCULO DE LA RAZON DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN HORNOS

Calor necesario para calentar las piezas

Como cada pieza posee una masa de 32 [kg] y dentro del horno podrán entrar 10 se tendrá que calcular el aporte de calor necesario para calentarlas.

$$m = 32[kg] * 10 = 320[kg]$$

Entonces la masa por unidad de tiempo que ingresa al horno será:

$$\dot{m} = 32[kg] * 25 \left[\frac{piezas}{hr} \right] = 780 \left[\frac{kg}{hr} \right]$$

Y sabiendo que el calor específico de la carga es $c_p = 470 \left[\frac{J}{kg^{\circ}C} \right]$ y que el rango de temperatura es de 30°C en que se encuentra en el ambiente hasta aproximadamente 180°C de temperatura de curado, entonces la razón de transferencia de calor necesaria es:

$$\dot{q}_{piezas} = \dot{m} * c_p * \Delta T$$

Y la razón de transferencia de calor necesaria para calentar las piezas en el horno de curado “ $\dot{q}_{piezas_{hc}}$ ” será:

$$\dot{q}_{piezas_{hc}} = \frac{780 * 470 * (180 - 30)}{1000 * 3600} = 15,27 [KW]$$

Para calentarlas en el horno de secado donde se elevara su temperatura hasta aproximadamente 90°C la razón de transferencia de calor es:

$$\dot{q}_{piezas_{hs}} = \frac{780 * 470 * (90 - 30)}{1000 * 3600} = 6,11 [KW]$$

Calor necesario para calentar la cadena y trolleys

La cadena y sus carros se encontraran a temperatura ambiente cuando ingrese al horno por lo tanto esta también tomará parte del calor del horno hasta alcanzar la temperatura de trabajo.

A fines prácticos se va a suponer un peso promedio de la cadena y de trolleys y se los considerará de acero. Entonces se tiene los siguientes datos:

$$m = 14 \left[\frac{kg}{m} \right] \text{ (Masa total propuesta para carros y cadenas por unidad de longitud)}$$

$$c_p = 470 \left[\frac{J}{kg^{\circ}C} \right] \text{ (Calor específico)}$$

$$T_{ingreso} = 30^{\circ}C \text{ (Temperatura de ingreso de cadenas y carros al túnel)}$$

$$T_{final} = 180^{\circ}C \text{ (Temperatura de final de cadenas y carros al túnel)}$$

$$v_l = 0,42 \left[\frac{m}{min} \right] \text{ (Velocidad de la línea)}$$

La masa por unidad de tiempo “ \dot{m} ” de estos objetos se puede calcular como el producto de masa total por unidad de longitud por la velocidad de la línea

$$\dot{m} = 14 * 0,42 = 5,88 \left[\frac{kg}{min} \right]$$

Entonces:

$$\dot{q}_{c+t} = \dot{m} * c_p * \Delta T$$

Donde “ \dot{q}_{c+t} ” denota la razón de transferencia de calor que se necesitará para calentar las cadenas y los carros. Entonces para el curado:

$$\dot{q}_{c+t_c} = \frac{5,89 * 470 * (180 - 30)}{60} = 6920 [W]$$

De igual forma para el horno de secado:

$$\dot{q}_{c+t_{sec}} = \frac{5,89 * 470 * (90 - 30)}{60} = 2768 [W]$$

Donde cada notación corresponde al curado y al secado respectivamente.

Calor necesario para calentar paredes, techo y piso

Aquí solo será necesario calentar la chapa interior del horno ya que la lana de vidrio tiene como función aislar variando poco su temperatura a través de ella y la chapa exterior de acero se mantendrá prácticamente a temperatura ambiente. Datos:

$e = 0,7mm$ (Espesor de la chapa interior)

$c_p = 470 \left[\frac{J}{kg^{\circ}C} \right]$ (Calor específico de la chapa)

$T_{inicial} = 30^{\circ}C$ (Temperatura inicial de la chapa)

$T_{final} = 180^{\circ}C$ (Temperatura final de la chapa)

$\delta_{chapa} = 7850 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ (Densidad del acero)

$h = 100 \left[\frac{W * m^2}{^{\circ}K} \right]$ (Coeficiente de transferencia de calor por convección)

El área de calentamiento será el doble del área de la placa lateral más el doble del área del techo (Ya que son simétricos los lados):

$$A = A_{lat} * 2 + 2 * A_{techo} = 33,6 * 2 + 2 * 18 = 103,2 [m^2]$$

La masa de chapa a calentar será:

$$m = \delta_{chapa} * volumen = 7850 * 103,2 * 7 \times 10^{-4} = 567 [kg]$$

Considerando un lapso de calentamiento hasta su temperatura de trabajo de 12 minutos (720 segundos) el calor que absorberán las paredes para elevar su temperatura será:

$$\dot{q}_{paredes_{Cur}} = \frac{m * c_p * \Delta T}{t} = \frac{567 * 470 * (180 - 30)}{720} = 55,5[KW]$$

Para las paredes del horno de secado se propone un tiempo de calentamiento de 10 minutos (600 segundos) hasta llegar a la temperatura de 90°C por lo tanto:

$$\dot{q}_{paredes_{Secado}} = \frac{m * c_p * \Delta T}{t} = \frac{567 * 470 * (100 - 30)}{600} = 31,09[KW]$$

Calor necesario para calentar el aire de infiltración

Se dispone a calcular que calor se requiere para calcular la constante infiltración en los sellos y para esto se considerará que por cada portal ingresa $250 \left[\frac{m^3}{hr} \right]$ de aire a condiciones estándar. De tabla se obtiene que:

$$T_0 = 30^\circ C \text{ (Temperatura de ingreso del aire)}$$

$$T_f = 180^\circ C \text{ (Temperatura final del aire)}$$

$$C_{p_{30^\circ C}} = 1007 \left[\frac{J}{kg^\circ C} \right] \text{ (Calor específico del aire a } 30^\circ C)$$

$$\delta_{30^\circ C} = 1,164 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \text{ (Densidad del aire a } 30^\circ C)$$

Por lo tanto la masa de aire por unidad de tiempo se puede calcular como:

$$\dot{m} = 250 \left[\frac{m^3}{hr} \right] * 1,164 \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 291 \left[\frac{kg}{hr} \right]$$

Entonces la razón de transferencia de calor necesaria para elevar la temperatura del aire de infiltración es:

$$\dot{q}_{infiltr.} = \dot{m} * c_p * \Delta T$$

Por lo tanto para el salto térmico propuesto en el horno de curado se tiene:

$$\dot{q}_{infiltr. Curado} = \frac{291 * 1007 * (180 - 30)}{3600 * 1000} = 12,21[KW]$$

Y para la otra mitad del horno:

$$\dot{q}_{infiltr. Sec} = \frac{291 * 1007 * (100 - 30)}{3600 * 1000} = 4,88[KW]$$

Calor necesario para calentar el aire en la cámara (en régimen del horno de curado)

Una vez que el horno rompió con su inercia térmica y entro en régimen es necesario mantener esa temperatura del horno constantemente, para ello el aire que se recircula de la zona alta del horno que se encuentra a aproximadamente 190 °C debe ser recalentado hasta la temperatura de estabilización de 210°C.

Se procede a calcular el calor necesario para mantener el régimen “ $\dot{q}_{reg_{Curado}}$ ” con los siguientes datos:

$$T_0 = 190^\circ C \text{ (Temperatura de ingreso del aire a recalentar)}$$

$$T_f = 210^\circ C \text{ (Temperatura final del aire)}$$

$$C_{p_{190^\circ C}} = 746 \left[\frac{J}{kg^\circ C} \right] \text{ (Calor específico del aire a } 190^\circ C)$$

$$\delta_{190^\circ C} = 1,023 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \text{ (Densidad del aire a } 190^\circ C)$$

$$V_{cam} = 0,7 [m^3] \text{ (Volumen de la cámara)}$$

$$V_{tunel} = 42 [m^3] \text{ (Volumen del túnel)}$$

$$Q_{aire} = 316 \left[\frac{m^3}{min} \right] \text{ (Caudal de aire del forzador)}$$

Por lo tanto la masa de aire se puede calcular como:

$$m_{190^\circ} = \delta_{190^\circ C} * V_{cam} = 0,716 [kg]$$

Entonces el calor necesario para elevar la temperatura del aire es:

$$q_{reg_{Curado}} = m_{190^\circ} * C_{p_{190^\circ C}} * \Delta T$$

Por lo tanto para el salto térmico propuesto en el horno de curado se tiene:

$$q_{reg_{Curado}} = 0,716 * 746 * (210 - 190) = 10,682 [KJ]$$

Como se posee un forzador de $316 [m^3/min]$ y se sabe que el túnel tiene $42 m^3$, entonces se necesitarán aproximadamente 8 segundos para que circule todo el volumen de aire del horno por la cámara. Entonces la razón de transferencia de calor necesaria para que se pueda mantener el régimen en el horno de curado es:

$$\dot{q}_{reg_{Curado}} = \frac{10682}{8} = 1,3 [KW]$$

Calor necesario para calentar el aire en la cámara (en régimen del horno de secado)

De igual modo al caso anterior se procede a calcular el calor necesario para mantener el régimen en el secado “ $\dot{q}_{reg_{Secado}}$ ” con los siguientes datos:

$$T_0 = 90^\circ C \text{ (Temperatura de ingreso del aire a recalentar)}$$

$$T_f = 100^\circ C \text{ (Temperatura final del aire)}$$

$$C_{p_{90^\circ C}} = 1008 \left[\frac{J}{kg^\circ C} \right] \text{ (Calor específico del aire a } 190^\circ C)$$

$$\delta_{90^\circ C} = 0,9718 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \text{ (Densidad del aire a } 190^\circ C)$$

$V_{cam} = 0,7 [m^3]$ (Volumen de la cámara)

$V_{tunel} = 42 [m^3]$ (Volumen del túnel)

$Q_{aire} = 316 [\frac{m^3}{min}]$ (Caudal de aire del forzador)

Por lo tanto la masa de aire se puede calcular como:

$$m_{90^\circ} = \delta_{90^\circ C} * V_{cam} = 0,68[kg]$$

Entonces el calor necesario para elevar la temperatura del aire es:

$$q_{reg_secado} = m_{90^\circ} * C_{p_{90^\circ C}} * \Delta T$$

Por lo tanto para el salto térmico propuesto en el horno de curado se tiene:

$$q_{reg_secado} = 0,68 * 1008 * (100 - 90) = 6,86[KJ]$$

Para los 8 segundos que se calculó anteriormente que le lleva circular todo el aire se tiene la razón de transferencia de calor en régimen para el secado " \dot{q}_{reg_secado} ":

$$\dot{q}_{reg_secado} = \frac{6857}{8} = 0,86[KW]$$

CARGAS TERMICAS EN LOS HORNOS

Cargas térmicas para el curado

Usando la notación antes descripta se puede obtener la carga térmica total a fin de poder seleccionar el quemador correcto, entonces:

$$\dot{Q}_{curado} = \dot{q}_{p\ total_curado} + \dot{q}_{piezas_{hc}} + \dot{q}_{c+t_c} + \dot{q}_{paredes_{Cur}} + \dot{q}_{infiltr._curado} + \dot{q}_{reg_curado}$$

\dot{Q}_{curado} : Razón de transferencia de calor total en el curado

$\dot{q}_{p\ total_curado}$: Razón de transferencia de calor total por pérdidas en el curado

$\dot{q}_{piezas_{hc}}$: Razón de transferencia de calor necesaria para calentar las piezas en el curado

\dot{q}_{c+t_c} : Razón de transferencia de calor necesaria para calentar cadenas y carros en el curado

$\dot{q}_{paredes_{Cur}}$: Razón de transferencia de calor necesaria para calentar techo, paredes y piso en el curado

$\dot{q}_{infiltr._curado}$: Razón de transferencia de calor necesaria para calentar el aire de infiltración en el curado

\dot{q}_{reg_curado} : Razón de transferencia de calor necesaria para mantener la temperatura del horno en el curado

$$\dot{Q}_{curado} = 89,64 + 15,27 + 6,92 + 55,5 + 12,21 + 1,3 = 180,85 [kW]$$

Haciendo un cambio de unidades se tiene que:

$$\dot{Q}_{curado} = 155.000 \left[\frac{kcal}{hr} \right]$$

Cargas térmicas para el secado

Usando la notación antes descripta se puede obtener la carga térmica total a fin de poder seleccionar el quemador correcto, entonces:

$$\dot{Q}_{Secado} = \dot{q}_{p\ total\ secado} + \dot{q}_{piezas_{hs}} + \dot{q}_{c+t_S} + \dot{q}_{paredes_{Sec}} + \dot{q}_{infiltr.\ Secado} + \dot{q}_{reg_{Secado}} - \dot{q}_{chimenea_C}$$

Donde se tiene que:

\dot{Q}_{Secado} : Razón de transferencia de calor total en el secado

$\dot{q}_{p\ total\ secado}$: Razón de transferencia de calor total por pérdidas en el secado

$\dot{q}_{piezas_{hs}}$: Razón de transferencia de calor necesaria para calentar las piezas en el secado

\dot{q}_{c+t_S} : Razón de transferencia de calor necesaria para calentar cadenas y carros en el secado

$\dot{q}_{paredes_{Sec}}$: Razón de transferencia de calor necesaria para calentar techo, paredes y piso en el secado

$\dot{q}_{infiltr.\ Secado}$: Razón de transferencia de calor necesaria para calentar el aire de infiltración en el Secado

$\dot{q}_{reg_{Secado}}$: Razón de transferencia de calor necesaria para mantener la temperatura del horno en el Secado

$\dot{q}_{chimenea_C}$: Razón de transferencia de calor por la chimenea de curado

Cabe aclarar que el término “ $\dot{q}_{chimenea_C}$ ” que se resta en la ecuación es debido a que se aprovechara el calor que se debería liberar por la chimenea de curado, haciéndolo ingresar a la cabina de secado. Esto nos beneficiara a la hora de elegir un quemador más pequeño y por lo tanto un menor de gas.

$$\dot{Q}_{Secado} = 34,8 + 6,11 + 2,768 + 31,09 + 4,88 + 0,86 - 36,18 = 44,33 [kW]$$

Haciendo un cambio de unidades se tiene que:

$$\dot{Q}_{Secado} = 38.200 \left[\frac{kcal}{hr} \right]$$

CALCULO ESTRUCTURAL DE LOS HORNOS

Para realizar este análisis se tendrá en cuenta que la carga de los paredes, aislantes, piezas, línea de riel, etcétera se trasladara por medios de los arcos a la base por lo tanto se puede

considerar que a lo largo de la estructura el peso se distribuye uniforme ya que no hay grandes variaciones en la geometría ni carga. A lo ancho de esta se puede ver que el peso que soporta es solamente el del piso.

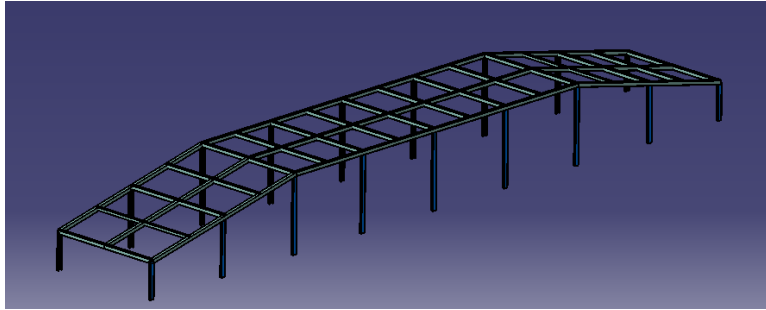


Figura A.7

Para iniciar los cálculos se deberá calcular los pesos de toda la estructura sobre la base:

Peso del perfil IPN-100

Como se mencionó, el túnel será compuesto por 17 especie de arcos, construidos por perfiles IPN-100, que soportaran el peso de la carga y a su vez conformaran la estructura de los hornos.

Las dimensiones en metros de los arcos serán:

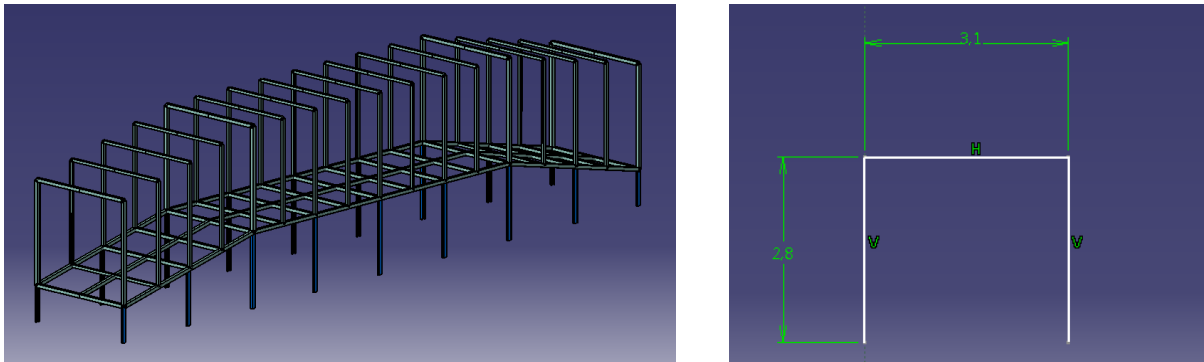


Figura A.8

Considerando el peso del perfil $p = 8.53 \left[\frac{kg}{m} \right]$ y que son 17 arcos, el peso total de estos será:

$$P_{arcos} = (2.8 + 3.1 + 2.8)[m] * 8.53 \left[\frac{kg}{m} \right] * 17 = 1261.58 [kg]$$

Por otro lado el riel que compone la línea será también de igual perfil al de los arcos con las siguientes dimensiones en metros:

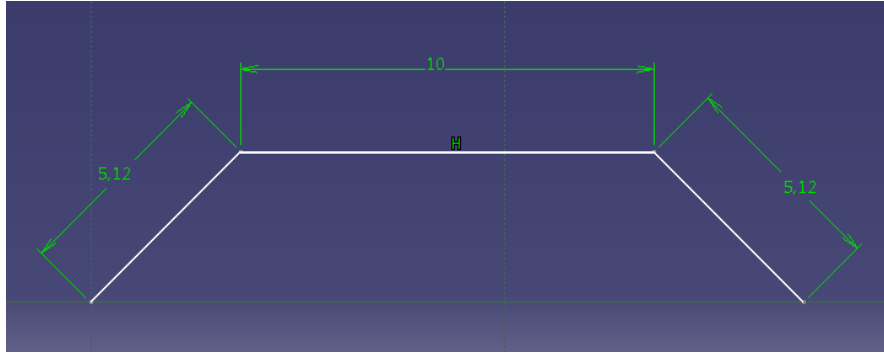


Figura A.9

De igual modo el peso de esta será;

$$P_{línea} = (5.12 + 10 + 5.12)[m] * 8.53 \left[\frac{kg}{m} \right] * 2 = 345.29 [kg]$$

El peso de todos los perfiles IPN-100 “ $P_{IPN-100}$ ” va a ser la suma del que pertenece a los 16 arcos y el de las dos líneas del túnel (curado y secado). Por lo tanto:

$$P_{IPN-100} = P_{arcos} + P_{línea} = 1261.58 [kg] + 345.29 [kg] = 1606.88 [kg]$$

Peso de las piezas

Como son 20 piezas y cada una de estas pesa 32[kg] se tendrá que el peso total es:

$$P_{piezas} = 20 * 32 [kg] = 640 [kg]$$

Peso del aislante térmico

Los datos aportados por el fabricante nos indica que la lana seleccionada posee densidad $\delta = 60 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$, entonces basándonos en las dimensiones y espesores calculados podremos obtener los siguientes pesos:

Lateral del horno de curado: habiendo calculado para este sector un espesor de aislante de $e = 100 [mm]$ y sabiendo que las dimensiones del lateral son 2800[mm] x10000[mm] el peso del aislante de este lateral los llamaremos “ $P_{lw\ lateral\ curado}$ ” y será:

$$P_{lw\ lateral\ curado} = Volumen\ del\ asilante * \delta$$

$$P_{lw\ lateral\ curado} = 2,8[m] * 10[m] * 0.1[m] * 60 \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 168 [kg]$$

Techo y piso del horno de curado: Procediendo de igual manera al caso anterior se tiene las dimensiones de techo y piso de 1.5 [m]*10[m] y un espesor de aislante de $e = 100 [mm]$ entonces el peso del aislante para techo y piso de curado lo llamaremos “ $P_{lw\ techo-piso\ curado}$ ” y será:

$$P_{lw\ techo-piso\ curado} = 1.5[m] * 10[m] * 0.1[m] * 60 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 2 = 180 [kg]$$

Tabique divisorio: las dimensiones son 2.8 [m]*10[m] y un espesor de aislante de $e = 50 [mm]$ entonces el peso del aislante para tabique divisorio lo llamaremos “ $P_{lv_{div}}$ ” y será:

$$P_{lv_{div}} = 2.8[m] * 10[m] * 0.05[m] * 60 \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 84 [kg]$$

Techo y piso del horno de secado: de igual forma las dimensiones de estos son de 1.5 [m]*10[m] y un espesor de aislante de $e = 50 [mm]$ entonces el peso del aislante para techo y piso de secado lo llamaremos “ $P_{lv_{techo-piso secado}}$ ” y será:

$$P_{lv_{techo-piso secado}} = 1.5[m] * 10[m] * 0.05[m] * 60 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 2 = 90 [kg]$$

Lateral del horno de secado: habiendo calculado para este sector un espesor de aislante de $e = 50 [mm]$ y sabiendo que las dimensiones del lateral son 2800[mm] x10000[mm] el peso del aislante de este lateral los llamaremos “ $P_{lv_{lateral secado}}$ ” y será:

$$P_{lv_{lateral secado}} = 2.8[m] * 10[m] * 0.05[m] * 60 \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 84 [kg]$$

Lateral rampa de calentamiento y enfriamiento: como para estos se diseñó con iguales dimensiones y espesores de aislantes se tiene, un espesor $e = 50 [mm]$ de aislante térmico y además con las siguientes medidas del lateral calculamos el área:

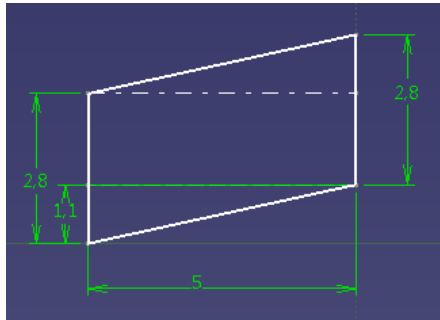


Figura A.10

$$Area = \frac{1.1 * 5}{2} * 2 + 1.7 * 5 = 14[m^2]$$

Por lo tanto el peso de este aislante se calcula de igual forma a los casos anteriores denotándolo como “ $P_{lv_{lateral rampa}}$ ” y siendo:

$$P_{lv_{lateral rampa}} = 14[m^2] * 0.05[m] * 60 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 6 = 252[kg]$$

Cabe aclarar que se multiplico por 6 debido a que es la cantidad de laterales de iguales dimensiones.

Techo y piso de la rampa de calentamiento y enfriamiento: Sabiendo de acuerdo al diseño propuesto que las dimensiones de estos son 5.1 [m]*1.5[m] y un espesor $e = 50 [mm]$ de

aislante térmico, podemos calcular el peso del aislante que lo multiplicaremos por 8 debido a que esa es la cantidad de regiones similares tanto para secado y curado:

$$P_{lv\text{rampa techo-piso}} = 5.12[m] * 1.5[m] * 0.05[m] * 60 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 8 = 184 [kg]$$

El peso total del aislante “ $P_{lv\text{total}}$ ” será:

$$P_{lv\text{total}} = P_{lv\text{lateral curado}} + P_{lv\text{techo-piso curado}} + P_{lv\text{div}} + P_{lv\text{techo-piso secado}} \\ + P_{lv\text{lateral secado}} + P_{lv\text{lateral rampa}} + P_{lv\text{rampa techo-piso}}$$

$$P_{lv\text{total}} = 168 + 180 + 84 + 90 + 84 + 252 + 184 = 1042 [kg]$$

Peso de las placas de acero

Laterales de la rampa de precalentamiento y enfriamiento: Como se calculó en los puntos anteriores, se tiene que el área de cada una de estas es $14[m^2]$ y se cuenta con una pared de dos placas, donde una es de $0.7 [mm]$ y otra de $1.2 [mm]$. Sabiendo que son 8 placas delgadas y 4 gruesas y que la densidad del acero es $\delta = 7800 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$, se tiene que el peso de estas “ $P_{pca. lat. rampas}$ ” es:

$$P_{pca. lat. rampas} = 14[m^2] * 7800 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * \{(8 * 0.0007[m]) + (4 * 0.0012[m])\} \\ = 1135.68 [kg]$$

Techo y piso de rampas: las dimensiones de estos son las misma usadas para los cálculos del aislante y por lo tanto siendo “ $P_{pca. techo rampas}$ ” se puede calcularlo teniendo en cuenta que son 8 placas de cada espesor ($0.7 [mm]$ y $1.2 [mm]$):

$$P_{pca. techo rampas} \\ = 1.5[m] * 5.12[m] * 7800 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \\ * \{(8 * 0.0007[m]) + (8 * 0.0012[m])\} = 910.54 [kg]$$

Laterales y divisorio de los túneles: Para esta situación se tiene 4 placas de $0.7 [mm]$ y 2 de $1.2 [mm]$ de espesor. Procediendo de igual modo y considerando “ $P_{lat. tuneles}$ ” como el peso de las placas de los laterales de los túneles:

$$P_{lat. tuneles} = 2.8[m] * 10[m] * 7800 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \\ * \{(4 * 0.0007[m]) + (2 * 0.0012[m])\} = 1594.32 [kg]$$

Techo y piso de los túneles: Considerando 4 placas de $0.7 [mm]$ y 4 de $1.2 [mm]$ de espesor y procediendo de igual modo se puede denotar “ $P_{techo. tuneles}$ ” como el peso de las placas del techo y piso de los túneles. Por lo tanto:

$$P_{techo tuneles} = 1.5[m] * 10[m] * 7800 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \\ * \{(4 * 0.0007[m]) + (4 * 0.0012[m])\} = 889.2 [kg]$$

Peso total de placas de acero” P_{placas} ” será la sumatoria de todos los anteriormente calculados:

$$P_{placas} = P_{pca. lat. rampas} + P_{pca. techo rampas} + P_{lat. tuneles} + P_{techo tuneles}$$

$$P_{placas} = 1135.68 + 910.54 + 1594.32 + 889.2 = 4529.74 [kg]$$

Peso de la cámara de combustión

Peso del aislante térmico: En base al diseño propuesto y a los cálculos se posee en la estructura de la cámara con 4 laterales de 0.7 [m]x 1[m] y una parte inferior de 1 [m]x1 [m] provistas de lana de vidrio de 100[mm] de espesor y densidad $\delta = 60 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$. Si denotamos como “ $P_{lv camara}$ ” como el peso de este material aislante en la cámara se puede calcular como:

$$P_{lv camara} = \{4 * (0.7 [m]x 1[m]) + (1 [m]x1 [m])\} * 0.1[m] * 60 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$P_{lv camara} = 22.8[kg]$$

Placas de acero: La cámara cuenta con 4 laterales como se dijo anteriormente los cuales están conformados por una placa interna de 0.7 [mm] y una externa de 1.2 [mm] al igual que la parte inferior. Entonces el peso de las chapas de acero denotado como “ P_{placas} ” será:

$$P_{placas} = (4 * 0.0007[m] * 0.7[m] * 1[m] + 4 * 0.0012[m] * 0.7[m] * 1[m]$$

$$+ 0.0007[m] * 1[m] * 1[m] + 0.0012[m] * 1[m] * 1[m]) * 7800 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$P_{placas} = 56.32[kg]$$

Deflector de llama: Este es construido de acero inoxidable AISI 310 de 5[mm] de espesor y cuya densidad es $8000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$. En base a las dimensiones propuestas, el software de diseño utilizado nos da que el área cada lado son 0.119 [m²], 0.142[m²] para un lateral (región rectangular), 0.446[m²] para la cuna y 0.143[m²] para el fondo.

El área total será la suma entonces:

$$Area = 0.119[m^2] + 2 * 0.142 * [m^2] + 0.446[m^2] + 0.143[m^2] = 0.992[m^2]$$

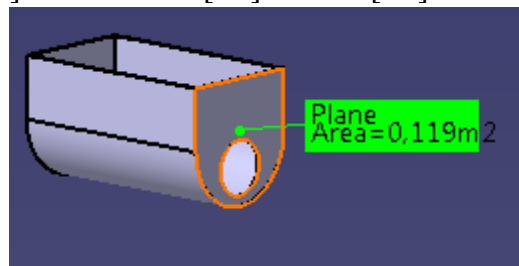


Figura A.11

Por lo tanto el peso del deflector denotado como “ $P_{deflector}$ ” será:

$$P_{deflector} = 0.992[m^2] * 0.005[m] * 8000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 39.68[kg]$$

Tubos estructurales: Se dotó la cámara de una estructura de tubo de 60[mm]x 60[mm], espesor 1.25[mm] y el fabricante dice que su peso es 2.31 [kg/m].

La cámara cuenta con 4 tubos de 0.7 [m] y 8 de 1[m] cada uno. EL peso de los tubos denotado como “ P_{tubos} ” se calcula como:

$$P_{tubos} = (4 * 0.7[m] + 8 * 1[m]) * 2.31 \left[\frac{kg}{m} \right] = 24.95[kg]$$

El peso del quemador y los forzadores seleccionados son de 45[kg] y 30[kg] cada uno respectivamente

Peso total de cada cámara “ P_{camara} ” será:

$$P_{camara} = P_{lv\ camara} + P_{placas} + P_{deflector} + P_{tubos} + P_{forzador} + P_{quemador}$$

$$P_{camara} = 22.8 + 56.32 + 39.68 + 24.95 + 30 + 45 = 218.75[kg]$$

Tuberías

Recolección: estas son compuestas por tubos de sección rectangular de 400 [mm] x 250 [mm], construidos con chapa galvanizada N° 20 de 0.9 [mm] de espesor y un peso de 7.28 [kg] el metro cuadrado. El área transversal de la se puede calcular multiplicando el perímetro del tubo por el largo de la misma. De acuerdo a la propuesta se cuenta con 12[m] de este caño por lo tanto el área será:

$$Area = (0.4 + 0.25 + 0.4 + 0.25)[m] * 12[m] = 15.6[m^2]$$

El peso de la cañería de recolección “ $P_{tubos\ rec}$ ” será:

$$P_{tubos\ rec} = 15.6[m^2] * 7.28 \left[\frac{kg}{m^2} \right] = 113.57 [kg]$$

Sellos de aire: Para este caso se cuenta con tubos de dimensión 200 [mm] x 200[mm] y la longitud total es de 20.72 [m] el cual es construido de el mismo material al caso anterior por lo que su área y peso denotado como “ $P_{tubos\ sellos}$ ” se calculan respectivamente como:

$$Area = (0.2 * 4)[m] * 20.72[m] = 16.576[m^2]$$

$$P_{tubos\ sellos} = 16.576[m^2] * 7.28 \left[\frac{kg}{m^2} \right] = 120.67 [kg]$$

Descarga: con tuberías de iguales dimensiones y material que en la succión pero con una longitud de tubos de 9[m] se calcula el área y peso de la cañería de descarga “ $P_{tubos\ desc}$ ” respectivamente como:

$$Area = (0.4 + 0.25 + 0.4 + 0.25)[m] * 9[m] = 11.7[m^2]$$

$$P_{tubos\ desc} = 11.7[m^2] * 7.28 \left[\frac{kg}{m^2} \right] = 85.176 [kg]$$

Se cuenta con 4 extractores de aire para los sellos de 15[kg] cada uno.

Peso total de las tuberías de ventilación total “ $P_{tubos\ vent.}$ ” Será:

$$P_{tubos\ vent.} = 2 * P_{tubos\ rec} + 4 * P_{tubos\ sellos} + 2 * P_{tubos\ desc} + 4 * P_{extractores}$$

$$P_{tubos\ vent.} = 2 * 113.57 [kg] + 4 * 120.67 [kg] + 2 * 85.176 [kg] + 4 * 15 [kg]$$

$$P_{tubos\ vent.} = 940.17 [kg]$$

Pasarela de inspección

Tubos: está conformada por 82.14 [m] de tubo estructural de 40[mm] x 40[mm], 1.1 [mm] de espesor y un peso de 1.65 [kg/m]. Por lo tanto denotando el peso de esta estructura como “ $P_{tubos\ pasarela}$ ” se puede calcular:

$$P_{tubos\ pasarela} = 82.14 [m] * 1.65 \left[\frac{kg}{m} \right] = 135.53 [kg]$$

Chapa: el piso de la misma está compuesto por una chapa antideslizante tipo “semilla de melón” N° 12 y peso 21.9 [kg/m].

Cada pasarela cuenta con 20 [m] de largo por 0.9 [m] de ancho entonces su peso “ $P_{piso\ pasarela}$ ” será:

$$P_{piso\ pasarela} = 20 [m] * 0.9 [m] * 21.9 \left[\frac{kg}{m^2} \right] = 394.2 [kg]$$

Peso total por pasarela “ $P_{pasarela}$ ” será:

$$P_{pasarela} = P_{tubos\ pasarela} + P_{piso\ pasarela}$$

$$P_{pasarela} = 135.53 [kg] + 394.2 [kg] = 529.73 [kg]$$

Peso total sobre la estructura

La carga total montada sobre la estructura a analizar “ P_{total} ” será la suma de los puntos anteriores, ya que se considera la carga uniforme distribuida. Entonces:

$$P_{total} = P_{IPN-100} + P_{piezas} + P_{lv_{total}} + P_{placas} + 2 * P_{camara} + P_{tubos\ vent.} + 2 * P_{pasarela}$$

$$P_{total} = 1606.88 [kg] + 640 [kg] + 1042 [kg] + 4529.74 [kg] + 2 * 218.75 [kg]$$

$$+ 940.17 [kg] + 2 * 529.73 [kg] = 10255.74 [kg]$$

Con todos los pesos de las partes del túnel calculados, se procede al cálculo estructural propiamente dicho para lo cual en base a la inspección de la estructura se puede ver que las secciones de tubos más solicitados serían los horizontales (vigas) que se muestran en la siguiente figura (rojo) y a su vez las columnas (naranja).

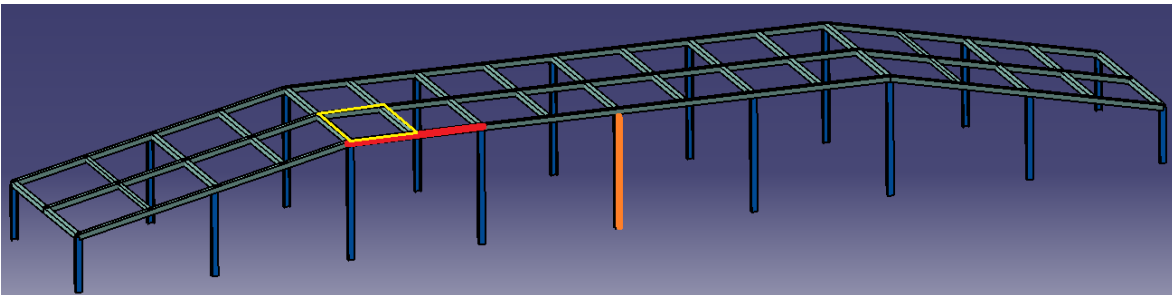


Figura A.12

Vigas

La elección de la misma que se adoptó para el análisis es la mostrada en la figura (rojo) por considerarse la más crítica. La misma cuenta con la carga distribuida del túnel y una carga extra de parte de la cámara de combustión (zona amarilla), donde esta última cuenta con una estructura que es montada a través de sus esquinas a la base del túnel. Dos extremos de están fijados a una viga frontal y los restantes a la viga media por lo que se le suma una carga al tubo a calcular de la mitad del peso de la cámara:

$$\frac{P_{camara}}{2} = \frac{218.75[kg]}{2} = 109.375[kg]$$

El cálculo de la carga distribuida se lo efectuara considerando la estructura base dividida en 8 cuadrantes como se muestra en la ilustración del ancho de separación entre columnas (2500[mm]).

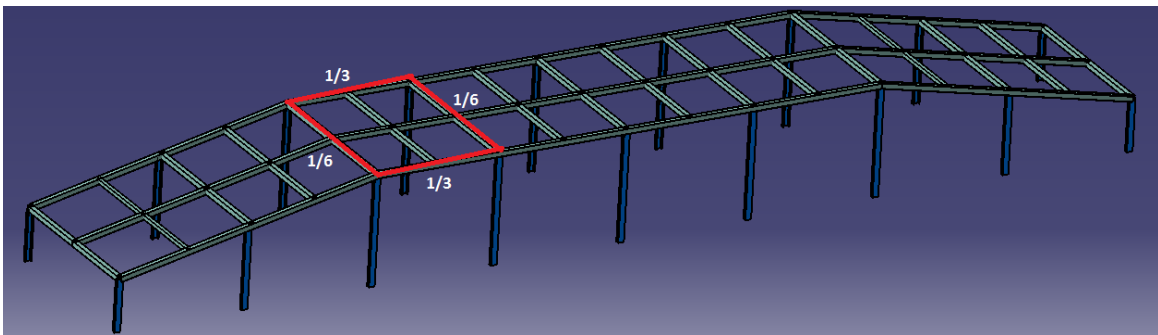


Figura A.13

Por lo que la carga por cuadrícula que la llamaremos “W” será:

$$W = \frac{P_{total}}{8} = \frac{10255.74 [kg]}{8} = 1282[kg]$$

Se tomara consideración de que 1/3 de la carga de cada cuadrante se transfieren directamente a las vigas frontales y traseras como se ve en gráfico, ya que como se dijo, todo el peso de la carga sobre la base del túnel se transporta a través de los arcos a estos. Por otro lado 1/6 de la carga del cuadrante se va a transferir a los travesaños.

Para analizar el caso crítico y poder obtener el valor de la flecha máxima, se deberá considerar que la carga sobre la viga que denotaremos “w” está sometida a 1/3 de “W” más la mitad del peso de la cámara de combustión que también será transferido a esta:

$$w = W + \frac{P_{camara}}{2} = \frac{1282[kg]}{3} + 109.375[kg] = 536.7[kg]$$

Así ya se está en condiciones de calcular la carga distribuida proporcionada por la estructura que denotaremos “ q_1 ”:

$$q_1 = \frac{w}{\text{long. de la viga}} = \frac{536.7[\text{kg}]}{2500[\text{mm}]} = 0.21 \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}} \right]$$

Y por datos del fabricante de tubos (TUBOS ARGENTINOS) se tiene una sección de 100[mm] x 100[mm], 6.35 [mm] de espesor y un peso que denotaremos “ q_2 ” de 0.018129 [kg/mm] y un momento de inercia $I_x = 349.299 \times 10^4 [\text{mm}^4]$.

La carga distribuida total “ q ” va a ser la suma de “ q_1 ” y “ q_2 ”:

$$q = q_1 + q_2 = 0.21 + 0.018129 = 0.228 \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}} \right]$$

La viga se la puede simbolizar de la siguiente manera:

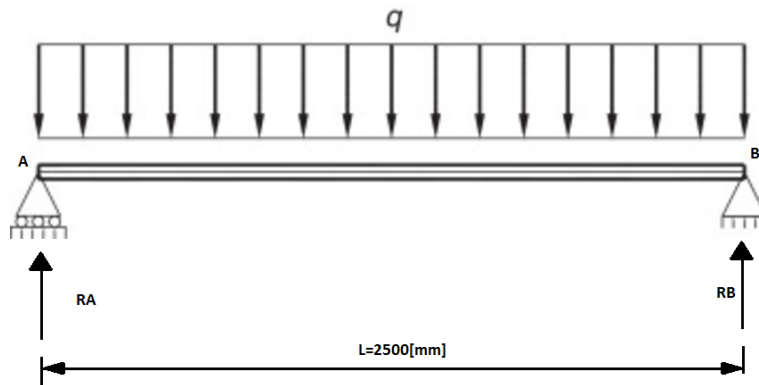


Figura A.14

Calculando el momento en el punto “A” y tomando positivo el sentido anti horario:

$$\sum MA = 0$$

$$\sum MA = R_B * L - q * L * \frac{L}{2} = 0$$

Despejando podemos calcular la reacción en el punto “B”:

$$R_B = \frac{q * L * \frac{L}{2}}{L} = \frac{0.228 * 2500 * \frac{2500}{2}}{2500} = 285.16[\text{kg}]$$

Realizando sumatoria de fuerzas verticales se tendrá:

$$\sum Fv = 0$$

$$\sum Fv = R_A + R_B - q * L = 0$$

Y despejando obtenemos la otra reacción:

$$R_A = q * L - R_B = 0.228 * 2500 - 285.16 = 284.84[kg]$$

Ya con las solicitaciones calculadas en los extremos se está en condiciones de calcular la flecha máxima y para ello se va a utilizar el método de la doble integración:

$$M_f = E * I_x * y''$$

M_f : Momento flector

I_x : Momento de inercia del perfil del material

E : Modulo elastico del material

Al realizar la primera integral de “ y'' ” se obtiene “ y' ” que representa el ángulo de giro que se forma en la sección transversal de la viga inicialmente normal a su eje, y al integrar una vez más se obtiene “ y ” que es la flecha de la viga.

$$E * I_x * y' = \int M_f * dx + C$$

$$E * I_x * y = \int dx \int M_f * dx + C + D$$

Siendo C y D constantes de integración.

Como se sabe la flecha “ y ” es el desplazamiento de la viga en su posición horizontal, hacia un segundo punto después que se aplicó la carga produciendo la deformación de esta.



Figura A.15

Realizando la sumatoria de momentos en el punto donde la distancia de la viga es x como se ve en la figura se tendrá:

$$E * I_x * y'' = R_A * x - q_1 * x * \left(\frac{x}{2}\right) - q_2 * x * \left(\frac{x}{2}\right)$$

Realizando la primera integración:

$$E * I_x * y' = R_A * \frac{x^2}{2} - q_1 * \frac{x^3}{6} - q_2 * \frac{x^3}{6} + C$$

Y la segunda:

$$E * I_x * y = R_A * \frac{x^3}{6} - q_1 * \frac{x^4}{24} - q_2 * \frac{x^4}{24} + C * x + D$$

Ahora se calcula las constantes de integración para lo que se tiene las siguientes condiciones de contorno:

x=0: La deformación es nula, entonces y=0 y:

$$E * I_x * 0 = R_A * \frac{0^3}{6} - q_1 * \frac{0^4}{24} - q_2 * \frac{0^4}{24} + C * 0 + D$$

Por lo tanto D=0

x=l: la deformación también va a ser nula, entonces y=0 y:

$$E * I_x * 0 = R_A * \frac{L^3}{6} - q_1 * \frac{L^4}{24} - q_2 * \frac{L^4}{24} + C * L + 0$$

Despejando se obtiene:

$$C = \frac{\frac{L^4}{24}(q_1 + q_2) - R_A * \frac{L^3}{6}}{L} = \frac{\frac{2500^4}{24}(0.228) - 284.84 * \frac{2500^3}{6}}{2500}$$

$$C = -148.2708x10^6$$

Ahora se está en condiciones de calcular la flecha máxima que se dará lógicamente en el mitad de la longitud del tubo. Entonces:

$$y_{max} = \frac{R_A * \left(\frac{L}{2}\right)^3 - q * \left(\frac{L}{2}\right)^4 + C * \left(\frac{L}{2}\right)}{E * I_x}$$

$$y_{max} = \frac{284.84 * \left(\frac{2500}{2}\right)^3 - 0.228 * \left(\frac{2500}{2}\right)^4 + (-148.2708x10^6) * \left(\frac{2500}{2}\right)}{20408.16 * 349.299x10^4}$$

$$y_{max} = -1.63[mm]$$

El resultado obtenido como se puede ver es muy bajo comparado con la longitud del tubo. El signo negativo implica un descenso de la deformada en forma de “U”

Ahora se procede a calcular el esfuerzo cortante y el momento flector máximo:

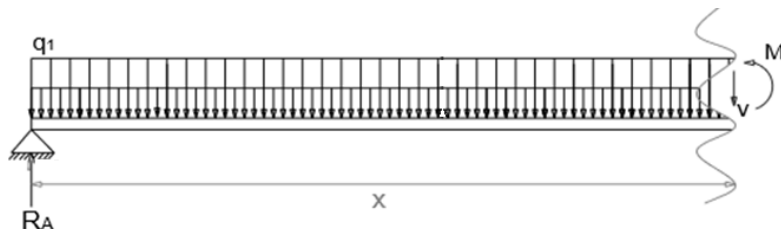


Figura A.16

$$\sum Fv = 0$$

$$\sum Fv = R_A - q(x) - V = 0$$

$$V = R_A - q(x)$$

Con esto se puede graficar la variación del esfuerzo cortante a lo largo de la viga:

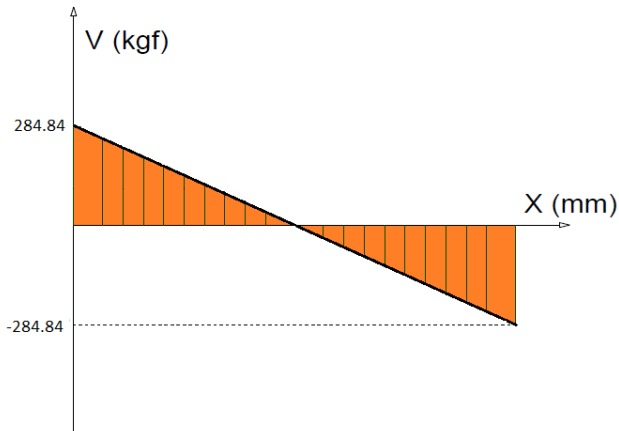


Figura A.17

El momento flector será:

$$\sum Mx = 0$$

$$\sum Mx = R_A * x - q * x * \frac{x}{2} - M_f = 0$$

$$M_f(x) = R_A * x - q * x * \frac{x}{2}$$

$$M_{f_{max}} = M_f\left(\frac{L}{2}\right) = 284.84[kg] * 1250[mm] - 0.228[kgmm] * 1250[mm] * \frac{1250[mm]}{2}$$

$$M_{f_{max}} = 177925[kgmm]$$

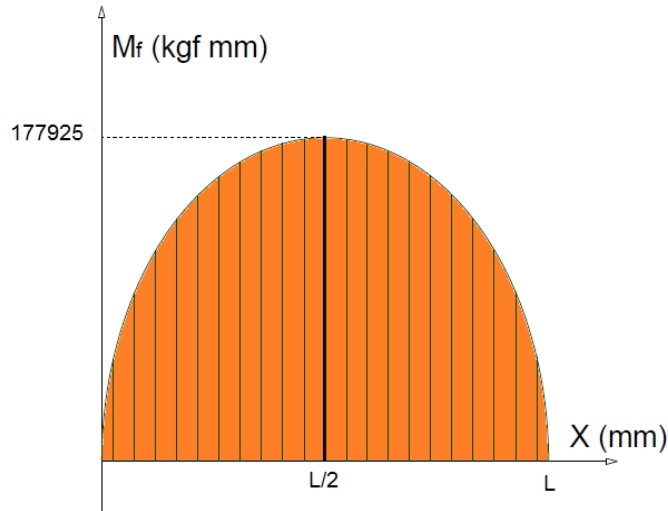


Figura A.18

Para calcular el esfuerzo máximo en la viga entonces:

$$\sigma = \frac{M_{f_{max}} * y_G}{I_x} = \frac{177925[kgmm] * 50[mm]}{349.299 \times 10^4[mm^4]} = 2.546 \left[\frac{kg}{mm^2} \right]$$

Para calcular el coeficiente de seguridad se lo hará utilizando los momentos resistentes, comparando el tabulado ($W_{tab} = 64870 [mm^3]$) con el calculado " W_{calc} " de la siguiente manera:

$$C_s = \frac{W_{tab}}{W_{calc}}$$

Dónde:

$$W_{calc} = \frac{M_{f_{max}}}{S_y}$$

$$S_y = 25,3 \left[\frac{kg}{mm^2} \right] \text{ (límite de fluencia del material)}$$

$$W_{calc} = \frac{M_{f_{max}}}{S_y} = \frac{177925[kgmm]}{25,3 \left[\frac{kg}{mm^2} \right]} = 7032.61[mm^3]$$

Por lo tanto:

$$C_s = \frac{W_{tab}}{W_{calc}} = \frac{64870 [mm^3]}{7032.61[mm^3]} = 9.2$$

Columnas

Estas son los elementos estructurales que transfieren todo el peso de los hornos al suelo por lo tanto su análisis estructural es vital.

Como se ha propuesto, el túnel está provisto de columnas de 2.1 [m], compuestas por perfil UPN N° 120. (Ver características en la Tabla T.5 del anexo)

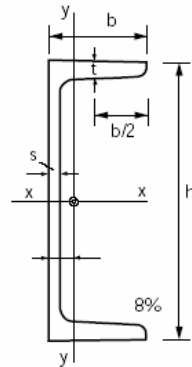


Figura A.19

Como las columnas serán las encargadas de soportar toda la carga, estarán sometidas a compresión y por ende deben efectuarse los cálculos necesarios para determinar si son resistentes al pandeo. Esto se puede medir mediante la relación de esbeltez utilizada en estas situaciones que se define como el cociente entre la longitud efectiva y su radio de giro mínimo. Por lo que a mayor valor de la relación de esbeltez, menor es la capacidad de carga de la columna; es decir que columnas muy esbeltas resultan inestables bajo pequeños esfuerzos.

$$SR = \frac{K * L}{r} = \frac{l_e}{r}$$

Dónde:

SR: Relación de esbeltez

K: Factor de fijación en los extremos

L: Longitud real de la columna entre dos puntos de apoyo

r: Radio de giro mínimo de la sección transversal de la columna

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Siendo:

I: Momento de inercia de la sección transversal de la columna respecto a uno de los ejes principales

A: Área de la sección transversal.

El factor de fijación de los extremos mide el grado al cual cada extremo de la columna está limitado contra rotación, en este caso los extremos son fijos y el valor teórico del factor de fijación es $K= 0,5$, el cual indica que la columna actúa como si fuera sólo la mitad de larga de lo que realmente es; si bien las uniones tanto con la base como con el piso son rígidos, se adoptará un coeficiente más alto $K= 0,7$.

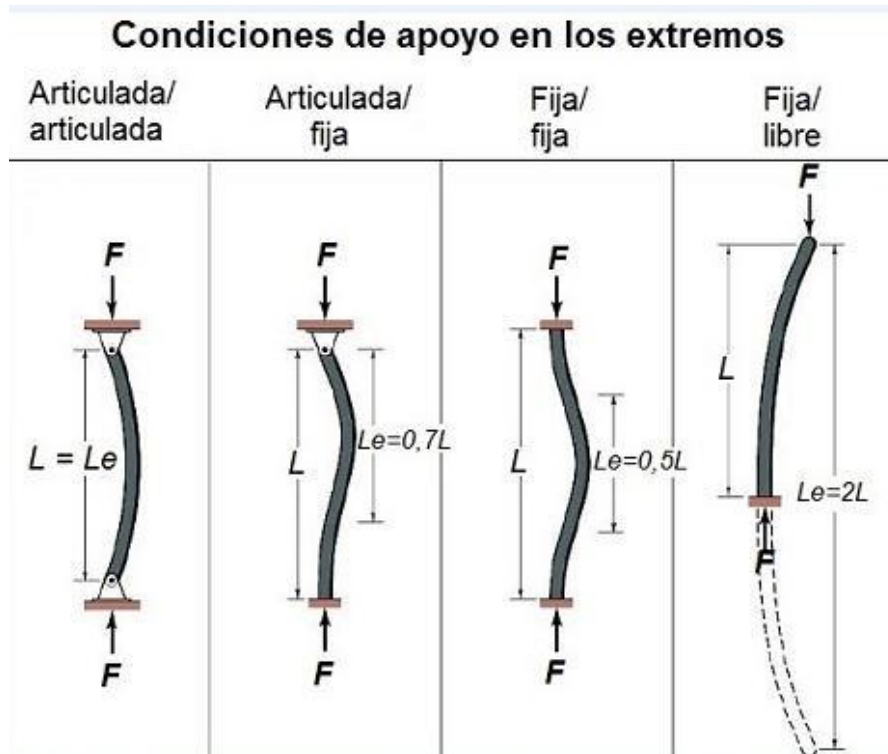


Figura A.20

Se proceda a calcular la relación de esbeltez para lo que será necesario determinar el radio de giro:

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{43,2[cm^4]}{17[cm^2]}} = 1.594[cm]$$

Los valores de “I” y “A” salen de la tabla de especificaciones del perfil.

$$SR = \frac{K * L}{r} = \frac{0.7 * 210[cm]}{1.594[cm]} = 92.21$$

Para determinar si la columna es larga o corta, se debe determinar la relación de esbeltez de transición o constante de la columna, y comparar con el valor de la relación de esbeltez obtenida anteriormente.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

Dónde:

C_c : Relación de esbeltez de transición

E: Modulo de elasticidad del material

S_y : Limite de fluencia del material

Remplazando valores:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 2 \times 10^{11}}{248 \times 10^6}} = 126.17$$

Si se evalúa la relación de esbeltez con la relación de esbeltez de transición se observa que $SR < C_c$ por lo tanto se afirma que la columna es corta y es posible utilizar la ecuación por J. B. Johnson del esfuerzo de compresión directa que se define como:

$$P_{cr} = A * S_y \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{l_e}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

Donde " P_{cr} " es la carga a la cual va a ocurrir pandeo. Calculando:

$$P_{cr} = 17[cm^2] * 2530.61 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \left[1 - \frac{248 \times 10^6 [Pa] \left(\frac{0.7 * 210 [cm]}{1.594 [cm]} \right)^2}{4\pi^2 2 \times 10^{11} [Pa]} \right]$$
$$P_{cr} = 31528.43 [kg]$$

La carga que soporte la columna deberá ser menos a esta carga critica obtenida para evitar pandeo. Para mantenernos en valores seguros se afectara este valor a una coeficiente de seguridad que para unificar utilizaremos el obtenido en el análisis de flexión $CS=9$. Por lo tanto la carga admisible " P_a " será:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{CS} = \frac{31528.43 [kg]}{9} = 3503.16 [kg]$$

Ahora bien el peso total sobre las columnas, será el peso sobre la base (obtenido para el cálculo estructural de vigas) más el peso de la base.

La estructura de la base cuenta con 73[m] de tubo 100x100[mm] y 39[m] de tubo 60x60, los cuales se seleccionan de catálogo (Ver características en Tabla T.4 del anexo)

Por lo tanto, el peso de la base será la suma de los pesos de los metros de tubos estructurales, entonces:

$$Peso\ base = 73[m] * 18.129 \left[\frac{kg}{m} \right] + 39[m] * 2.9 \left[\frac{kg}{m} \right] = 1437.5 [kg]$$

Entonces ahora si se está en condiciones de calcular el peso “P” sobre las columnas que como se dijo es:

$$P = P_{total} + \text{Peso de la base}$$

$$P = 10255.74[kg] + 1436.5[kg] = 11692.25[kg]$$

En las consideraciones de este análisis se dijo que se puede considerar el peso uniformemente distribuido así que le peso sobre cada columna “ $P_{columna}$ ” será, el peso total dividido el número de columnas que lo soportan a este:

$$P_{columna} = \frac{P}{\text{Nro de columnas}} = \frac{11692.25[kg]}{18} = 649.57[kg]$$

Así se puede verificar que la carga en cada columna es inferior a la carga admisible y por lo tanto no hay peligro de pandeo.

CALCULO DE LA LONGITUD DE LA CABINA DE PRE-TRATAMIENTO

De acuerdo a la velocidad de la línea calculada ($V_{linea} = 0,45 \left[\frac{m}{min} \right]$) se sabe que para el desengrase se requiere de un tiempo de desengrase “ $t_{desengrase} = 2[min]$ ”. Por lo tanto la longitud de la etapa “ $l_{desengrase}$ ” dentro de la cabina será el producto de la velocidad de la línea con el tiempo necesario más la suma de un cierta longitud para el goteo que para este caso se propone de 80[cm]. Entonces:

$$l_{desengrase} = V_{linea} * t_{desengrase} + 0,8[m]$$

$$l_{desengrase} = 0,45 \left[\frac{m}{min} \right] * 2[min] + 0,8[m] = 1,7[m]$$

Se deberá proceder de igual modo para las siguientes etapas del tratamiento.

El primer enjuague requiere:

$$t_{enjuague} = 45[seg] = 0,75[min] (\text{Tiempo de exposición al enjuague})$$

$$l_{goteo} = 0,80[m] (\text{Long. De goteo para el 1° enjuague})$$

$$l_{1° enjuague} (\text{Longitud del primer enjuague})$$

$$l_{1° enjuague} = V_{linea} * t_{enjuague} + 0,8[m]$$

$$l_{1° enjuague} = 0,45 \left[\frac{m}{min} \right] * 0,75[min] + 0,8[m] = 1,14[m]$$

Refinador de grano:

$$t_{refinado} = 90[seg] = 1,5[min] (\text{Tiempo de exposición al refinador})$$

$$l_{goteo} = 0,80[m] (\text{Long. De goteo para el refinado})$$

$$l_{refinado} (\text{Longitud del refinado})$$

$$l_{refinado} = V_{linea} * t_{refinado} + 0,8[m]$$

$$l_{refinado} = 0,45 \left[\frac{m}{min} \right] * 1,5[min] + 0,8[m] = 1,475[m]$$

Fosfatizado:

$$t_{fosfatizado} = 2[min](\text{Tiempo de exposición al fosfato})$$

$$l_{goteo} = 0,80[m] (\text{Long. De goteo para el fosfatado})$$

$l_{fosfatizado}$ (Longitud del fosfatado)

$$l_{fosfatizado} = V_{linea} * t_{fosfatizado} + 0,8[m]$$

$$l_{fosfatizado} = 0,45 \left[\frac{m}{min} \right] * 2[min] + 0,8[m] = 1,7[m]$$

Segundo enjuague:

$$t_{2^\circ \text{ enjuague}} = 45[seg] = 0,75[min](\text{Tiempo de exposición al } 2^\circ \text{ enjuague})$$

$$l_{goteo} = 0,80[m] (\text{Long. De goteo para el } 2^\circ \text{ enjuague})$$

$l_{2^\circ \text{ enjuague}}$ (Longitud del 2° enjuague)

$$l_{2^\circ \text{ enjuague}} = V_{linea} * t_{2^\circ \text{ enjuague}} + 0,8[m]$$

$$l_{2^\circ \text{ enjuague}} = 0,45 \left[\frac{m}{min} \right] * 0,75[min] + 0,8[m] = 1,14[m]$$

Por lo tanto la longitud total de la cabina " l_{cabina} " será la suma de las longitudes de cada etapa:

$$l_{cabina} = l_{desengrase} + l_{1^\circ \text{ enjuague}} + l_{refinado} + l_{fosfatizado} + l_{2^\circ \text{ enjuague}}$$

$$l_{cabina} = 1,7[m] + 1,14[m] + 1,475[m] + 1,7[m] + 1,14[m] = 7,15[m]$$

CALCULO DE CAUDALES PARA PRE-TRATAMIENTO

$$Q_{boquilla} = 6,5 \left[\frac{l}{min} \right] (\text{Caudal de cada boquilla seleccionada})$$

$n = 12$ (N° de boquillas por arco)

Desengrase: Para este caso se dispone de 4 arcos entonces el caudal será:

$$Q_{desengrase} = 12 * 4 * 6,5 \left[\frac{l}{min} \right] = 312 \left[\frac{l}{min} \right] = 18,72 \left[\frac{m^3}{hr} \right]$$

Enjuagues (1° y 2°): Se dispone de 2 arcos por cada enjuague. Se calculara el caudal total ya que se dispondrá de una sola bomba que impulse ambas etapas por ser el mismo líquido. Entonces el caudal para ambos será:

$$Q_{enjuague} = 12 * 4 * 6,5 \left[\frac{l}{min} \right] = 312 \left[\frac{l}{min} \right] = 18,72 \left[\frac{m^3}{hr} \right]$$

Refinador de grano: Tres arcos para esta etapa, entonces el caudal necesario a suministrar para el refinador es:

$$Q_{refinador} = 12 * 3 * 6,5 \left[\frac{l}{min} \right] = 234 \left[\frac{l}{min} \right] = 14,04 \left[\frac{m^3}{hr} \right]$$

Fosfatado: Con 4 arcos, entonces el caudal necesario a suministrar para el fosfato es:

$$Q_{fosfato} = 12 * 4 * 6,5 \left[\frac{l}{min} \right] = 312 \left[\frac{l}{min} \right] = 18,72 \left[\frac{m^3}{hr} \right]$$

CALCULO DEL RECIPIENTE Y CALENTADOR

Determinación del quemador de gas

Como los componentes químicos que van a ser alojados tienen características de densidad de la solución y calor específico similar se llevará a cabo el análisis en función de cualquier de ellos. En este caso se analizará para el desengrasante ya que es el que requiere un salto térmico mínimamente, mayor pero el cálculo será válido para las otras etapas.

El recipiente con un volumen de 1.5 [m³] con forma de cubo de 1.15 [m] x 1.15 [m] de cada lado.

El desengrasante usado marca "MICROCLEANING" posee las siguientes características:

$$\delta = 1350 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \text{ (densidad del desengrasante)}$$

$$C_e = 1113.46 \left[\frac{J}{kg^{\circ}C} \right] \text{ (Calor específico promedio)}$$

Teniendo la densidad y el volumen del líquido se podrá calcular la masa "m" del mismo:

$$m = \delta * Volumen = 1350 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 1.5 [m^3] = 2025 [kg]$$

El desengrasante requiere que se pulverice a una temperatura T₁=90°C y una vez en funcionamiento el sistema en días críticos se requerirá un salto térmico de ΔT=35°C. A su vez el caudal requerido es de 0.312 $\left[\frac{m^3}{min} \right]$, por lo tanto para satisfacer esa demanda será útil calentar los 1.5 [m³] del tanque 4,8 minutos (288 segundos).

La razón de transferencia de calor necesaria se puede calcular como:

$$\dot{q} = \frac{\text{Calor necesario}}{\text{tiempo necesario}} = \frac{m * C_e * \Delta T}{\text{tiempo necesario}}$$

$$\dot{q} = \frac{2025[kg] * 1113.46 \left[\frac{J}{kg^{\circ}C} \right] * 35^{\circ}C}{288[seg]} = 195,644[kW]$$

Para determinar el tamaño del quemador se tendrá en cuenta solamente los fenómenos de transferencia de calor por convección ya que la radiación y conducción son despreciables. La convección se considera forzada como se ha dicho tanto en el interior del tanque, ya que el líquido será agitado por aire comprimido, y en el exterior al quedar una cavidad entre las placas externas y la propiamente dicha del tanque (Ver Figura A.21) se tendrá un flujo de aire forzado debido a que el quemador de gas seleccionado será presurizado lo que le brinda cierta velocidad al aire caliente en el interior del calentador. Este último será descargado a la atmosfera mediante las perforaciones circulares que se muestran, donde se conectan las tuberías de escape.

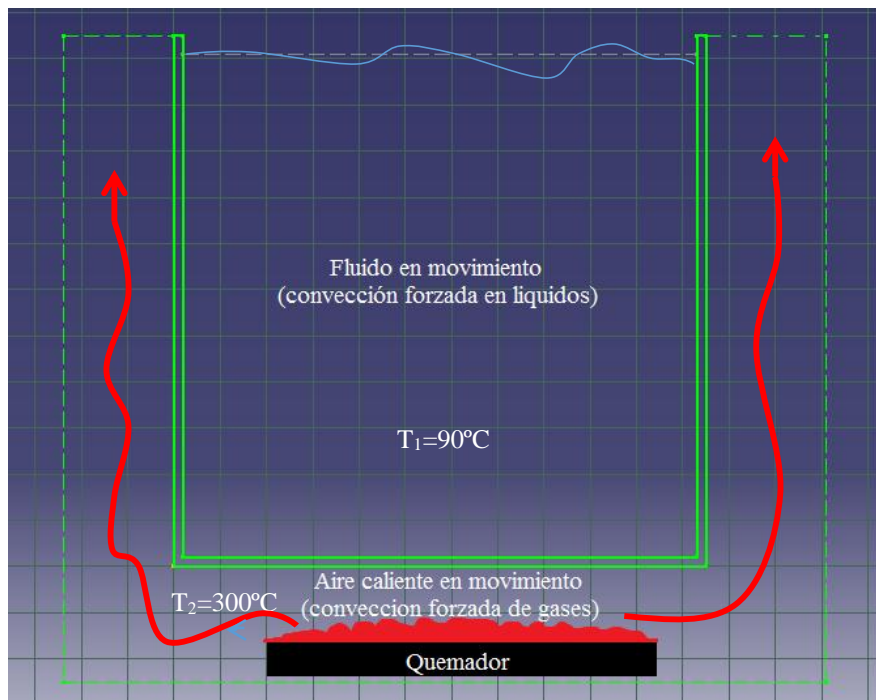


Figura A.21

Si representamos los fenómenos térmicos de una de las cinco placas mediante resistencias térmicas se tendrá:

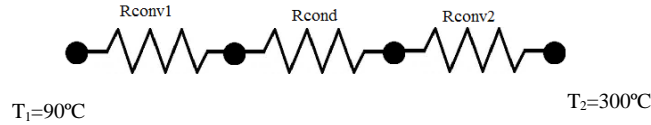


Figura A.22

Dónde:

R_{conv1} : Resistencia térmica a la convección del líquido.

R_{conv2} : Resistencia térmica a la convección del aire caliente.

R_{cond} : Resistencia térmica a la conducción de la placa de acero

T_1 : Temperatura del líquido

T_2 : Temperatura del aire caliente

Las tres resistencias se pueden reemplazar por una equivalente " R_{eq} " la cual será la suma de estas. Recordando que se desprecia los fenómenos de conducción debido el bajo espesor de chapase tiene:

$$R_{eq} = R_{conv1} + R_{conv2} = \frac{1}{h_1 * A} + \frac{1}{h_2 * A}$$

Se requiere del área "A" de la placa y de los coeficientes de transferencia de calor. Para lo último de la tabla obtenida del libro "Transferencia de calor y masa" de Kreit (ver anexo) se propone los siguientes valores de coeficiente de transferencia de calor por convección:

$$h_1 = 2000 \left[\frac{W * m^2}{^\circ C} \right] \text{ (convección forzada del liquido mediante aire compr.)}$$

$$h_2 = 200 \left[\frac{W * m^2}{^\circ C} \right] \text{ (convección forzada del aire caliente)}$$

Reemplazando podemos tener la resistencia equivalente de un lado del tanque:

$$R_{eq} = \frac{1}{2000 \left[\frac{W * m^2}{^\circ C} \right] * (1.15[m])^2} + \frac{1}{200 \left[\frac{W * m^2}{^\circ C} \right] * (1.15[m])^2} = 4.158 \times 10^{-4} \left[\frac{^\circ C}{W} \right]$$

Como se tiene 5 lados similares en el recipiente, la razón de transferencia total " \dot{Q} " será 5 veces la de una placa sola. Entonces:

$$\dot{Q} = 5 * \left(\frac{T_2 - T_1}{R_{eq}} \right) = 5 * \left(\frac{300^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}}{4.158 \times 10^{-4} \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right]} \right) = 252.477 [\text{kW}]$$

$$\dot{Q} = 217.091 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{hr}} \right]$$

Análisis de esfuerzos

Se propone calcular los espesores de chapa para el tanque, para lo cual usaremos la teoría de placas propuestas en el libro “Compendio de Calculo Estructural” del Ing. Julio Cesar Massa Edición 2007.

Placa inferior (base):

La chapa del fondo del tanque tendrá forma cuadrada de 1.15 [m] cada lado], será de acero inoxidable con un módulo de elasticidad $E = 2 \times 10^6 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$, se propone una tensión admisible $\sigma_{adm} = 1600 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$, $w_{adm} = 1 [\text{cm}]$ y un coeficiente de Poisson $\nu=0.3$.

Como sabemos el recipiente contiene 2025[kg] (ver cálculo del quemador para el tanque de desengrase), los cuales deberán ser soportados por la chapa a analizar. Se hará un análisis teniendo en cuenta una placa con refuerzos a fin de disminuir los espesores de chapa y peso. Para esto se tendrá una estructura que dividirá la carga en 4 partes.

Para empezar debemos calcular un valor critico de carga distribuida llamado ” q_l ”. Si la carga distribuida sobre la placa que la denotaremos como “ q ” es mayor a ” q_l ” entonces se deberá usar la Teoría de placas lineal, de lo contrario la no lineal.

$$q_l = \frac{\sigma_{adm}^2 * K_2}{E * K_3 * K_4}$$

Donde los coeficientes K se obtiene de tabla (Ver anexo en Tabla T.3) según el caso. El numero 7 será el que utilizaremos para esta ocasión ya que la placa quedara limitada en sus movimientos cuando se la fije a la estructura. Entonces, teniendo en cuenta que $\alpha = \frac{c}{l} = 1$:

$$K_1 = \frac{32(1 + \alpha^4)}{1 + \nu^2} = \frac{32(1 + 1^4)}{1 + 0.3^2} = 31.19$$

$$K_2 = 22 + 17.6 * \alpha^4 = 22 + 17.6 * 1^4 = 39.6$$

$$K_3 = 8.8 + 1.2\alpha^3 = 8.8 + 1.2 * 1^3 = 10$$

$$K_3^* = 17.58$$

$$K_4 = 1.8$$

$$K_4^* = 3.4 + 7.9 * \alpha = 3.4 + 7.9 * 1 = 11.3$$

El * se usa en el centro del lado empotrado y sin el asterisco en el centro de la placa. Ahora estamos en condiciones de calcular la carga crítica q_l y q_l^* :

$$q_l = \frac{\sigma_{adm}^2 * K_2}{E * K_3 * K_4} = \frac{\left(1600 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]\right)^2 * 39.6}{2 \times 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2}\right] * 10 * 1.8} = 2.68 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]$$

$$q_l^* = \frac{\sigma_{adm}^2 * K_2^*}{E * K_3^* * K_4^*} = \frac{\left(1600 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]\right)^2 * 39.6}{2 \times 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2}\right] * 17.58 * 11.3} = 0.24 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]$$

La carga por unidad de área que tiene la base del tanque es:

$$q = \frac{Carga}{Area} = \frac{2025[kg]}{(115[cm])^2} = 0.153 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]$$

Por lo tanto como $q < q_l$ la teoría a usar es la no lineal. Esta última indica que se debe realizar una secuencia de cálculos iterativa, proponiendo valores decrecientes del espesor

“h”, comprobando que la deformación de la chapa “ w_{max} ” no supere el desplazamiento admisible que se prefijo “ w_{adm} ” ($w_{max} < w_{adm}$) y que la tensión “ σ ” no supere la tensión admisible “ σ_{adm} ” ($\sigma < \sigma_{adm}$). La secuencia se muestra en la siguiente imagen de la bibliografía:

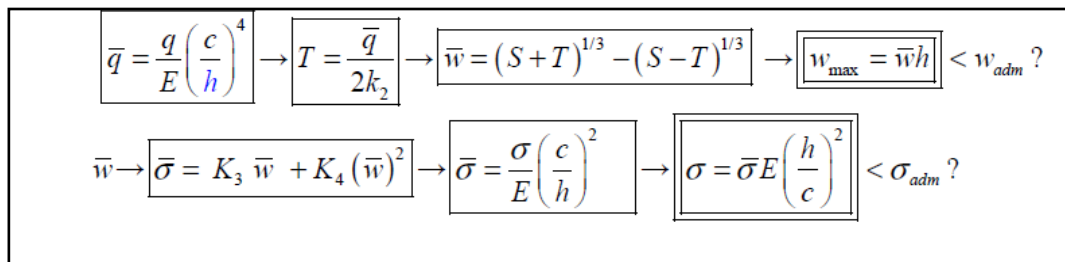


Figura A.23

Dónde:

$$S = \sqrt{T^2 + \left(\frac{K_1}{3K_2}\right)^3}$$

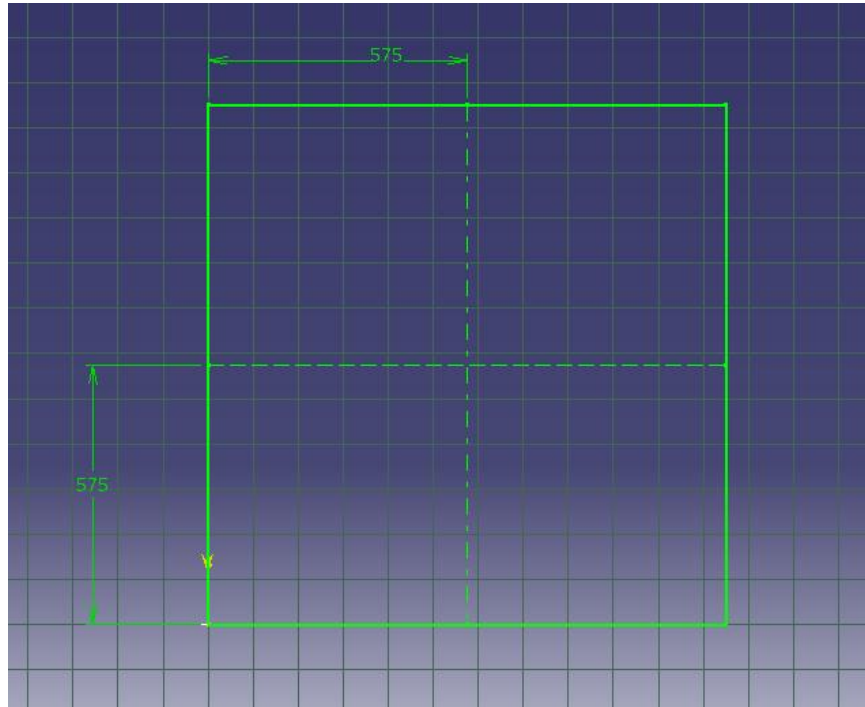


Figura A.24

En base a la Figura A.24 se realizara la secuencia mostrada para una primera iteración con los valores antes mencionados y se propone un espesor tentativo de chapa para dar inicio a la iteración de $h=0.9$ [cm].

Considerando una placa con refuerzos, se dividirá la placa en 4 partes iguales de 57.5 [cm] de cada lado a fin de colocar dos vigas delgadas en forma de cruz para que soporte la carga y a su vez permita disminuir el espesor de chapa (Ver figura A.25). Entonces:

$$\bar{q} = \frac{q}{E} \left(\frac{c}{h}\right)^4 = \frac{0.153 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]}{2 \times 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]} \left(\frac{57.5[cm]}{0.9[cm]}\right)^4 = 1.27$$

$$T = \frac{\bar{q}}{2k_2} = \frac{1.21}{2 * 39.6} = 0.016$$

$$S = \sqrt{T^2 + \left(\frac{K_1}{3K_2}\right)^3} = \sqrt{0.015^2 + \left(\frac{31.19}{3 * 39.6}\right)^3} = 0.135$$

$$\bar{w} = (S + T)^{1/3} - (S - T)^{1/3} = (0.1353 + 0.015)^{1/3} - (0.1353 - 0.015)^{1/3} = 0.041$$

$$w_{max} = \bar{w} * h = 0.039 * 0.9[cm] = 0.037[cm] \text{ (Verifica ya que es } < w_{adm} \text{)}$$

$$\bar{\sigma} = K_3 \bar{w} + K_4 (\bar{w})^2 = 10 * 0.039 + 1.8(0.039)^2 = 0.411$$

$$\sigma = \bar{\sigma} * E * \left(\frac{h}{c}\right)^2 = 0.392 * 2 \times 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2}\right] * \left(\frac{0.9[cm]}{57.5[cm]}\right)^2 = 201,263 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]$$

$$\bar{\sigma}^* = K_3 * \bar{w} + K_4 * (\bar{w})^2 = 17.58 * 0.039 + 11.3(0.039)^2 = 0.736$$

$$\sigma^* = \bar{\sigma}^* * E * \left(\frac{h}{c}\right)^2 = 0.7 * 2 \times 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2}\right] * \left(\frac{0.9[cm]}{57.5[cm]}\right)^2 = 360,49 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]$$

Como se ve tanto σ y σ^* son menores que el $\sigma_{adm} = 1600 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ que se propuso al comienzo.

Iteración	h[cm]	\bar{q}	T	S	\bar{w}	$w_{max}[cm]$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\sigma}^*$	σ	σ^*
1	0,9	1,275	0,016	0,135	0,041	0,037	0,411	0,736	201,263	360,497
2	0,8	2,042	0,026	0,137	0,065	0,052	0,659	1,193	254,999	461,698
3	0,7	3,483	0,044	0,142	0,110	0,077	1,121	2,070	332,421	613,638
4	0,6	6,452	0,081	0,157	0,197	0,118	2,041	3,905	444,542	850,463
5	0,5	13,379	0,169	0,216	0,366	0,183	3,906	7,961	590,766	1203,936
6	0,4	32,664	0,412	0,434	0,668	0,267	7,487	16,797	724,632	1625,739

Tabla A.1

En la 5ª iteración se puede ver que “ σ^* ” (tensión efectiva en el centro del empotramiento) queda cercana al valor de la tensión admisible el cual es para un valor de espesor h=5[mm]. Si se hace una iteración más superamos los valores admisibles de tensión, por lo tanto se concluye que el espesor de placa debe ser mayor o igual a 5[mm].

Ahora debe calcularse el tubo a usar en la base del tanque a fin de soportar los 2025[kg]. Estos tendrán una carga distribuida sobre ellos, que sabiendo que la carga por unidad de área tiene un valor de $q = 0.153 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ y la longitud de cada travesaño es l=57.5 [cm]; entonces la carga por unidad de longitud “ \dot{q} ” será:

$$\dot{q} = q * l = 0.153 \left[\frac{kg}{cm^2}\right] * 57.5[cm] = 8.79 \left[\frac{kg}{cm}\right]$$

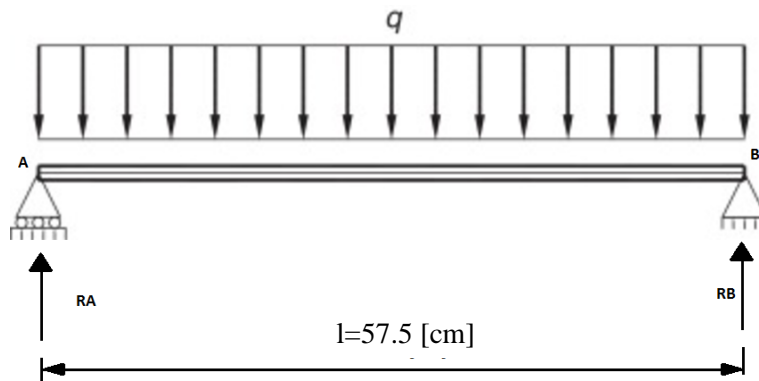


Figura A.25

Calculando el momento en el punto “A” y tomando positivo el sentido anti horario:

$$\sum MA = 0$$

$$\sum MA = R_B * l - \dot{q} * l * \frac{l}{2} = 0$$

Despejando podemos calcular la reacción en el punto “B”:

$$R_B = \frac{\dot{q} * l * \frac{l}{2}}{l} = \frac{8.79 \left[\frac{kg}{cm} \right] * 57.5[cm] * \frac{57.5[cm]}{2}}{57.5[cm]} = 252.71[kg]$$

Realizando sumatoria de fuerzas verticales se tendrá:

$$\sum Fv = 0$$

$$\sum Fv = R_A + R_B - \dot{q} * l = 0$$

Y despejando obtenemos la otra reacción:

$$R_A = \dot{q} * l - R_B = 8.79 \left[\frac{kg}{cm} \right] * 57.5[cm] - 252.71[kg] = 252.71[kg]$$

Ahora se procede a calcular el esfuerzo cortante y el momento flector máximo:

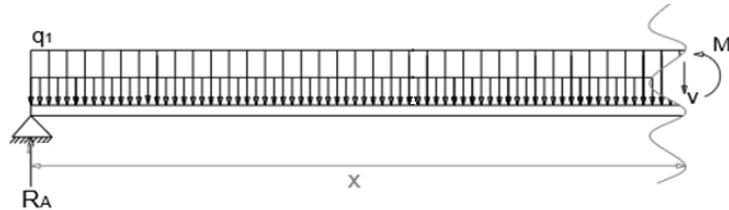


Figura A.26

$$\sum Fv = 0$$

$$\sum Fv = R_A - \dot{q}(x) - V = 0$$

$$V = R_A - \dot{q}(x)$$

Con esto se puede graficar la variación del esfuerzo cortante a lo largo de la viga:

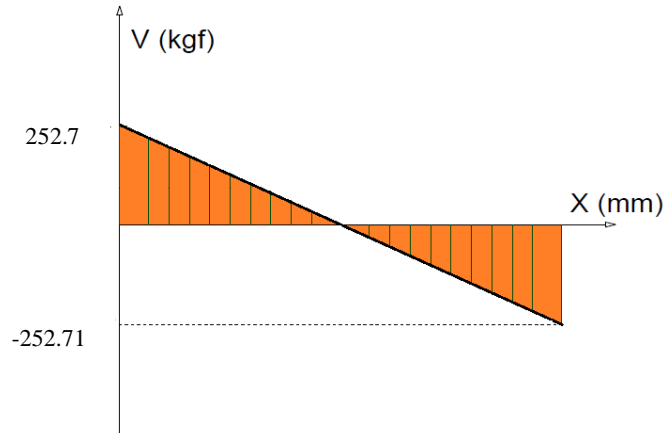


Figura A.27

El momento flector será:

$$\sum Mx = 0$$

$$\sum Mx = R_A * x - \dot{q} * x * \frac{x}{2} - M_f = 0$$

$$M_f(x) = R_A * x - \dot{q} * x * \frac{x}{2}$$

$$M_{f_{max}} = M_f\left(\frac{L}{2}\right) = 252.71[kg] * 287.5[mm] - 0.879[kgmm] * 287.5[mm] * \frac{287.5[mm]}{2}$$

$$M_{f_{max}} = 36326.7[kgmm]$$

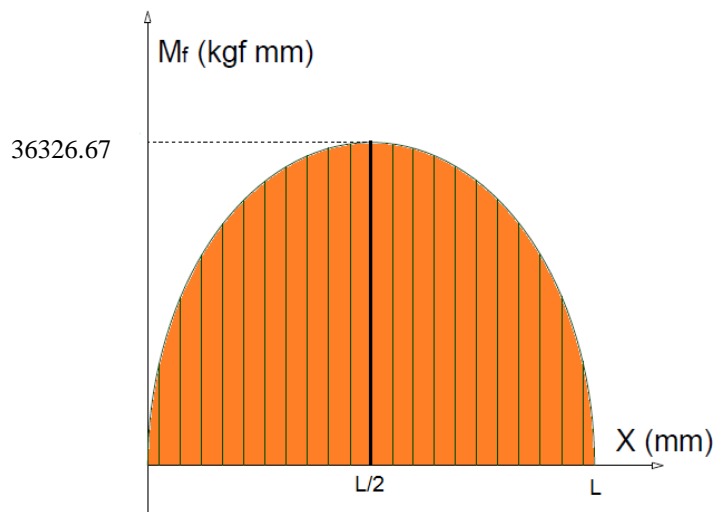


Figura A.28

Con el momento flector máximo estamos en condiciones de calcular el modulo resistente necesario para el tubo “ W_{req} ” que será el cociente entre el momento flector máximo “ $M_{f_{max}}$ ” y la tensiona admisible que para este caso se propone $\sigma_{adm} = 1600 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$

$$W_{req} = \frac{M_{f_{max}}}{\sigma_{adm}} = \frac{3632.67[kgcm]}{1600 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]} = 2.3[cm^3]$$

De catálogo se selecciona el tubo de sección cuadrada 40x40 con un espesor de 1,6 [mm] (o mayor) y un módulo de resistencia de 2.45 [cm³], el cual cumple con el “ W_{req} ”.

Placa lateral:

Se sugiere una chapa lateral reforzada con un larguero horizontal de modo tal que se disminuyan los esfuerzos sobre esta y a su vez el espesor. Este se fijara en la mitad de altura de la misma.

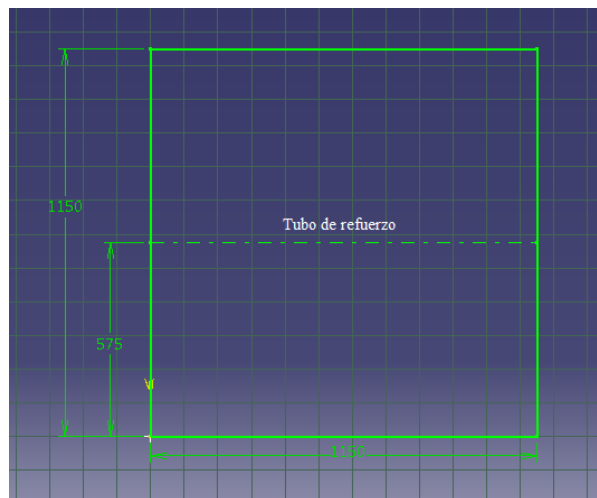


Figura A.29

Para iniciar el cálculo se tomara como consideración que la mayor presión que se da en la parte inferior también ocurre uniformemente en toda la placa a fin de realizar análisis más conservativos. Entonces la carga por unidad de área “P” uniformemente distribuida será:

$$P = \rho_{des} * g * h$$

Dónde:

$$\rho_{des} = 1350 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \text{ (Densidad del desengrasante)}$$

$$g = 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \text{ (Aceleración de la gravedad)}$$

$$h = 1.15[m] \text{ (Profundidad del tanque)}$$

$$P = 1350 \left[\frac{kg}{m^3} \right] 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] 1.15[m] = 15230[Pa]$$

La carga por cuadrante “ q_{cuad} ” se obtendrá realizando el cociente de “P” sobre dos. Por lo tanto:

$$q_{cuad} = \frac{P}{2g} = \frac{15230[Pa]}{2 * 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]} = 776,25 \left[\frac{kg}{m^2} \right] = 0,07762 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Y la carga por cuadrante por unidad de longitud “ q_{cuad} ” se obtiene realizando el producto de “ q_{cuad} ” por la longitud del refuerzo de tubo estructural:

$$q_{cuad} = q_{cuad} * 115[cm] = 0,07762 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] * 115[cm] = 8,92 \left[\frac{kg}{cm} \right]$$

Nuevamente se debe llevar a cabo el cálculo iterativo de la teoría de placas, como se llevó a cabo en placa inferior del tanque. Parte del cálculo se puede reutilizar ya que las dimensiones, módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson y tensión admisible serán las mismas:

$$E = 2 \times 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \text{ (Módulo de elasticidad)}$$

$$\sigma_{adm} = 1600 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \text{ (Tensión admisible)}$$

$$w_{adm} = 1[cm] \text{ (Deformación admisible)}$$

$$\nu = 0.3 \text{ (Coeficiente de Poisson)}$$

$$c = l = 115 [cm] \text{ (lados)}$$

De esta manera no es necesario recalcular los coeficientes “K” ni las cargas porque serán las mismas. Se reescriben:

$$K_1 = \frac{32(1 + \alpha^4)}{1 + \nu^2} = \frac{32(1 + 1^4)}{1 + 0.3^2} = 31.19$$

$$K_2 = 22 + 17.6 * \alpha^4 = 22 + 17.6 * 1^4 = 39.6$$

$$K_3 = 8.8 + 1.2\alpha^3 = 8.8 + 1.2 * 1^3 = 10$$

$$K_3^* = 17.58$$

$$K_4 = 1.8$$

$$K_4^* = 3.4 + 7.9 * \alpha = 3.4 + 7.9 * 1 = 11.3$$

$$q_l = \frac{\sigma_{adm}^2 * K_2}{E * K_3 * K_4} = \frac{\left(1600 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \right)^2 * 39.6}{2.1 \times 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] * 10 * 1.8} = 2.68 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$q_l^* = \frac{\sigma_{adm}^2 * K_2^*}{E * K_3^* * K_4^*} = \frac{\left(1600 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \right)^2 * 39.6}{2 \times 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] * 17.58 * 11.3} = 0.24 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

El * se usa en el centro del lado empotrado y sin el asterisco en el centro de la placa.

Como las carga distribuida “ q_{cuad} ” es menor a “ q_l ” y “ q_l^* ”, se debe usar la teoría no lineal nuevamente, mostrada en la secuencia de la Figura A.24

Una vez más se realiza la primera iteración para demostrar el procedimiento y luego se continúa iterando con una planilla de Excel. El valor de h inicial será de 0.9 cm:

$$\bar{q} = \frac{q}{E} \left(\frac{c}{h}\right)^4 = \frac{0,07762 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]}{2 \times 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]} \left(\frac{115[cm]}{0.9[cm]}\right)^4 = 10,35$$

$$T = \frac{\bar{q}}{2k_2} = \frac{9,85}{2 * 39.6} = 0,1244$$

$$S = \sqrt{T^2 + \left(\frac{K_1}{3K_2}\right)^3} = \sqrt{0,1244^2 + \left(\frac{31.19}{3 * 39.6}\right)^3} = 0,1832$$

$$\bar{w} = (S + T)^{1/3} - (S - T)^{1/3} = (0.1353 + 0.015)^{1/3} - (0.1353 - 0.015)^{1/3} = 0,2561$$

$$w_{max} = \bar{w} * h = 0,2561 * 0.9[cm] = 0,2574[cm] \text{ (Verifica ya que es } < w_{adm} \text{)}$$

$$\bar{\sigma} = K_3 \bar{w} + K_4 (\bar{w})^2 = 10 * 0,2561 + 1.8(0,2561)^2 = 3.008$$

$$\sigma = \bar{\sigma} * E * \left(\frac{h}{c}\right)^2 = 3.008 * 2 \times 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2}\right] * \left(\frac{0.9[cm]}{115[cm]}\right)^2 = 387,01 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]$$

$$\bar{\sigma}^* = K_3^* \bar{w} + K_4^* (\bar{w})^2 = 17.58 * 0.039 + 11.3(0.039)^2 = 5,95$$

$$\sigma^* = \bar{\sigma}^* * E * \left(\frac{h}{c}\right)^2 = 0.7 * 2 \times 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2}\right] * \left(\frac{0.9[cm]}{57.5[cm]}\right)^2 = 766,13 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]$$

Como se ve tanto σ y σ^* son menores que el $\sigma_{adm} = 1600 \left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ que se propuso al comienzo.

Iterando:

Iteración	h[cm]	\bar{q}	T	S	\bar{w}	$w_{max}[cm]$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\sigma}^*$	$\sigma \left[\frac{kg}{cm^2}\right]$	$\sigma^* \left[\frac{kg}{cm^2}\right]$
1	0,9	10,35	0,13	0,19	0,30	0,27	3,14	6,24	384,72	764,96
2	0,8	15,78	0,20	0,24	0,42	0,33	4,46	9,25	453,44	939,76
3	0,7	26,92	0,34	0,37	0,60	0,42	6,59	14,47	512,86	1126,07
4	0,6	49,88	0,63	0,64	0,84	0,51	9,69	22,81	554,15	1303,88
5	0,5	103,43	1,31	1,31	1,19	0,59	14,42	36,83	572,41	1462,16
6	0,4	252,52	3,19	3,19	1,71	0,69	22,41	63,28	569,45	1607,80

Tabla A.2

Se llega a la conclusión que el espesor de chapa más adecuado para estas sollicitaciones es de 0,5 [cm] ya que cumple con desplazamientos admisibles y tensiones admisibles.

Para determinar las características del tubo que reforzará el lateral se analiza el diagrama des esfuerzos del mismo:

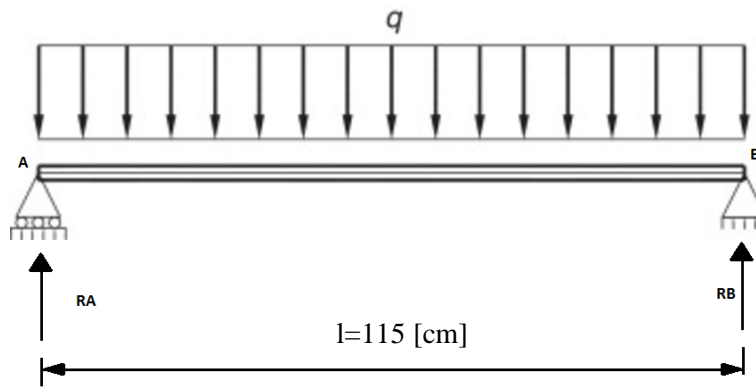


Figura A.30

Calculando el momento en el punto "A" y tomando positivo el sentido anti horario:

$$\sum MA = 0$$

$$\sum MA = R_B * l - q_{cuad} * l * \frac{l}{2} = 0$$

Despejando podemos calcular la reacción en el punto "B":

$$R_B = \frac{q_{cuad} * l * \frac{l}{2}}{l} = \frac{8,92 \left[\frac{kg}{cm} \right] * 115 [cm] * \frac{115 [cm]}{2}}{115 [cm]} = 512,9 [kg]$$

Realizando sumatoria de fuerzas verticales se tendrá:

$$\sum Fv = 0$$

$$\sum Fv = R_A + R_B - q * l = 0$$

Y despejando obtenemos la otra reacción:

$$R_A = q_{cuad} * l - R_B = 8,92 \left[\frac{kg}{cm} \right] * 115 [cm] - 512,9 [kg] = 512,9 [kg]$$

Ahora se procede a calcular el esfuerzo cortante y el momento flector máximo:

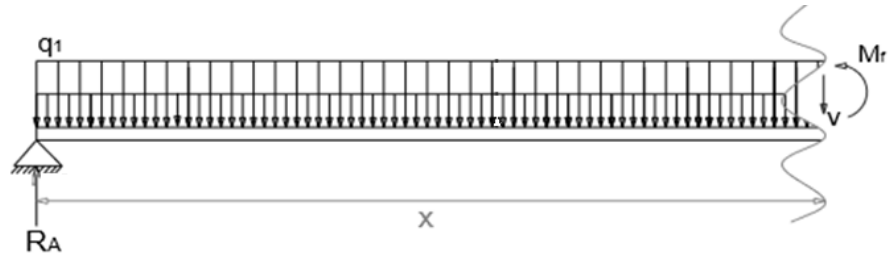


Figura A.31

$$\sum Fv = 0$$

$$\sum Fv = R_A - q_{cuad}(x) - V = 0$$

$$V = R_A - q_{cuad}(x)$$

Con esto se puede graficar la variación del esfuerzo cortante a lo largo de la viga:

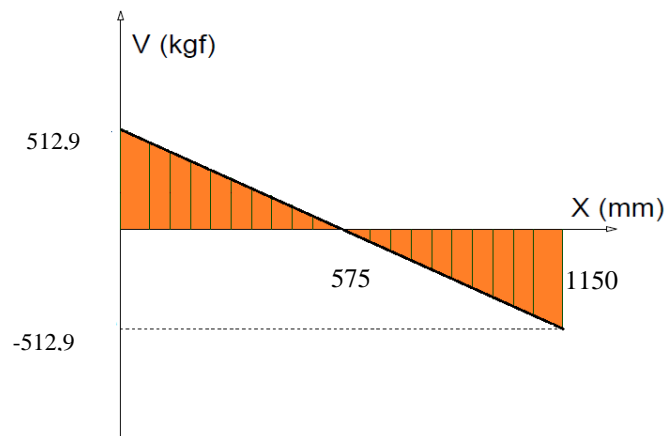


Figura A.32

El momento flector será:

$$\sum Mx = 0$$

$$\sum Mx = R_A * x - q * x * \frac{x}{2} - M_f = 0$$

Donde “ M_f ” se denota al momento flector en el eje x.

$$M_f(x) = R_A * x - q * x * \frac{x}{2}$$

El momento flector máximo “ $M_{f_{max}}$ ” es:

$$M_{f_{max}} = M_f \left(\frac{l}{2} \right) = 512,9[kg] * 575[mm] - 0.892[kgmm] * 575[mm] * \frac{575[mm]}{2}$$

$$M_{f_{max}} = 147458,75[kgmm] = 14745,8[kgcm]$$

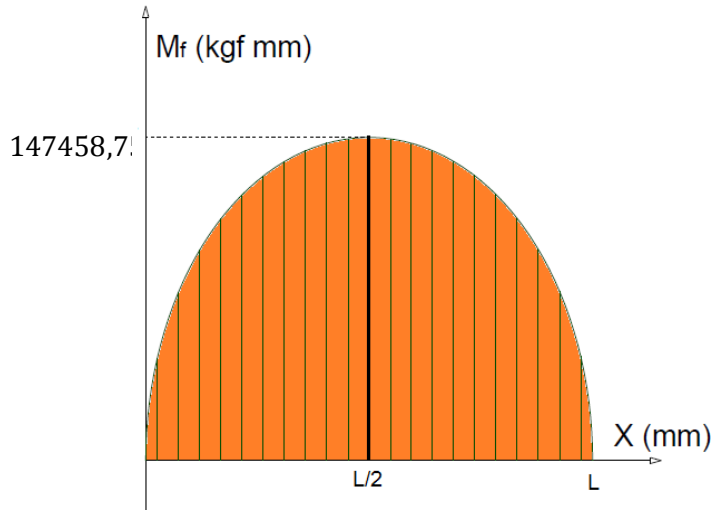


Figura A.33

Con el momento flector máximo estamos en condiciones de calcular el módulo resistente necesario para el tubo “ W_{req} ” que será el cociente entre el momento flector máximo “ $M_{f_{max}}$ ” y la tensión admisible que para este caso se propone $\sigma_{adm} = 1600 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$

$$W_{req} = \frac{M_{f_{max}}}{\sigma_{adm}} = \frac{14745,8[kgcm]}{1600 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]} = 9,21[cm^3]$$

De catálogo se selecciona el tubo de sección rectangular 40x80 con un espesor de 2 [mm] (o mayor) y un módulo de resistencia de 9.33 [cm³], el cual cumple con el “ W_{req} ”.

Columnas: Para calcular el peso sobre las vigas de apoyo del tanque se debe determinar el peso de toda la estructura. Se tiene los siguientes elementos:

Peso del líquido: Teniendo la densidad y el volumen del líquido se podrá calcular la masa “m” del mismo:

$$m = \delta * Volumen = 1350 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 1.5[m^3] = 2025[kg]$$

$$\delta = 1350 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \text{ (densidad del desengrasante)}$$

Peso del ladrillo refractario: Son casi 18 ladrillos los que formaran parte de la cuña, y sabiendo que cada uno tiene una masa de 2,8[kg] cada uno. El peso de todos será 50,9[kg]

Peso del deflector: Conociendo el área del deflector (0,3 [m²]), su espesor de 5[mm] y la densidad del acero inoxidable que lo compone se tiene una masa:

$$m = \delta * Volumen = 7900 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 0,3[m^2] * 0,005[m] = 11,85[kg]$$

$$\delta = 7900 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \text{ (densidad del AISI 310)}$$

Chapas interiores: Son 5 placas cuadradas de 1,15[m] de lado y 5[mm] de espesor. El material es también acero inoxidable AISI 310

$$m = \delta * Vol = 7900 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * (1,15)^2[m^2] * 0,005[m] = 261,19[kg]$$

Chapa exterior: Son cinco placas, 4 de 1,6[m] x 1,39[m] y una cuadrada de 1,39[m] de lado.

El área de las 5 placas va a ser:

$$Area = 4 * 1,6 * 1,39 + 1,39 * 1,39 = 10,82 [m^2]$$

El material es acero al carbón de densidad $\delta = 7800 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ y espesor 0,7[mm]

$$m = \delta * Vol = 7800 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * (10,82)^2[m^2] * 0,0007[m] = 59,12[kg]$$

Refuerzos de esquinas: Son 4,32[m] de perfil L 80x80.6 y un peso de 7,34[kg/m] por lo tanto el peso será

$$m = 4,32[m] * 7,34 \left[\frac{kg}{m} \right] = 31,7[kg]$$

Refuerzos placas laterales: Se tiene 13,8[m] de tubo estructural de sección rectangular 40x80x2 y un peso de 3,58[kg/m]. Entonces el peso total será:

$$m = 13,8[m] * 3,58 \left[\frac{kg}{m} \right] = 49,51[kg]$$

Refuerzos de la base: Se tiene 6,9 [m] de tubo estructural de sección cuadrada 40x40x2 y un peso de 1,895[kg/m]. Entonces el peso total será:

$$m = 6,9[m] * 1,895 \left[\frac{kg}{m} \right] = 13,07[kg]$$

Quemador: se plantea un peso aproximado del quemador de 25 [kg]

Peso del aislante: La lana de vidrio tiene una densidad de $60 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ y se cuenta con $10,82 \text{ [m}^2\text{]}$ cubiertos con un espesor de 150 [mm] . Por lo tanto el peso de esto será:

$$m = \delta * Vol = 60 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 10,82 \text{ [m}^2\text{]} * 0,15 \text{ [m]} = 97,38 \text{ [kg]}$$

El peso total es la suma de cada componente antes citado; es decir que el peso sobre las columnas es de $2624,72 \text{ [kg]}$.

Las columnas serán las encargadas de soportar toda la carga y estarán sometidas a compresión y por ende deben efectuarse los cálculos necesarios para determinar si son resistentes al pandeo. Esto se puede medir mediante la relación de esbeltez utilizada en estas situaciones que se define como el cociente entre la longitud efectiva y su radio de giro mínimo. Por lo que a mayor valor de la relación de esbeltez, menor es la capacidad de carga de la columna; es decir que columnas muy esbeltas resultan inestables bajo pequeños esfuerzos.

$$SR = \frac{K * L}{r} = \frac{l_e}{r}$$

Dónde:

SR: Relación de esbeltez

K: Factor de fijación en los extremos

L: Longitud real de la columna entre dos puntos de apoyo

r: Radio de giro mínimo de la sección transversal de la columna

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Siendo:

I: Momento de inercia de la sección transversal de la columna respecto a uno de los ejes principales

A: Área de la sección transversal.

El factor de fijación de los extremos mide el grado al cual cada extremo de la columna está limitado contra rotación, en este caso los extremos son fijos y el valor teórico del factor de fijación es $K= 0,5$, el cual indica que la columna actúa como si fuera sólo la mitad de larga de lo que realmente es; si bien las uniones tanto con la base como con el piso son rígidos, se adoptará un coeficiente más alto $K= 0,7$. (Ver figura A.20)

El tipo de perfil utilizado es un tubo estructural de sección cuadrada 40x80x5.15 con un área transversal de 13,75[cm²], un momento de inercia de 27,45[cm⁴]

Se procede a calcular la relación de esbeltez para lo que será necesario determinar el radio de giro;

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{27,45[\text{cm}^4]}{13,75[\text{cm}^2]}} = 1,41[\text{cm}]$$

Los valores de “I” y “A” salen de la tabla de especificaciones del perfil.

$$SR = \frac{K * L}{r} = \frac{0,7 * 80[\text{cm}]}{1,41[\text{cm}]} = 39,63$$

Para determinar si la columna es larga o corta, se debe determinar la relación de esbeltez de transición o constante de la columna, y comparar con el valor de la relación de esbeltez obtenida anteriormente.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

Dónde:

C_c : Relación de esbeltez de transición

$E=2\text{GPa}$: Modulo de elasticidad del material

$S_y = 248 \text{ MPa}$: Limite de fluencia del material

Remplazando valores:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 2 \times 10^{11}}{248 \times 10^6}} = 126,17$$

Si se evalúa la relación de esbeltez con la relación de esbeltez de transición se observa que $SR < C_c$ por lo tanto se afirma que la columna es corta y es posible utilizar la ecuación por J. B. Johnson del esfuerzo de compresión directa que se define como:

$$P_{cr} = A * S_y \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{l_e}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

Donde “ P_{cr} ” es la carga a la cual va a ocurrir pandeo. Calculando:

$$P_{cr} = 13,75[cm^2] * 2530.61 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \left[1 - \frac{248x10^6[Pa] \left(\frac{0.7 * 80[cm]}{1,41[cm]} \right)^2}{4\pi^2 2x10^{11}[Pa]} \right]$$

$$P_{cr} = 3372[kg]$$

La carga que soporte la columna deberá ser menos a esta carga critica obtenida para evitar pandeo. Para mantenernos en valores seguros se afectara este valor a una coeficiente de seguridad que para este caso usaremos CS=3. Por lo tanto la carga admisible “ P_a ” será:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{CS} = \frac{3372[kg]}{3} = 1124[kg]$$

Como el peso total se divide en 4 columnas que lo soportaran, cada una debe resistir 656,18 [kg] el cuál es muy inferior a la carga critica de pandeo.

Calculo del espesor del aislante

Al igual que en los cálculos realizados para determinar el espesor de la lana de vidrio en los hornos se llevara a cabo aquí el análisis.

Se utilizara una vez más el modelo equivalente de resistencias eléctricas en un proceso de transferencia de calor donde:

$$\dot{q} = \frac{T_i - T_j}{R_{total\ i-j}}$$

Esto quiere decir que la razón de transferencia de calor entre dos puntos i y j, sometidos a temperatura T_i y T_j respectivamente es el salto térmico sobre la sumatoria de resistencias equivalentes entre estos puntos.

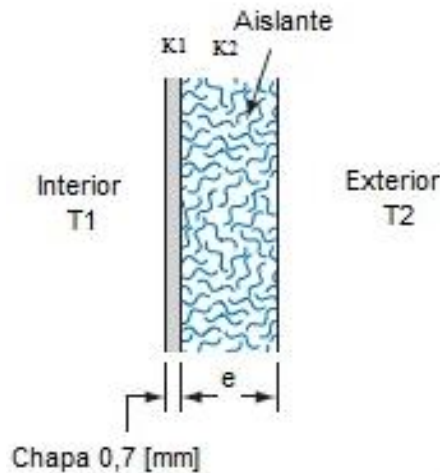


Figura A.34

$$R_{total\ 1-2} = \sum_{i-j} R_i = \frac{1}{h_{int}A} + \frac{e_1}{k_1A} + \frac{e_2}{k_2A} + \frac{1}{h_{ext}A}$$

Donde:

h_{int} : Coeficiente de convección forzada en el interior del tanque

h_{ext} : Coeficiente de convección forzada en el exterior del tanque

A : Área de transferencia de calor

e_1 : Espesor de la placa de acero

e_2 : Espesor del aislante

$k_{1,2}$: Conductividad térmica del acero y lana respectivamente

La pared está sometida a convección al aire libre en su cara exterior adoptando un coeficiente de la tabla del libro de "Kreit" de $h_{ext} = 6 \left[\frac{W \cdot m^2}{^\circ K} \right]$. Se adoptó un valor mínimo dentro del rango intentando hacer este cálculo más conservativo.

Datos:

$$h_{ext} = 6 \left[\frac{W \cdot m^2}{^\circ K} \right]$$

$$A = 1,15 * 1,15 = 1,3225[m^2] \text{ (Área de la pared)}$$

$$T_{\infty 1} = 300^\circ C \text{ (Temp. del interior de la cámara de calentamiento)}$$

$$T_{\infty 2} = 40^\circ C \text{ (Temperatura Ambiente)}$$

$$T_2 = 30^\circ C \text{ (Temperatura en la pared exterior)}$$

$$k_{lv} = 0,032 \left[\frac{W}{m^\circ C} \right] \text{ (Conductividad térmica de la lana de vidrio propuesta)}$$

Las temperaturas exterior y de la chapa en su superficie son $30^\circ C$ y $40^\circ C$ respectivamente. Por lo tanto la razón de transferencia de calor " \dot{q} " que se pierde hacia el exterior en esta pared:

$$\begin{aligned} \dot{q} &= h_{ext} * A * (T_{\infty 2} - T_2) \\ \dot{q} &= 6 * 1,3225 * (40 - 30) = 79,35[W] \end{aligned}$$

En base a esto se podrá determinar el espesor del aislante teniendo en cuenta que $T_{\infty 1} = 300^{\circ}\text{C}$, $T_{\infty 2} = 40^{\circ}\text{C}$ y la conductividad térmica de la lana de vidrio es $k_{lv} = 0,032 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} \right]$:

$$e = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) * k_{lv} * A}{\dot{q}}$$

$$e = \frac{(210 - 40) * 0,032 * 1,3225}{79,35} = 0,1386[\text{m}] = 138[\text{mm}]$$

Por lo tanto se adopta el espesor comercial de 100 [mm] y una de 50 [mm] que será superpuesta sobre la antes mencionada para satisfacer los requerimientos térmicos.

DIAMETROS DE TUBERIAS

Considerando que las velocidades adecuadas propuestas por la bibliografía (Franco Salas & Pérez Urrestarazu, 2008) para tuberías con aspersores varía entre 0,5 m/s y 3 m/s, se puede calcular el diámetro de la tubería. Para esto vamos a considerar la máxima velocidad adecuada y el caudal por la cañería.

$$Q = V * A$$

Donde “Q” es el caudal, “V” es la velocidad del fluido en la tubería y “A” el área de esta última. Entonces:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

Por lo que el diámetro “ ϕ ” será:

$$\phi = \sqrt{\frac{4Q}{\pi * V}}$$

Como se cuenta con 5 sistemas de aspersión, de los cuales solo 3 son distintos si se observa el conjunto de tuberías y caudales; ya que se dividen en grupos de pulverización de 2, 3 y 4 cortinas. Se debe determinar los diámetros de tuberías para cada uno.

Sistema de cuatro cortinas (Fosfatado y desengrasante)

Ramal porta-aspersores: Hay 6 pulverizadores en este tramo de 6,2 [l/min], por lo tanto el caudal total “ Q_{PA} ” en el será de:

$$Q_{PA} = 6 * 6,2 \left[\frac{\text{l}}{\text{min}} \right] = 37,2 \left[\frac{\text{l}}{\text{min}} \right] = 6,2 * 10^{-4} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Entonces aplicando la ecuación del diámetro utilizando la máxima velocidad recomendada tenemos:

$$\phi_{PA} = \sqrt{\frac{4Q_{PA}}{\pi * V}} = \sqrt{\frac{4 * 6,2 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\pi * 3 \left[\frac{m}{s} \right]}} = 0,001622 [m]$$

Se adopta el diámetro normalizado de $\phi_{PA} = 3/4''$

Porta-ramal: Como se cuenta con 4 cortinas, se dispondrá a su vez en este tramo de un caudal de 4 veces el requerido por el ramal porta-aspersores (ϕ_{PA}). Entonces el flujo volumétrico en el porta-ramal " Q_{PR} " es:

$$Q_{PR} = 4 * Q_{PA} = 4 * 6,2 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right] = 2,48 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Aplicando la ecuación del diámetro utilizando la máxima velocidad recomendada tenemos:

$$\phi_{PR} = \sqrt{\frac{4Q_{PR}}{\pi * V}} = \sqrt{\frac{4 * 2,48 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\pi * 3 \left[\frac{m}{s} \right]}} = 0,003244 [m]$$

Se adopta el diámetro normalizado de $\phi_{PR} = 1^{1/4}''$

Ramal central: Se necesita un caudal en el ramal central que distribuirá a todos los aspersores " Q_{RC} " del doble del suministrado por el porta ramal para distribuir los dos lados (derecho e izquierdo) de cada cortina. Por lo tanto:

$$Q_{RC} = 2 * Q_{PR} = 2 * 2,48 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right] = 4,96 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Aplicando la ecuación del diámetro utilizando la máxima velocidad recomendada tenemos:

$$\phi_{RC} = \sqrt{\frac{4Q_{RC}}{\pi * V}} = \sqrt{\frac{4 * 4,96 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\pi * 3 \left[\frac{m}{s} \right]}} = 0,04588 [m]$$

Se adopta el diámetro normalizado de $\phi_{RC} = 2''$

Sistema de tres cortinas (Refinador de grano)

Ramal porta-aspersores: Se posee en este caso también 6 pulverizadores en este tramo de 6,2 [l/min], por lo tanto el caudal total " Q_{PA} " en el será de:

$$Q_{PA} = 6 * 6,2 \left[\frac{l}{min} \right] = 37,2 \left[\frac{l}{min} \right] = 6,2 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Si se aplica la ecuación del diámetro obtenida anteriormente y utilizando la máxima velocidad recomendada tenemos que el diámetro del porta-aspersores se calcula y denomina como:

$$\phi_{PA} = \sqrt{\frac{4Q_{PA}}{\pi * V}} = \sqrt{\frac{4 * 6,2x10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\pi * 3 \left[\frac{m}{s} \right]}} = 0,001622[m]$$

Se adopta el diámetro normalizado de $\phi_{PA} = 3/4''$

Porta-ramal: Tres cortinas para el refinador de grano por ende se dispondrá a su vez en este tramo de un caudal de 4 veces el requerido por el ramal porta-aspersores (Q_{PA}). Entonces el flujo volumétrico en el porta-ramal " Q_{PR} " es:

$$Q_{PR} = 3 * Q_{PA} = 3 * 6,2x10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right] = 1,86x10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Aplicando la ecuación del diámetro utilizando la máxima velocidad recomendada tenemos que el mismo se denota y obtiene de la siguiente manera:

$$\phi_{PR} = \sqrt{\frac{4Q_{PR}}{\pi * V}} = \sqrt{\frac{4 * 1,86x10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\pi * 3 \left[\frac{m}{s} \right]}} = 0,02809[m]$$

Se adopta el diámetro normalizado de $\phi_{PR} = 1^{1/4}''$

Ramal central: Se necesita un caudal en el ramal central que distribuirá a todos los aspersores " Q_{RC} " del doble del suministrado por el porta ramal para distribuir los dos lados (derecho e izquierdo) de cada cortina. Por lo tanto:

$$Q_{RC} = 2 * Q_{PR} = 2 * 1,86x10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right] = 3,72x10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Aplicando la ecuación del diámetro utilizando la máxima velocidad recomendada tenemos:

$$\phi_{RC} = \sqrt{\frac{4Q_{RC}}{\pi * V}} = \sqrt{\frac{4 * 3,72x10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\pi * 3 \left[\frac{m}{s} \right]}} = 0,03973[m]$$

Se adopta el diámetro normalizado de $\phi_{RC} = 2''$

Sistema de dos cortinas (Enjuague N°1 y N°2)

Ramal porta-aspersores: Se posee en este caso también 6 pulverizadores en este tramo de 6,2 [l/min], por lo tanto el caudal total " Q_{PA} " en el será de:

$$Q_{PA} = 6 * 6,2 \left[\frac{l}{min} \right] = 37,2 \left[\frac{l}{min} \right] = 6,2x10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Si se aplica la ecuación del diámetro obtenida anteriormente y utilizando la máxima velocidad recomendada tenemos que el diámetro del porta-aspersores se calcula y denomina como:

$$\phi_{PA} = \sqrt{\frac{4Q_{PA}}{\pi * V}} = \sqrt{\frac{4 * 6,2 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\pi * 3 \left[\frac{m}{s} \right]}} = 0,001622 [m]$$

Se adopta el diámetro normalizado de $\phi_{PA} = 3/4''$

Porta-ramal: Tres cortinas para el refinador de grano por ende se dispondrá a su vez en este tramo de un caudal de 4 veces el requerido por el ramal porta-aspersores (Q_{PA}). Entonces el flujo volumétrico en el porta-ramal " Q_{PR} " es:

$$Q_{PR} = 2 * Q_{PA} = 2 * 6,2 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right] = 1,24 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Aplicando la ecuación del diámetro utilizando la máxima velocidad recomendada tenemos que el mismo se denota y obtiene de la siguiente manera:

$$\phi_{PR} = \sqrt{\frac{4Q_{PR}}{\pi * V}} = \sqrt{\frac{4 * 1,24 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\pi * 3 \left[\frac{m}{s} \right]}} = 0,02294 [m]$$

Se adopta el diámetro normalizado de $\phi_{PR} = 1''$

Ramal central: Se necesita un caudal en el ramal central que distribuirá a todos los aspersores " Q_{RC} " del doble del suministrado por el porta ramal para distribuir los dos lados (derecho e izquierdo) de cada cortina. Por lo tanto:

$$Q_{RC} = 2 * Q_{PR} = 2 * 1,24 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right] = 2,48 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Aplicando la ecuación del diámetro utilizando la máxima velocidad recomendada tenemos:

$$\phi_{RC} = \sqrt{\frac{4Q_{RC}}{\pi * V}} = \sqrt{\frac{4 * 2,48 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\pi * 3 \left[\frac{m}{s} \right]}} = 0,03973 [m]$$

Se adopta el diámetro normalizado de $\phi_{RC} = 1^{1/4}''$

PERDIDAS DE CARGA EN LOS SISTEMAS DE ASPERSION

Sistema de cuatro cortinas (Fosfatado y desengrasante)

Ramal porta-aspersores: Cabe aclarar antes de iniciar los cálculos que estos serán también válidos para los sistemas de 2 y 3 cortinas debido a que este tramo es exactamente igual en los 3 casos.

Datos:

$$\phi_{PA} = 3/4'' = 0,01905 [m] = D$$

$$\text{Longitud de tuberías} = 2,6 [m] = L$$

$$v_{70^\circ C} = 0,415 \times 10^{-6} [m^2/s] \text{ (viscosidad cinemática)}$$

$\varepsilon=0,0015[\text{mm}]$ (Rugosidad)

1 codo 90° ($\frac{L_e}{D}=30$), 2 codos 45° ($\frac{L_e}{D}=16$), 4 Tee ($\frac{L_e}{D}=20$)

Se procede a calcular la velocidad real del fluido sabiendo que el caudal es $Q_{PA} = 6,2 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$. Entonces:

$$V = \frac{Q_{PA}}{A} = \frac{6,2 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]}{\frac{\pi * 0,01905 [\text{m}]^2}{4}} = 2,17 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

El número de Reynolds se obtiene de la siguiente manera:

$$Re = \frac{D * V}{\nu_{70^\circ C}} = \frac{0,01905 [\text{m}] * 2,17 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]}{0,415 \times 10^{-6} [\text{m}^2/\text{s}]} = 99610 \text{ (Turbulento)}$$

$$\frac{\varepsilon}{\phi_{PA}} = \frac{0,0015 [\text{mm}]}{19,05 [\text{mm}]} = 7,874 \times 10^{-5}$$

Con estos dos últimos valores estamos en condiciones de ingresar al Diagrama de Moody (Ver anexo) y determinar el factor de fricción “f” que nos da como resultado:

$$f = 0,018$$

Las pérdidas mayores que denotaremos como “ h_{LM} ” se pueden obtener:

$$h_{LM} = f \frac{L * V^2}{D * 2g} = 0,018 \frac{2,6 [\text{m}] * 2,17 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^2}{0,01905 [\text{m}] * 2 * 9,8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]} = 0,59 [\text{m}]$$

Las pérdidas menores que denotaremos como “ h_{Lm} ” se pueden obtener teniendo en cuenta los accesorios (1 codo 90° ($\frac{L_e}{D}=30$), 2 codos 45° ($\frac{L_e}{D}=16$), 4 Tee ($\frac{L_e}{D}=20$)):

$$\begin{aligned} h_{Lm} &= f \left(\frac{L_e}{D} \right) \frac{V^2}{2g} = f * K * \frac{V^2}{2g} = 0,018 (1 * 30 + 2 * 45 + 4 * 20) \frac{2,17 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^2}{2 * 9,8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]} \\ &= 0,614 [\text{m}] \end{aligned}$$

Las pérdidas totales en la rama de porta aspersores “ h_{LPA} ” será la suma de las mayores y menores:

$$h_{LPA} = 0,59 [\text{m}] + 0,614 [\text{m}] = 1,204 [\text{m}]$$

Porta-ramal

Datos:

$$\phi_{PR} = 1^{1/4} = 0,03175 [\text{m}] = D$$

Longitud de tuberías= 1,225[m]=L

$\nu_{70^{\circ}\text{C}}=0,415 \times 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{s]}$ (viscosidad cinemática)

$\varepsilon=0,0015 \text{ [mm]}$ (Rugosidad)

1 codo 90° ($\frac{L_e}{D}=30$), 1 Tee en contraflujo ($\frac{L_e}{D}=60$), 1 Tee en línea de flujo ($\frac{L_e}{D}=20$) y una reducción ($K=0,2$)

Se procede a calcular la velocidad real del fluido sabiendo que el caudal es $Q_{PR} = 2,48 \times 10^{-3} \text{ [m}^3/\text{s}]$. Entonces:

$$V = \frac{Q_{PR}}{A} = \frac{2,48 \times 10^{-3} \text{ [m}^3/\text{s}]}{\frac{\pi * 0,03175 \text{ [m]}^2}{4}} = 3,13 \text{ [m/s]}$$

El número de Reynolds se obtiene de la siguiente manera:

$$Re = \frac{D * V}{\nu_{70^{\circ}\text{C}}} = \frac{0,03175 \text{ [m]} * 3,13 \text{ [m/s]}}{0,415 \times 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{s}]} = 239645 \text{ (Turbulento)}$$

$$\frac{\varepsilon}{\phi_{PR}} = \frac{0,0015 \text{ [mm]}}{31,75 \text{ [mm]}} = 0,0000472$$

Con estos dos últimos valores estamos en condiciones de ingresar al Diagrama de Moody (Ver anexo) y determinar el factor de fricción “f” que nos da como resultado:

$$f = 0,017$$

Las pérdidas mayores que denotaremos como “ h_{LM} ” se pueden obtener:

$$h_{LM} = f \frac{L * V^2}{D * 2g} = 0,017 \frac{1,225 \text{ [m]} * 3,13 \text{ [m/s]}^2}{0,03175 \text{ [m]} * 2 * 9,8 \text{ [m/s}^2]} = 0,3278 \text{ [m]}$$

Las pérdidas menores que denotaremos como “ h_{Lm} ” se pueden obtener teniendo en cuenta los accesorios (1 codo 90° ($\frac{L_e}{D}=30$), 1 Tee en contraflujo ($\frac{L_e}{D}=60$), 1 Tee en línea de flujo ($\frac{L_e}{D}=20$) y una reducción ($K=0,2$ obtenida de la Fig. 8.16 de Mecánica de fluidos de Fox 2da Ed.)):

$$h_{Lm} = f \sum \left(\frac{L_e}{D} \right) \frac{V^2}{2g} + K * \frac{V_{reducida}^2}{2g}$$
$$= 0,017(1 * 30 + 1 * 60 + 1 * 20) \frac{3,13 \text{ [m/s]}^2}{2 * 9,8 \text{ [m/s}^2]} + 0,2 * \frac{2,17 \text{ [m/s]}^2}{2 * 9,8 \text{ [m/s}^2]} = 0,98 \text{ [m]}$$

Las pérdidas totales en la rama de porta ramal “ h_{LPR} ” será la suma de las mayores y menores:

$$h_{LPR} = 0,3278[m] + 0,98[m] = 1,3[m]$$

Ramal central

Datos:

$$\phi_{RC} = 2" = 0,0508 [m] = D$$

$$\text{Longitud de tuberías} = 3,3[m] = L$$

$$v_{70^\circ C} = 0,415 \times 10^{-6} [m^2/s] \text{ (viscosidad cinemática)}$$

$$\epsilon = 0,0015 [mm] \text{ (Rugosidad)}$$

$$4 \text{ codo } 90^\circ \left(\frac{L_e}{D} = 30\right), 1 \text{ Tee en contraflujo } \left(\frac{L_e}{D} = 60\right) \text{ y una reducción } (K = 0,2)$$

Se procede a calcular la velocidad real del fluido sabiendo que el caudal es $Q_{PR} = 4,96 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s}\right]$. Entonces:

$$V = \frac{Q_{RC}}{A} = \frac{4,96 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s}\right]}{\frac{\pi * 0,0508 [m]^2}{4}} = 2,45 \left[\frac{m}{s}\right]$$

El número de Reynolds se obtiene de la siguiente manera:

$$Re = \frac{D * V}{v_{70^\circ C}} = \frac{0,0508 [m] * 2,45 \left[\frac{m}{s}\right]}{0,415 \times 10^{-6} [m^2/s]} = 299557 \text{ (Turbulento)}$$

$$\frac{\epsilon}{\phi_{RC}} = \frac{0,0015 [mm]}{50,7 [mm]} = 0,058$$

Con estos dos últimos valores estamos en condiciones de ingresar al Diagrama de Moody (Ver anexo) y determinar el factor de fricción “f” que nos da como resultado:

$$f = 0,058$$

Las pérdidas mayores que denotaremos como “ h_{LM} ” se pueden obtener:

$$h_{LM} = f \frac{L * V^2}{D * 2g} = 0,058 \frac{3,3 [m] * 2,45 \left[\frac{m}{s}\right]^2}{0,0508 [m] * 2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2}\right]} = 1,15 [m]$$

Las pérdidas menores que denotaremos como “ h_{Lm} ” se pueden obtener teniendo en cuenta los accesorios (4 codo 90° ($\frac{L_e}{D} = 30$), 1 Tee en contraflujo ($\frac{L_e}{D} = 60$) y una reducción ($K = 0,2$ obtenida de la Fig. 8.16 de Mecánica de fluidos de Fox 2da Ed.)):

$$h_{Lm} = f \sum \left(\frac{L_e}{D}\right) \frac{V^2}{2g} + K * \frac{V_{reducida}^2}{2g}$$

$$= 0,058(4 * 30 + 1 * 60) \frac{2,45 \left[\frac{m}{s} \right]^2}{2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]} + 0,2 * \frac{3,13 \left[\frac{m}{s} \right]^2}{2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]} = 3,29[m]$$

Las pérdidas totales en la rama central “ h_{LRC} ” será la suma de las mayores y menores:

$$h_{LRC} = 1,15[m] + 3,29[m] = 4,44[m]$$

Las pérdidas totales en el sistema de cuatro cortinas “ h_{T4cort} ” será la suma de cada tramo. Entonces:

$$h_{T4cort} = 1,204[m] + 1,39[m] + 4,44[m] = 7,04[m]$$

Sistema de tres cortinas (Refinador de grano)

Ramal porta-aspersores: Como se aclaró anteriormente, los cálculos realizados para estas tuberías en el sistema de cuatro cortinas se pueden reutilizar ya que se tiene iguales condiciones para esta situación. Entonces las pérdidas de carga se denotan y tienen el siguiente valor:

$$h_{LPA} = 1,204[m]$$

Porta-ramal

Datos:

$$\emptyset_{PR} = 1^{1/4} = 0,03175 [m] = D$$

$$\text{Longitud de tuberías} = 0,83[m] = L$$

$$\nu_{70^\circ C} = 0,415 \times 10^{-6} [m^2/s] \text{ (viscosidad cinemática)}$$

$$\varepsilon = 0,0015 [mm] \text{ (Rugosidad)}$$

1 codo 90° ($\frac{L_e}{D} = 30$), 1 Tee en contraflujo ($\frac{L_e}{D} = 60$), 1 Tee en línea de flujo ($\frac{L_e}{D} = 20$) y una reducción ($K = 0,2$)

Se procede a calcular la velocidad real del fluido sabiendo que el caudal es $Q_{PR} = 1,86 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$. Entonces:

$$V = \frac{Q_{PR}}{A} = \frac{1,86 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\frac{\pi * 0,03175 [m]^2}{4}} = 2,34 \left[\frac{m}{s} \right]$$

El número de Reynolds se obtiene de la siguiente manera:

$$Re = \frac{D * V}{\nu_{70^\circ C}} = \frac{0,03175 [m] * 2,34 \left[\frac{m}{s} \right]}{0,415 \times 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s} \right]} = 179734 \text{ (Turbulento)}$$

$$\frac{\varepsilon}{\phi_{PR}} = \frac{0,0015[mm]}{31,75[mm]} = 0,0000472$$

Con estos dos últimos valores estamos en condiciones de ingresar al Diagrama de Moody (Ver anexo) y determinar el factor de fricción “f” que nos da como resultado:

$$f = 0,017$$

Las pérdidas mayores que denotaremos como “ h_{LM} ” se pueden obtener:

$$h_{LM} = f \frac{L * V^2}{D * 2g} = 0,017 \frac{0,83[m] * 2,34 \left[\frac{m}{s} \right]^2}{0,03175 [m] * 2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]} = 0,12[m]$$

Las pérdidas menores que denotaremos como “ h_{Lm} ” se pueden obtener teniendo en cuenta los accesorios (1 codo 90° ($\frac{L_e}{D}=30$), 1 Tee en contraflujo ($\frac{L_e}{D}=60$), 1 Tee en línea de flujo ($\frac{L_e}{D}=20$) y una reducción (K=0,2 obtenida de la Fig. 8.16 de Mecánica de fluidos de Fox 2da Ed.):

$$h_{Lm} = f \sum \left(\frac{L_e}{D} \right) \frac{V^2}{2g} + K * \frac{V_{reduccion}^2}{2g}$$

$$= 0,017(1 * 30 + 1 * 60 + 1 * 20) \frac{2,34 \left[\frac{m}{s} \right]^2}{2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]} + 0,2 * \frac{2,17 \left[\frac{m}{s} \right]^2}{2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]} = 0,57[m]$$

Las pérdidas totales en la rama de porta ramal “ h_{LPR} ” será la suma de las mayores y menores:

$$h_{LPR} = 0,12[m] + 0,57[m] = 0,69[m]$$

Ramal central

Datos:

$$\phi_{RC} = 2"=0,0508 [m]=D$$

$$\text{Longitud de tuberías} = 3,3[m]=L$$

$$v_{70^\circ C} = 0,415 \times 10^{-6} [m^2/s] \text{ (viscosidad cinemática)}$$

$$\varepsilon = 0,0015[mm] \text{ (Rugosidad)}$$

$$4 \text{ codo } 90^\circ \left(\frac{L_e}{D}=30 \right), 1 \text{ Tee en contraflujo } \left(\frac{L_e}{D}=60 \right) \text{ y una reducción (K=0,2)}$$

Se procede a calcular la velocidad real del fluido sabiendo que el caudal es $Q_{PR} = 3,72 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$. Entonces:

$$V = \frac{Q_{RC}}{A} = \frac{3,72 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\frac{\pi * 0,0508 [m]^2}{4}} = 1,83 \left[\frac{m}{s} \right]$$

El número de Reynolds se obtiene de la siguiente manera:

$$Re = \frac{D * V}{\nu_{70^{\circ}C}} = \frac{0,0508[m] * 1,83\left[\frac{m}{s}\right]}{0,415 \times 10^{-6} [m^2/s]} = 224668 \text{ (Turbulento)}$$

$$\frac{\varepsilon}{\phi_{RC}} = \frac{0,0015[mm]}{50,7[mm]} = 0,058$$

Con estos dos últimos valores estamos en condiciones de ingresar al Diagrama de Moody (Ver anexo) y determinar el factor de fricción “f” que nos da como resultado:

$$f = 0,075$$

Las pérdidas mayores que denotaremos como “ h_{LM} ” se pueden obtener:

$$h_{LM} = f \frac{L * V^2}{D * 2g} = 0,075 \frac{3,3[m] * 1,83\left[\frac{m}{s}\right]^2}{0,0508 [m] * 2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2}\right]} = 0,832[m]$$

Las pérdidas menores que denotaremos como “ h_{Lm} ” se pueden obtener teniendo en cuenta los accesorios (4 codo 90° ($\frac{L_e}{D}=30$), 1 Tee en contraflujo ($\frac{L_e}{D}=60$) y una reducción (K=0,2 obtenida de la Fig. 8.16 de Mecánica de fluidos de Fox 2da Ed.):

$$\begin{aligned} h_{Lm} &= f \sum \left(\frac{L_e}{D}\right) \frac{V^2}{2g} + f * K * \frac{V_{reduccion}^2}{2g} \\ &= 0,075(4 * 30 + 1 * 60) \frac{1,83 \left[\frac{m}{s}\right]^2}{2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2}\right]} + 0,2 * \frac{2,45 \left[\frac{m}{s}\right]^2}{2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2}\right]} = 2,37[m] \end{aligned}$$

Las pérdidas totales en la rama central “ h_{LRC} ” será la suma de las mayores y menores:

$$h_{LRC} = 0,832[m] + 2,37[m] = 3,2[m]$$

Las pérdidas totales en el sistema de tres cortinas “ $h_{T3 cort}$ ” será la suma de cada tramo. Entonces:

$$h_{T3 cort} = 1,204[m] + 0,74[m] + 3,2[m] = 5,144[m]$$

Sistema de dos cortinas (Enjuague N°1 y N°2)

Ramal porta-aspersores: Una vez más los cálculos realizados en este tramos son reutilizados. Por lo tanto:

$$h_{LPA} = 1,204[m]$$

Porta-ramal

Datos:

$$\phi_{PR} = 1'' = 0,0254 \text{ [m]} = D$$

$$\text{Longitud de tuberías} = 0,23 \text{ [m]} = L$$

$$\nu_{70^\circ\text{C}} = 0,415 \times 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{s]} \text{ (viscosidad cinemática)}$$

$$\varepsilon = 0,0015 \text{ [mm]} \text{ (Rugosidad)}$$

1 codo 90° ($\frac{L_e}{D} = 30$), 1 Tee en contraflujo ($\frac{L_e}{D} = 60$) y una reducción ($K = 0,2$)

Se procede a calcular la velocidad real del fluido sabiendo que el caudal es $Q_{PR} = 1,24 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$. Entonces:

$$V = \frac{Q_{PR}}{A} = \frac{1,24 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]}{\frac{\pi * 0,0254 \text{ [m]}^2}{4}} = 2,45 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

El número de Reynolds se obtiene de la siguiente manera:

$$Re = \frac{D * V}{\nu_{70^\circ\text{C}}} = \frac{0,0254 \text{ [m]} * 2,45 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]}{0,415 \times 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]} = 149778 \text{ (Turbulento)}$$

$$\frac{\varepsilon}{\phi_{PR}} = \frac{0,0015 \text{ [mm]}}{25,4 \text{ [mm]}} = 0,000059$$

Con estos dos últimos valores estamos en condiciones de ingresar al Diagrama de Moody (Ver anexo) y determinar el factor de fricción “f” que nos da como resultado:

$$f = 0,017$$

Las pérdidas mayores que denotaremos como “ h_{LM} ” se pueden obtener:

$$h_{LM} = f \frac{L * V^2}{D * 2g} = 0,017 \frac{0,23 \text{ [m]} * 2,45 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^2}{0,0254 \text{ [m]} * 2 * 9,8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]} = 0,05 \text{ [m]}$$

Las pérdidas menores que denotaremos como “ h_{Lm} ” se pueden obtener teniendo en cuenta los accesorios (1 codo 90° ($\frac{L_e}{D} = 30$), 1 Tee en contraflujo ($\frac{L_e}{D} = 60$) y una reducción ($K = 0,2$ obtenida de la Fig. 8.16 de Mecánica de fluidos de Fox 2da Ed.)):

$$\begin{aligned} h_{Lm} &= f \sum \left(\frac{L_e}{D} \right) \frac{V^2}{2g} + K * \frac{V_{reduccion}^2}{2g} \\ &= 0,017 (1 * 30 + 1 * 60) \frac{2,45 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^2}{2 * 9,8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]} + 0,2 \frac{2,17 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^2}{2 * 9,8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]} = 0,52 \text{ [m]} \end{aligned}$$

Las pérdidas totales en la rama de porta ramal “ h_{LPR} ” será la suma de las mayores y menores:

$$h_{LPR} = 0,05[m] + 0,52[m] = 0,57[m]$$

Ramal central

Datos:

$$\phi_{RC} = 1^{1/4} = 0,03175 [m] = D$$

$$\text{Longitud de tuberías} = 3,3[m] = L$$

$$v_{70^\circ C} = 0,415 \times 10^{-6} [m^2/s] \text{ (viscosidad cinemática)}$$

$$\epsilon = 0,0015 [mm] \text{ (Rugosidad)}$$

$$4 \text{ codo } 90^\circ \left(\frac{L_e}{D} = 30\right), 1 \text{ Tee en contraflujo } \left(\frac{L_e}{D} = 60\right) \text{ y una reducción } (K = 0,2)$$

Se procede a calcular la velocidad real del fluido sabiendo que el caudal es $Q_{PR} = 1,48 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s}\right]$. Entonces:

$$V = \frac{Q_{RC}}{A} = \frac{1,48 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s}\right]}{\frac{\pi * 0,03175 [m]^2}{4}} = 1,87 \left[\frac{m}{s}\right]$$

El número de Reynolds se obtiene de la siguiente manera:

$$Re = \frac{D * V}{v_{70^\circ C}} = \frac{0,03175 [m] * 1,87 \left[\frac{m}{s}\right]}{0,415 \times 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s}\right]} = 143465 \text{ (Turbulento)}$$

$$\frac{\epsilon}{\phi_{RC}} = \frac{0,0015 [mm]}{31,75 [mm]} = 0,0000475$$

Con estos dos últimos valores estamos en condiciones de ingresar al Diagrama de Moody (Ver anexo) y determinar el factor de fricción “ f ” que nos da como resultado:

$$f = 0,017$$

Las pérdidas mayores que denotaremos como “ h_{LM} ” se pueden obtener:

$$h_{LM} = f \frac{L * V^2}{D * 2g} = 0,017 \frac{3,3 [m] * 1,87 \left[\frac{m}{s}\right]^2}{0,03175 [m] * 2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2}\right]} = 0,32 [m]$$

Las pérdidas menores que denotaremos como “ h_{Lm} ” se pueden obtener teniendo en cuenta los accesorios (4 codo 90° ($\frac{L_e}{D} = 30$), 1 Tee en contraflujo ($\frac{L_e}{D} = 60$) y una reducción ($K = 0,2$ obtenida de la Fig. 8.16 de Mecánica de fluidos de Fox 2da Ed.):

$$h_{Lm} = f \sum \left(\frac{L_e}{D} \right) \frac{V^2}{2g} + f * K * \frac{V_{reduccion}^2}{2g}$$

$$= 0,017(4 * 30 + 1 * 60) \frac{1,87 \left[\frac{m}{s} \right]^2}{2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]} + 0,2 * \frac{2,45 \left[\frac{m}{s} \right]^2}{2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]} = 0,61[m]$$

Las pérdidas totales en la rama central “ h_{LRC} ” será la suma de las mayores y menores:

$$h_{LRC} = 0,32[m] + 0,61[m] = 0,93[m]$$

Las pérdidas totales en el sistema de dos cortinas “ $h_{T2 cort}$ ” será la suma de cada tramo. Entonces:

$$h_{T2 cort} = 1,204[m] + 0,57[m] + 0,93[m] = 2,7[m]$$

CALCULO DE LA BOMBA NECESARIA PARA EL PULVERIZADO

Usando el principio de conservación de la energía propuesto por Bernoulli, donde planteando su ecuación entre dos secciones A y B se tiene:

$$Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + h_p = Z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + h_L$$

En la cual Z es la distancia vertical arriba de un plano horizontal arbitrario de la base, $\frac{P_i}{\gamma}$ es la carga de presión, V la velocidad media del fluido, h_p la energía impartida al agua por la bomba, y h_L la pérdida de carga total entre las secciones A y B. El símbolo $+h_L$ sería sustituido por $-h_L$, si en lugar de una bomba se tuviera una turbina.

Despejando obtenemos:

$$h_p = (Z_B - Z_A) + \left(\frac{P_B}{\gamma} - \frac{P_A}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_B^2}{2g} - \frac{V_A^2}{2g} \right) + h_L$$

En base a lo anterior, se está en condiciones de obtener la carga útil requerida por la bomba, considerando el punto “A” como la superficie del líquido en el tanque y “B” el aspersor más alejado en cada sistema de tuberías. Se cuenta con los siguientes datos:

$$Z_B - Z_A = 2,4[m], \text{ diferencia de alturas}$$

$$\delta = 1350 \left[\frac{kg}{m^3} \right], \text{ densidad de la solución}$$

P_A : Presión atmosférica

$$P_B = 2[bar] = 200.00[Pa], \text{ Presión en el aspersor}$$

$$V_A = 0, \text{ velocidad del líquido en la superficie del tanque}$$

$V_B = 2,17 \left[\frac{m}{s} \right]$, velocidad del liq. en la entrada al aspersor

Recordando que las pérdidas de carga para los sistemas de 2, 3 y 4 cortinas de aspersión son $2,7[m]$, $5,144[m]$ y $7,04[m]$ respectivamente, se calcula la carga de la bomba para cada caso

Sistema de dos cortinas:

$$h_p = (2,4[m]) + \left(\frac{200000[Pa]}{9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right] * 1350 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} \right) + \left(\frac{\left(2,17 \left[\frac{m}{s} \right] \right)^2}{2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]} \right) + 2,7[m]$$
$$= 20,45[m]$$

Sistema de tres cortinas:

$$h_p = (2,4[m]) + \left(\frac{200000[Pa]}{9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right] * 1350 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} \right) + \left(\frac{\left(2,17 \left[\frac{m}{s} \right] \right)^2}{2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]} \right) + 5,144[m]$$
$$= 22,9[m]$$

Sistema de cuatro cortinas:

$$h_p = (2,4[m]) + \left(\frac{200000[Pa]}{9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right] * 1350 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} \right) + \left(\frac{\left(2,17 \left[\frac{m}{s} \right] \right)^2}{2 * 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]} \right) + 7,04[m]$$
$$= 24,8[m]$$

CALCULO ESTRUCTURAL DE LA CABINA DE PRE-TRATAMIENTO

Se propone principalmente calcular el peso sobre la estructura base (Rojo) y sobre las seis columnas (Amarillo). Una vez realizado esto se efectuara un análisis estructural específico para la viga y columna más crítica.

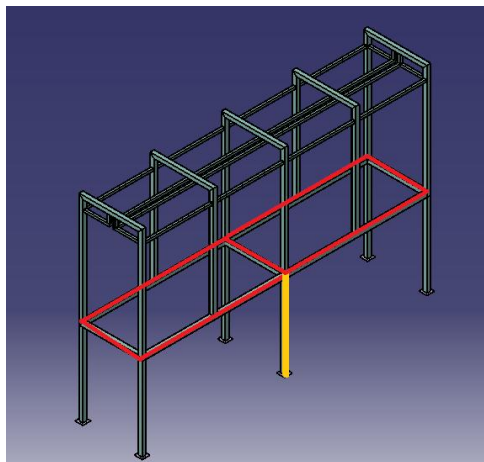


Figura A.35

- Peso de las piezas: Como el túnel tiene 7,3 [m] de largo y cada pieza a pintar de 32[kg] estará distancia por un metro de distancia. Entonces el peso de las piezas se denotara y calcula como:

$$P_{piezas} = 8 * 32 [kg] = 256 [kg]$$

Se consideraron 8 piezas en vez de 7,3 para redondear valores.

- Peso del perfil IPN: Son aproximadamente 8 metros de largo que tendrá la cabina, por lo tanto deberá cargar con la misma longitud del riel de transporte IPN 100 de $8.53 \left[\frac{kg}{m} \right]$. Entonces el peso del perfil va a ser:

$$P_{IPN-100} = 8[m] * 8.53 \left[\frac{kg}{m} \right] = 68,24 [kg]$$

- Peso de las cañerías: En la siguiente figura se muestran las longitudes de tubería en función de los sistemas de pulverización y sus diámetros, las cuales si se multiplican por el peso por unidad de longitud de cada tipo de cañería se obtiene el peso total.

Nro. de cortinas	2"- 1,57[kg/m]	1 1/4"- 1,28[kg/m]	1"- 0,756[kg/m]	3/4"- 0,555[kg/m]
4 (x2)	4,8[m]	6,1[m]	-	12,8[m]
3	2,4[m]	2,45[m]	-	9,6[m]
2 (x2)	-	4,8[m]	3,7[m]	12,8[m]
	$\Sigma=7,2[m]$	$\Sigma=13,35[m]$	$\Sigma=3,7[m]$	$\Sigma=35,2[m]$
Peso [kg]	11,3	17,09	2,8	19,54

Tabla A,3

La sumatoria de cada uno nos da un peso total de las cañerías de 50,73 [kg], que teniendo en cuenta que se debería adicionar el correspondiente a todos los accesorios se le sumara un 20% más:

$$P_{cañerías} = 50,73 [kg] + 0,2 * 50,73[kg] = 60,9[kg]$$

- Peso de chapas AISI 310: La cabina está recubierta con placas de acero inoxidable de 0,8[mm] de espesor y un peso de $6,4[kg/m^2]$. Con las medidas propuestas en el diseño se obtienen los siguientes pesos individuales y el total:

Placa	Medidas[m]	Área[m ²]	Cantidad	Peso[kg]
Lateral	7,3x2,9	21,17	2	270,976
Puertas	-	3,84	2	49,152
Superior	0,75x7,3	5,475	2	70,08
Inferior	7,3x1,6	11,68	2	149,504
				Σ 539,712

Tabla A.4

El peso total de las placas será:

$$P_{placas} = 539,712[kg]$$

- Peso de largueros: El túnel cuenta con una serie de largueros de tubo estructural cuadrado de 60x60, 1,6 [mm] de espesor, y 2,9[kg/m]. Sabiendo que son 29[m] de este en toda la estructura, su peso es:

$$P_{60x60} = 2,9\left[\frac{kg}{m}\right] * 29 [m] = 84,7 [kg]$$

- Peso de los arcos: Cinco curvaturas en forma de “U” invertida serán añadidas a la base para soportar el riel con las piezas y serán construidos de tubos de sección cuadrado 100x100, 6,35 [mm] de espesor y un peso de 18,13 $\left[\frac{kg}{m}\right]$.

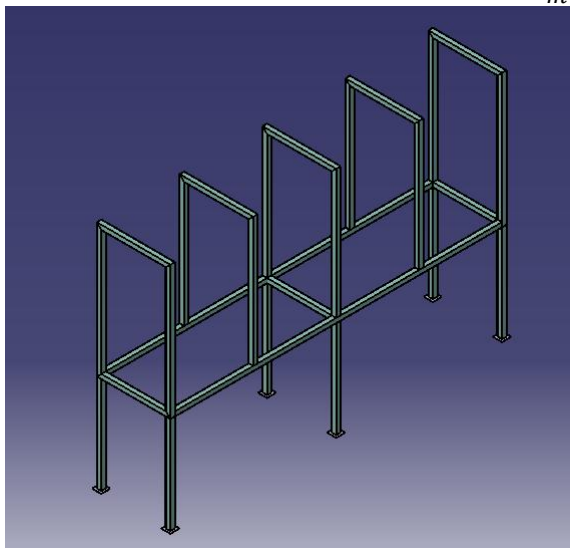


Figura A.36

Teniendo en cuenta que cada arco tiene 2,8[m]x1,6[m] el peso de los arcos será:

$$P_{arcos} = (2,8 + 1,6 + 2,8)[m] * 8,53 \left[\frac{kg}{m}\right] * 5 = 307,08 [kg]$$

- Peso de la base: Esta será construida con el mismo material de los arcos. Conociendo que se cuenta con una plataforma de dos largueros de 7,3[m] y 3 travesaños de 1,5[m], su peso será:

$$P_{base} = (7,3[m] * 2 + 1,5[m] * 3) * 8,53 \left[\frac{kg}{m}\right] * 5 = 162,92 [kg]$$

- Peso total:

$$P_{total} = P_{base} + P_{arcos} + P_{60x60} + P_{placas} + P_{cañerías} + P_{IPN-100} + P_{piezas} =$$

$$P_{TOTAL} = 1479[kg]$$

Vigas

Se dividirá la carga sobre la base en 2 ya que se pueden considerar dos cuadrantes en la misma como se ve en la figura. Por lo que la carga por cuadrícula que la llamaremos “W” será el cociente del peso total calculado (menos el peso de la base) sobre 2:

$$W = \frac{P_{total} - P_{base}}{2} = \frac{1479 [kg] - 162,92}{2} = 658,04[kg]$$

A su vez también se puede considerar que la carga se transmite uniformemente y solamente a cada viga larga, dividiéndose la mitad de la carga para cada uno. Esta consideración nos hace trabajar desde una perspectiva conservativa.

La carga “w” en las vigas largas es:

$$w = \frac{658,04[kg]}{2} = 329,02[kg]$$

Como las mencionadas, están sometidas al mismo esfuerzo y tienen las mismas longitudes de 3650[mm], escogeremos cualquiera de ellas para analizar. La carga distribuida proporcionada por la estructura sobre cada una de estas que denotaremos “q₁” será:

$$q_1 = \frac{w}{long. de la viga} = \frac{329,04[kg]}{3650[mm]} = 0.1 \left[\frac{kg}{mm} \right]$$

En base a datos del fabricante de tubos (TUBOS ARGENTINOS) se tiene una sección de 100[mm] x 100[mm], 6.35 [mm] de espesor, un peso que denotaremos “q₂” de 0.018129 [kg/mm] y un momento de inercia $I_x = 349.299 \times 10^4 [mm^4]$.

La carga distribuida total “q” va a ser la suma de “q₁” y “q₂”:

$$q = q_1 + q_2 = 0.1 + 0.018129 = 0.118 \left[\frac{kg}{mm} \right]$$

La viga se la puede simbolizar de la siguiente manera:

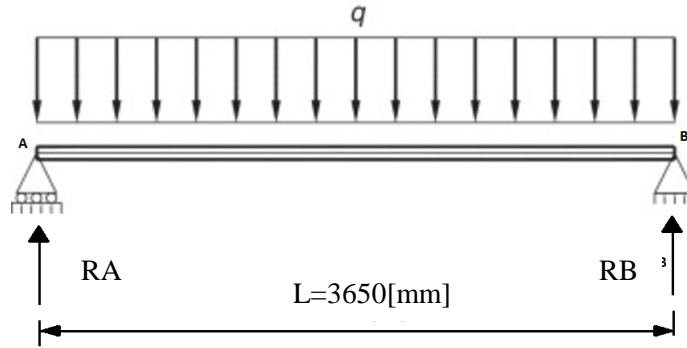


Figura A.37

Calculando el momento en el punto “A” y tomando positivo el sentido anti horario:

$$\sum MA = 0$$

$$\sum MA = R_B * L - q * L * \frac{L}{2} = 0$$

Despejando podemos calcular la reacción en el punto “B”:

$$R_B = \frac{q * L * \frac{L}{2}}{L} = \frac{0.118 * 3650 * \frac{3650}{2}}{3650} = 215,35[kg]$$

Realizando sumatoria de fuerzas verticales se tendrá:

$$\sum Fv = 0$$

$$\sum Fv = R_A + R_B - q * L = 0$$

Y despejando obtenemos la otra reacción:

$$R_A = q * L - R_B = 0.118 * 3650 - 215,35 = 215,35[kg]$$

Ya con las solicitaciones calculadas en los extremos se está en condiciones de calcular la flecha máxima y para ello se va a utilizar el método de la doble integración:

$$M_f = E * I_x * y''$$

M_f : Momento flector

I_x : Momento de inercia del perfil del material

E : Modulo elastico del material

Al realizar la primera integral de “ y'' ”, se obtiene “ y' ” que representa el ángulo de giro que se forma en la sección transversal de la viga inicialmente normal a su eje, y al integrar una vez más se obtiene “ y ” que es la flecha de la viga.

$$E * I_x * y' = \int M_f * dx + C$$

$$E * I_x * y = \int dx \int M_f * dx + C + D$$

Siendo C y D constantes de integración.

Como se sabe la flecha “ y ” es el desplazamiento de la viga en su posición horizontal, hacia un segundo punto después que se aplicó la carga produciendo la deformación de esta.

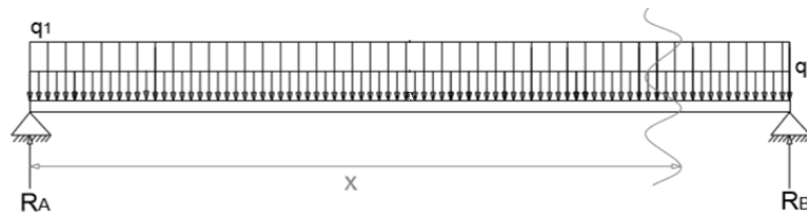


Figura A.38

Realizando la sumatoria de momentos en el punto donde la distancia de la viga es x como se ve en la figura se tendrá:

$$E * I_x * y'' = R_A * x - q_1 * x * \left(\frac{x}{2}\right) - q_2 * x * \left(\frac{x}{2}\right)$$

Realizando la primera integración:

$$E * I_x * y' = R_A * \frac{x^2}{2} - q_1 * \frac{x^3}{6} - q_2 * \frac{x^3}{6} + C$$

Y la segunda:

$$E * I_x * y = R_A * \frac{x^3}{6} - q_1 * \frac{x^4}{24} - q_2 * \frac{x^4}{24} + C * x + D$$

Ahora se calcula las constantes de integración para lo que se tiene las siguientes condiciones de contorno:

$x=0$: La deformación es nula, entonces $y=0$ y:

$$E * I_x * 0 = R_A * \frac{0^3}{6} - q_1 * \frac{0^4}{24} - q_2 * \frac{0^4}{24} + C * 0 + D$$

Por lo tanto $D=0$

$x=l$: la deformación también va a ser nula, entonces $y=0$ y:

$$E * I_x * 0 = R_A * \frac{L^3}{6} - q_1 * \frac{L^4}{24} - q_2 * \frac{L^4}{24} + C * L + 0$$

Despejando se obtiene:

$$C = \frac{\frac{L^4}{24}(q_1 + q_2) - R_A * \frac{L^3}{6}}{L} = \frac{\frac{3650^4}{24}(0.118) - 215,35 * \frac{3650^3}{6}}{3650}$$

$$C = -239.0833x10^6$$

Ahora se está en condiciones de calcular la flecha máxima que se dará lógicamente en la mitad de la longitud del tubo. Entonces:

$$y_{max} = \frac{R_A * \left(\frac{L}{2}\right)^3 - q * \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^4}{24} + C * \left(\frac{L}{2}\right)}{E * I_x}$$

$$y_{max} = \frac{215,35 * \frac{\left(\frac{3650}{2}\right)^3}{6} - 0.118 * \frac{\left(\frac{3650}{2}\right)^4}{24} + (-239.0833x10^6) * \left(\frac{3650}{2}\right)}{20408.16 * 349.299x10^4}$$

$$y_{max} = -3,8[mm]$$

El resultado obtenido como se puede ver es muy bajo comparado con la longitud del tubo. El signo negativo implica un descenso de la deformada en forma de “U”

Ahora se procede a calcular el esfuerzo cortante y el momento flector máximo:

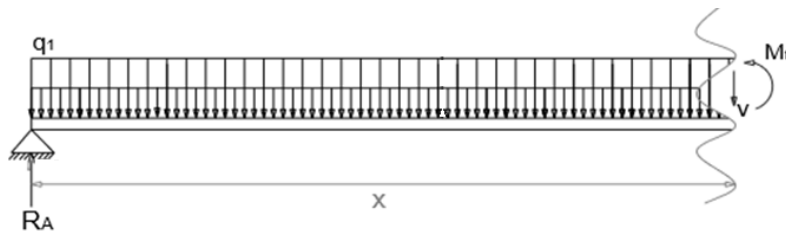


Figura A.39

$$\sum Fv = 0$$

$$\sum Fv = R_A - q(x) - V = 0$$

$$V = R_A - q(x)$$

Con esto se puede graficar la variación del esfuerzo cortante a lo largo de la viga:

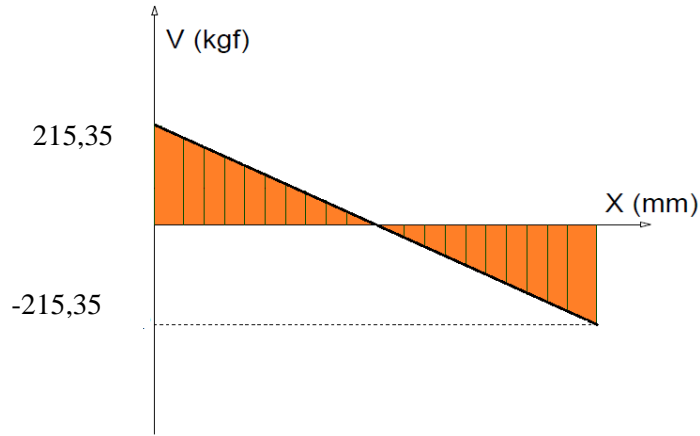


Figura A.40

El momento flector será:

$$\sum Mx = 0$$

$$\sum Mx = R_A * x - q * x * \frac{x}{2} - M_f = 0$$

$$M_f(x) = R_A * x - q * x * \frac{x}{2}$$

$$M_{f_{max}} = M_f\left(\frac{L}{2}\right) = 215,35[kg] * 1825[mm] - 0.118[kgmm] * 1825[mm] * \frac{1825[mm]}{2}$$

$$M_{f_{max}} = 196506,9[kgmm]$$

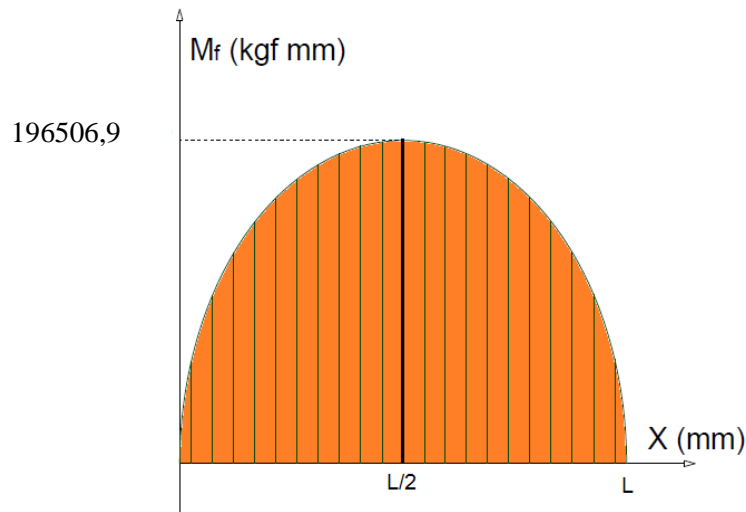


Figura A.41

Para calcular el esfuerzo máximo en la viga entonces:

$$\sigma = \frac{M_{f_{max}} * y_G}{I_x} = \frac{196506,9[kgmm] * 50[mm]}{349.299 \times 10^4 [mm^4]} = 2.81 \left[\frac{kg}{mm^2} \right]$$

Para calcular el coeficiente de seguridad se lo hará utilizando los momentos resistentes, comparando el tabulado ($W_{tab} = 64870 [mm^3]$) con el calculado " W_{calc} " de la siguiente manera:

$$C_s = \frac{W_{tab}}{W_{calc}}$$

Dónde:

$$W_{calc} = \frac{M_{f_{max}}}{S_y}$$

$$S_y = 25,3 \left[\frac{kg}{mm^2} \right] \text{ (límite de fluencia del material)}$$

$$W_{calc} = \frac{M_{f_{max}}}{S_y} = \frac{196506,9[kgmm]}{25,3 \left[\frac{kg}{mm^2} \right]} = 7767,07 [mm^3]$$

Por lo tanto:

$$C_s = \frac{W_{tab}}{W_{calc}} = \frac{64870 [mm^3]}{7767,07 [mm^3]} = 8,4$$

Columnas

Efectuaremos el análisis de pandeo de las columnas que soportan la carga de todo el túnel de pretratamiento, de igual forma q se realizó para las columnas del horno y tanque calentador. La característica del perfil es similar al usado en vigas de esta cabina 100x100 mm, pero en este caso con un espesor de pared de 1.6mm.

Calcularemos la relación de esbeltez:

$$SR = \frac{K * L}{r} = \frac{l_e}{r}$$

Dónde:

SR: Relación de esbeltez

K: Factor de fijación en los extremos

L: Longitud real de la columna entre dos puntos de apoyo

r: Radio de giro mínimo de la sección transversal de la columna

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = 4,01[\text{cm}](\text{dato de tabla})$$

Siendo:

I: Momento de inercia de la sección transversal de la columna respecto a uno de los ejes principales

A: Área de la sección transversal.

Se adopta un factor de fijación de 0,7, considerando un extremo de la columna articulada y el otro fijo al suelo.

$$SR = \frac{K * L}{r} = \frac{0.7 * 210[\text{cm}]}{4,01[\text{cm}]} = 36,66$$

Para determinar si la columna es larga o corta, se debe determinar la relación de esbeltez de transición o constante de la columna, y comparar con el valor de la relación de esbeltez obtenida anteriormente.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

Dónde:

C_c : Relación de esbeltez de transición

E: Modulo de elasticidad del material

S_y : Limite de fluencia del material

Remplazando valores:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 2 \times 10^{11}}{248 \times 10^6}} = 126.17$$

Si se evalúa la relación de esbeltez con la relación de esbeltez de transición se observa que $SR < C_c$ por lo tanto se afirma que la columna es corta y es posible utilizar la ecuación por J. B. Johnson del esfuerzo de compresión directa que se define como:

$$P_{cr} = A * S_y \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{l_e}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

Donde " P_{cr} " es la carga a la cual va a ocurrir pandeo. Calculando:

$$P_{cr} = 6,29[cm^2] * 2530.61 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \left[1 - \frac{248x10^6[Pa] \left(\frac{0.7 * 210[cm]}{4,01[cm]} \right)^2}{4\pi^2 2x10^{11}[Pa]} \right]$$

$$P_{cr} = 14154[kg]$$

La carga que soporte la columna deberá ser menos a esta carga critica obtenida para evitar pandeo. Para mantenernos en valores seguros se afectara este valor a una coeficiente de seguridad que para unificar utilizaremos el obtenido en el análisis de flexión CS=9. Por lo tanto la carga admisible “ P_a ” será:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{CS} = \frac{14154[kg]}{9} = 1572[kg]$$

Ahora bien el peso total sobre las columnas, será el peso sobre la base (obtenido para el cálculo estructural de vigas) más el peso de la base.

En las consideraciones de este análisis se dijo que se puede considerar el peso uniformemente distribuido así que le peso sobre cada columna “ $P_{columna}$ ” será, el peso total dividido el número de columnas que lo soportan a este:

$$P_{columna} = \frac{P \text{ total}}{Nro \text{ de columnas}} = \frac{1479[kg]}{6} = 246[kg]$$

Así se puede verificar que la carga en cada columna es muy inferior a la carga admisible y por lo tanto no hay peligro de pandeo.

Se podría disminuir la sección del tubo pero se deja en esta medida debido a cuestiones constructivas como ser que el perímetro de soldadura mayor me permitirá evitar reforzar la estructura con ángulos en las esquinas para evitar golpes en los arranques de la línea o cuando esta se bloquea por algún desperfecto.

CALCULO DE CADENAS Y TROLLEYS

Usando el manual de cálculo de Reynolds (proveedor a nivel mundial de cadenas, cintas transportadoras, trolleys, etc.) se puede determinar el tipo de cadena y carro transportador adecuado.

Se debe iniciar proponiendo un peso para el dispositivo de montaje de la pieza en la línea, peso de la cadena y peso del carro para hacer un cálculo preliminar y luego corregir con valores catalogados. Se propone:

$$W_c = 2 \left[\frac{kg}{m} \right] + 5 \left[\frac{kg}{m} \right] = 7 \left[\frac{kg}{m} \right] \text{ (Peso del colgador + cadena)}$$

$$W_m = 32 \left[\frac{kg}{m} \right] \text{ (Peso de la pieza)}$$

$$\mu_{Horiz.} = 0,15 \text{ (Coeficiente de rozamiento horizontal)}$$

$$\mu_{descenso} = \mu * \cos\alpha - \text{sen}\alpha \text{ (Coeficiente de rozamiento para un descenso } \alpha \text{)}$$

$$\mu_{ascenso} = \mu * \cos\alpha + \text{sen}\alpha \text{ (Coeficiente de rozamiento para un ascenso } \alpha \text{)}$$

$$F = [(W_c + W_m) * L * \mu * g] \text{ (Fuerza de arrastre)}$$

Donde el coeficiente de rozamiento “ μ ” en la última ecuación va a depender de si se el recorrido es horizontal, ascenso o descenso.

L y g son la longitud del recorrido y aceleración de la gravedad respectivamente.

En base a cada tramo de recorrido de la cadena que se muestra en la siguiente figura se calculan las fuerzas necesarias para jalar.

En la tabla se calculó cada fuerza y su acumulado tanto para las fuerzas positivas necesarias para trayectos horizontales o ascensos negativas también provocadas por los descensos. Para esto se usó los coeficientes de fricción adecuados para situación y longitudes “L”.

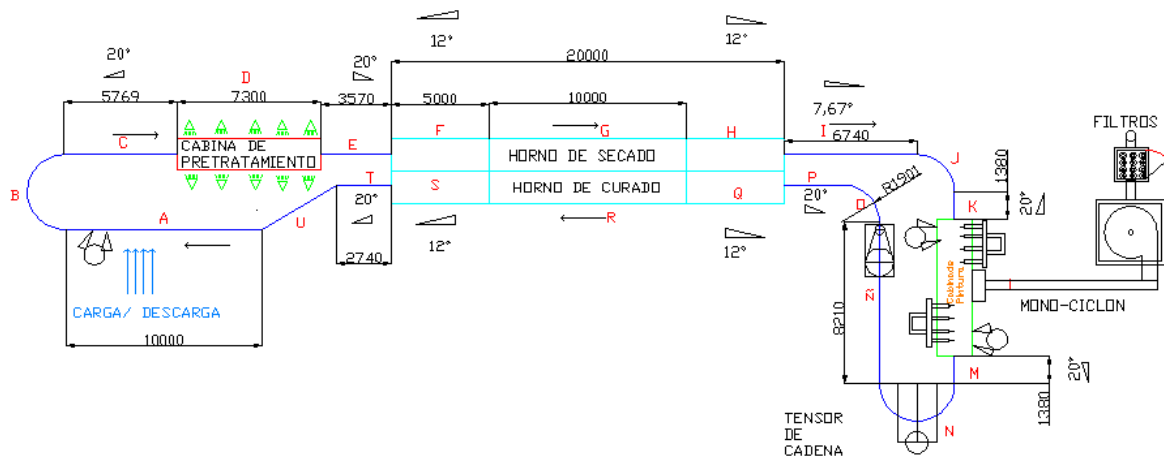


Figura A.42

Tramo	Descripción	L[m]	μ	F[N]	F ac. (+)	F ac. (-)
A	Horizontal	10	0,15	573,9	573,9	0
B	Recorrido en tramo curvo	6	0,15	344,3	918,2	0
B'	Giro 180° de B (1,05*F)			964,1	964,1	0
C	Ascenso 20°	5,8	0,483	1071,8	2035,9	0
D	Horizontal	7,3	0,15	418,9	2454,9	0
E	Descenso 20°	3,57	-0,201	-211,2	2454,9	-211,18
F	Ascenso 12°	5	0,35	669,53	3124,4	-211,18
G	Horizontal	10	0,15	573,89	3698,3	-211,18
H	Descenso 12°	5	-0,061	-116,69	3698,3	-327,87
I	Descenso 7,67°	6,74	0,015	38,68	3736,98	-327,86
J	Recorrido en tramo curvo	3	0,15	172,17	3909,15	-327,86
J'	Giro 90° (1,025*F)			4006,87	4006,87	-327,86
K	Ascenso 20°	1,38	0,483	255,01	4261,88	-327,86
L	Horizontal	7	0,15	401,72	4663,60	-327,86
M	Descenso 20°	1,38	-0,201	-106,12	4663,60	-433,98
N	Recorrido en tramo curvo	3	0,15	172,17	4835,77	-433,98
N'	Giro 90° (1,025*F)			4956,66	4956,65	-433,98
Ñ	Horizontal	8,21	0,15	471,16	5427,81	-433,98
O	Recorrido en tramo curvo	3	0,15	172,17	5599,98	-433,98
O'	Giro 90° (1,025*F)			5739,97	5739,97	-433,98
P	Ascenso 20°	2,74	0,483	506,33	6246,30	-433,98
Q	Ascenso 12°	5	0,35	669,53	6915,83	-433,98
R	Horizontal	10	0,15	573,89	7489,71	-433,98
S	Descenso 12°	5	-0,061	-116,69	7489,71	-550,67
T	Descenso 20°	2,74	-0,201	-210,71	7489,71	-761,38
U	Horizontal	4	0,15	229,55	7719,27	-761,38
U'	Por radios considero giro 90°			7912,25	7912,25	-761,38

Tabla A.5

En función de los valores finales acumulados (negrita) se escoge de catálogo una carro transportados de la marca Renolds, modelo “Extra strenght serie 7000lb” para una fuerza de tracción de 67000 [N], 4” de paso y un peso de 2,42 [kg/m]. Además se escoge la cadena marca Renolds de 67000[N], de paso standard de 4” y un peso de 6,43[kg/m]. Por lo tanto la nueva masa W_c del colgador + la de la cadena será:

$$W_c = 2,42 \left[\frac{kg}{m} \right] + 6,43 \left[\frac{kg}{m} \right] = 8,85 \left[\frac{kg}{m} \right]$$

Recalculando la tabla anterior y variando este peso se tiene que las fuerzas acumuladas positivas y negativas son:

$$F=8050,96[N]$$

$$F=-867,93[N]$$

Se está en condiciones de calcular el coeficiente de seguridad CS para cadenas y trolleys, donde:

$$CS = \frac{67000[N]}{8050,96[N]} = 8,32$$

La potencia necesaria para mantener en movimiento el sistema será el producto de la fuerza de arrastre por la velocidad de la línea:

$$Potencia = F * V = 8050,96[N] * \frac{0,42 \left[\frac{m}{s} \right]}{60} = 57[W]$$

Cabe aclarar que la potencia es muy baja debido a que es la potencia requerida para mantener en movimiento la línea cargada a una velocidad demasiado baja. La potencia del motor de tracción deberá ser mucho mayor para romper la inercia al momento de arranque.

Considerando una estrella de 8 dientes con 398[mm], las revoluciones por minuto de estas deben ser:

$$RPM = \frac{\frac{0,42 \left[\frac{m}{s} \right]}{60} * 60}{0,398[m] * \pi} = 0,33 \text{ RPM}$$

El torque en el eje necesario será:

$$Torque = (8050,96 - 867,03)[N] * \frac{0,398[m]}{2} = 1429,6[N * m]$$

CALCULO ESTRUCTURAL DEL RIEL

Se propone para empezar el cálculo un perfil IPN 100 para utilizar de guía en toda la línea el cual estará sostenido por columnas del tubo estructural de 60x60 de 2,8 metros de largo y separadas cada 4 metros.

Vigas:

Se tiene los siguientes pesos:

$$W_c = 2,42 \left[\frac{kg}{m} \right] + 6,43 \left[\frac{kg}{m} \right] = 8,85 \left[\frac{kg}{m} \right] \text{ (Peso del trolley + cadena)}$$

$$W_m = 32 \left[\frac{kg}{m} \right] \text{ (Peso de la pieza)}$$

$$W_r = 8,1 \left[\frac{kg}{m} \right] \text{ (Peso del riel)}$$

$$I=171[cm^4] \text{ (momento de inercia en el eje transversal)}$$

$$W = 34200 [mm^3] \text{ (Momento resistente en el eje transversal)}$$

$A = 10,6 [cm^2]$ (Área transversal)

La carga distribuida proporcionada por la estructura sobre cada una de estas que denotaremos “q” será:

$$q = W_c + W_m + W_r = 0,042 \left[\frac{kg}{mm} \right]$$

La viga se la puede simbolizar de la siguiente manera:

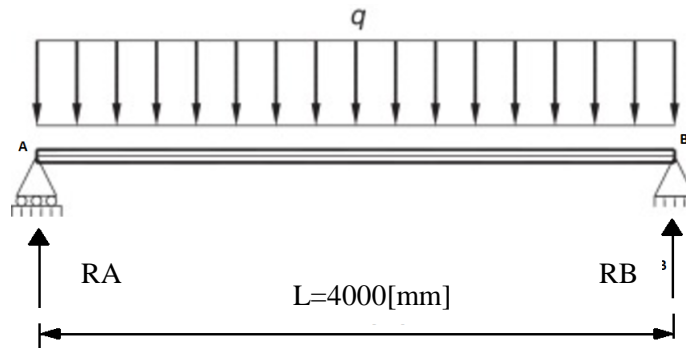


Figura A.43

Calculando el momento en el punto “A” y tomando positivo el sentido anti horario:

$$\sum MA = 0$$

$$\sum MA = R_B * L - q * L * \frac{L}{2} = 0$$

Despejando podemos calcular la reacción en el punto “B”:

$$R_B = \frac{q * L * \frac{L}{2}}{L} = \frac{0,042 * 4000 * \frac{4000}{2}}{4000} = 85[kg]$$

Realizando sumatoria de fuerzas verticales se tendrá:

$$\sum Fv = 0$$

$$\sum Fv = R_A + R_B - q * L = 0$$

Y despejando obtenemos la otra reacción:

$$R_A = q * L - R_B = 0,042 * 4000 - 85 = 85[kg]$$

Ya con las solicitaciones calculadas en los extremos se está en condiciones de calcular la flecha máxima y para ello se va a utilizar el método de la doble integración:

$$M_f = E * I_x * y''$$

M_f : Momento flector

I_x : Momento de inercia del perfil del material

E : Modulo elastico del material

Al realizar la primera integral de “ y'' ”, se obtiene “ y' ” que representa el ángulo de giro que se forma en la sección transversal de la viga inicialmente normal a su eje, y al integrar una vez más se obtiene “ y ” que es la flecha de la viga.

$$E * I_x * y' = \int M_f * dx + C$$

$$E * I_x * y = \int dx \int M_f * dx + C + D$$

Siendo C y D constantes de integración.

Como se sabe la flecha “ y ” es el desplazamiento de la viga en su posición horizontal, hacia un segundo punto después que se aplicó la carga produciendo la deformación de esta.

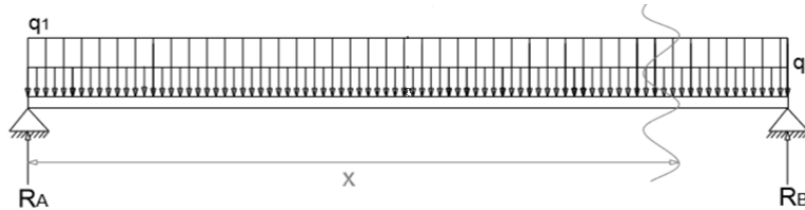


Figura A.44

Realizando la sumatoria de momentos en el punto donde la distancia de la viga es x como se ve en la figura se tendrá:

$$E * I_x * y'' = R_A * x - q_1 * x * \left(\frac{x}{2}\right) - q_2 * x * \left(\frac{x}{2}\right)$$

Realizando la primera integración:

$$E * I_x * y' = R_A * \frac{x^2}{2} - q_1 * \frac{x^3}{6} - q_2 * \frac{x^3}{6} + C$$

Y la segunda:

$$E * I_x * y = R_A * \frac{x^3}{6} - q_1 * \frac{x^4}{24} - q_2 * \frac{x^4}{24} + C * x + D$$

Ahora se calcula las constantes de integración para lo que se tiene las siguientes condiciones de contorno:

x=0: La deformación es nula, entonces y=0 y:

$$E * I_x * 0 = R_A * \frac{0^3}{6} - q_1 * \frac{0^4}{24} - q_2 * \frac{0^4}{24} + C * 0 + D$$

Por lo tanto D=0

x=l: la deformación también va a ser nula, entonces y=0 y:

$$E * I_x * 0 = R_A * \frac{L^3}{6} - q_1 * \frac{L^4}{24} - q_2 * \frac{L^4}{24} + C * L + 0$$

Despejando se obtiene:

$$C = \frac{\frac{L^4}{24}(q) - R_A * \frac{L^3}{6}}{L} = \frac{\frac{6000^4}{24}(0.0425) - 127,56 * \frac{6000^3}{6}}{6000}$$

$$C = -151,22 \times 10^6$$

Ahora se está en condiciones de calcular la flecha máxima que se dará lógicamente en la mitad de la longitud del tubo. Entonces:

$$y_{max} = \frac{R_A * \left(\frac{L}{2}\right)^3 - q * \left(\frac{L}{2}\right)^4 + C * \left(\frac{L}{2}\right)}{E * I_x}$$

$$y_{max} = \frac{85 * \frac{\left(\frac{4000}{2}\right)^3}{6} - 0.0425 * \frac{\left(\frac{4000}{2}\right)^4}{24} + (-151,22 \times 10^6) * \left(\frac{4000}{2}\right)}{20408.16 * 171 \times 10^4}$$

$$y_{max} = -6.2 [mm]$$

El resultado obtenido como se puede ver es muy bajo comparado con la longitud del perfil. El signo negativo implica un descenso de la deformada en forma de “U”

Ahora se procede a calcular el esfuerzo cortante y el momento flector máximo:

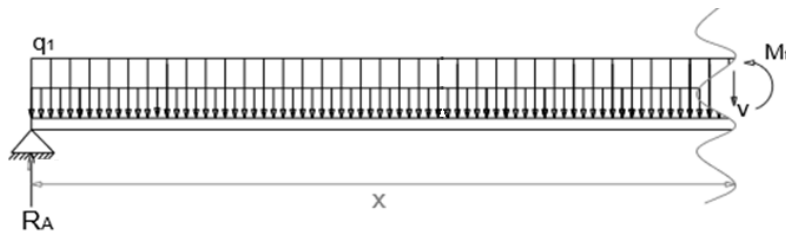


Figura A.45

$$\sum Fv = 0$$

$$\sum Fv = R_A - q(x) - V = 0$$

$$V = R_A - q(x)$$

Con esto se puede graficar la variación del esfuerzo cortante a lo largo de la viga:

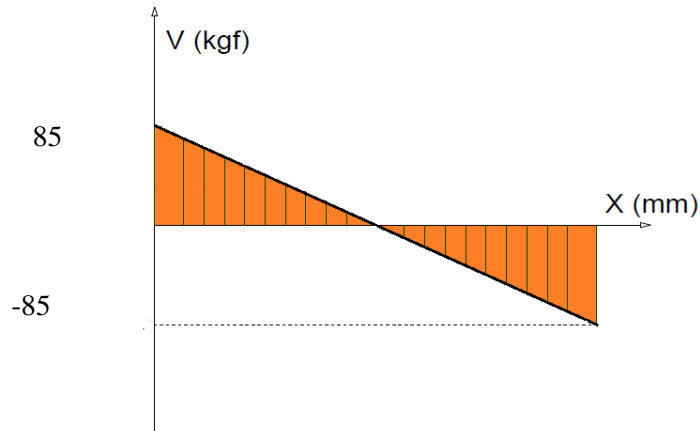


Figura A.46

El momento flector será:

$$\sum Mx = 0$$

$$\sum Mx = R_A * x - q * x * \frac{x}{2} - M_f = 0$$

$$M_f(x) = R_A * x - q * x * \frac{x}{2}$$

$$M_{f_{max}} = M_f\left(\frac{L}{2}\right) = 85[kg] * 2000[mm] - 0.0425[kgmm] * 2000[mm] * \frac{2000[mm]}{2}$$

$$M_{f_{max}} = 85000[kgmm]$$

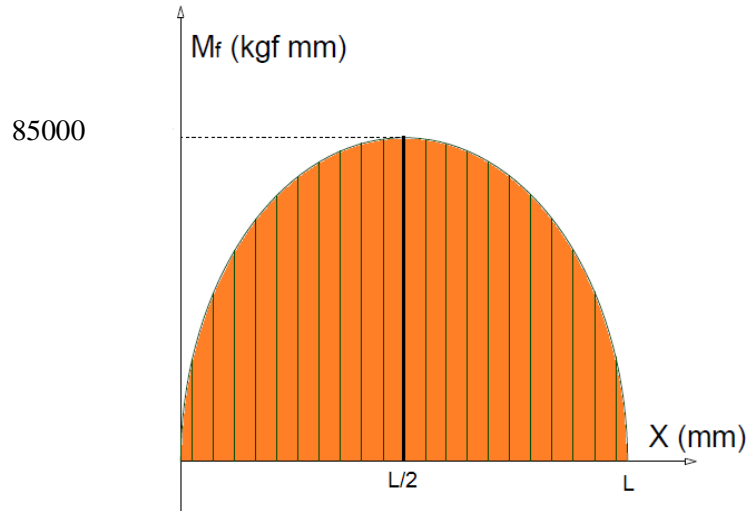


Figura A.47

Para calcular el esfuerzo máximo en la viga entonces:

$$\sigma = \frac{M_{f_{max}} * y_G}{I_x} = \frac{85000[kgmm] * 50[mm]}{171 \times 10^4 [mm^4]} = 2.48 \left[\frac{kg}{mm^2} \right]$$

Para calcular el coeficiente de seguridad se lo hará utilizando los momentos resistentes, comparando el tabulado ($W_{tab} = 64870 [mm^3]$) con el calculado " W_{calc} " de la siguiente manera:

$$C_s = \frac{W_{tab}}{W_{calc}}$$

Dónde:

$$W_{calc} = \frac{M_{f_{max}}}{S_y}$$

$$S_y = 25,3 \left[\frac{kg}{mm^2} \right] \text{ (límite de fluencia del material)}$$

$$W_{calc} = \frac{M_{f_{max}}}{S_y} = \frac{85000[kgmm]}{25,3 \left[\frac{kg}{mm^2} \right]} = 3359,68 [mm^3]$$

Por lo tanto:

$$C_s = \frac{W_{tab}}{W_{calc}} = \frac{34200 [mm^3]}{3359,68 [mm^3]} = 10,17$$

Columnas

Se propone tubo estructural de sección cuadrada de 60x60[mm], 2[mm] de espesor

$I=26,06[cm^4]$ (momento de inercia en el eje transversal)

$W = 8,68 [cm^3]$ (Momento resistente en el eje transversal)

$A = 4,64 [cm^2]$ (Área transversal)

Calcularemos la relación de esbeltez:

$$SR = \frac{K * L}{r} = \frac{l_e}{r}$$

Dónde:

SR: Relación de esbeltez

K: Factor de fijación en los extremos

L: Longitud real de la columna entre dos puntos de apoyo

r: Radio de giro mínimo de la sección transversal de la columna

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = 2,56[cm](dato)$$

Siendo:

I: Momento de inercia de la sección transversal de la columna respecto a uno de los ejes principales

A: Área de la sección transversal.

Se adopta un factor de fijación de 0,7, considerando un extremo de la columna articulada y el otro fijo al suelo.

$$SR = \frac{K * L}{r} = \frac{0.7 * 280[cm]}{2,56[cm]} = 76,56$$

Para determinar si la columna es larga o corta, se debe determinar la relación de esbeltez de transición o constante de la columna, y comparar con el valor de la relación de esbeltez obtenida anteriormente.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

Dónde:

C_c : Relación de esbeltez de transición

E: Modulo de elasticidad del material

S_y : Limite de fluencia del material

Remplazando valores:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 2 \times 10^{11}}{248 \times 10^6}} = 126.17$$

Si se evalúa la relación de esbeltez con la relación de esbeltez de transición se observa que $SR < C_c$ por lo tanto se afirma que la columna es corta y es posible utilizar la ecuación por J. B. Johnson del esfuerzo de compresión directa que se define como:

$$P_{cr} = A * S_y \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{l_e}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

Donde " P_{cr} " es la carga a la cual va a ocurrir pandeo. Calculando:

$$P_{cr} = 4,64[cm^2] * 2530.61 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \left[1 - \frac{248 \times 10^6 [Pa] \left(\frac{0.7 * 280 [cm]}{2,56 [cm]} \right)^2}{4\pi^2 2 \times 10^{11} [Pa]} \right]$$

$$P_{cr} = 9580[kg]$$

La carga que soporte la columna deberá ser menos a esta carga critica obtenida para evitar pandeo. Para mantenernos en valores seguros se afectara este valor a una coeficiente de seguridad que para unificar utilizaremos el obtenido en el análisis de flexión $CS=10$. Por lo tanto la carga admisible " P_a " será:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{CS} = \frac{9580[kg]}{10} = 958[kg]$$

Ahora bien el peso total sobre las columnas, será el peso de todas las piezas en los 4 metros de la longitud de la viga, cadena, trolleys y riel. Por lo tanto se tiene respectivamente:

$$P_{total} = (32 + 6,43 + 2,42 + 8,1) \left[\frac{kg}{m} \right] * 4[m] = 196[kg]$$

La mitad de peso de cada tramo de viga será repartido para cada columna, pero por cada una de estas últimas apoyan dos vigas el peso por columna será el peso total anteriormente calculado:

$$P_{columna} = P_{total} = 196[kg]$$

Así se puede verificar que la carga en cada columna es muy inferior a la carga admisible y por lo tanto no hay peligro de pandeo.

Se podría disminuir la sección del tubo pero se deja en esta medida debido a cuestiones constructivas como ser que el perímetro de soldadura mayor me permitirá evitar reforzar la estructura con ángulos en las esquinas para evitar golpes en los arranques de la línea o cuando esta se bloquea por algún desperfecto.

TABLAS

TABLE 1.4 Order of magnitude of convection heat transfer coefficients \bar{h}_c

Fluid	Convection Heat Transfer Coefficient	
	W/m ² K	Btu/h ft ² °F
Air, free convection	6–30	1–5
Superheated steam or air, forced convection	30–300	5–50
Oil, forced convection	60–1,800	10–300
Water, forced convection	300–18,000	50–3,000
Water, boiling	3,000–60,000	500–10,000
Steam, condensing	6,000–120,000	1,000–20,000

Tabla T.1

COLCHONETA TELISOL

➤ PRESENTACIÓN:

Colchoneta de lana de vidrio ISOVER sin aglomerante, cosida sobre un soporte de alambre galvanizado de malla hexagonal mediante hilo metálico.

➤ APLICACIÓN:

Aislamiento térmico y acústico de equipos, calderas, tanques, grandes conductos de aire caliente, tuberías de gran tamaño y accesorios en general.

➤ REACCIÓN AL FUEGO:

INCOMBUSTIBLE
RE1 según Norma IRAM 11910
MO según Norma UNE 23727

➤ DENSIDAD ÓPTICA DE HUMOS:

NIVEL 1.
No emite humos oscuros ni chorrea partículas encendidas.

➤ TEMPERATURA DE TRABAJO:

Temperatura máxima de utilización: 500 °C

➤ CORROSIÓN:

El producto se ubica en la "zona aceptable" del diagrama de Karnes, no corrosivo según ensayos ASTM C 795/77 y ASTM C 871/77.

➤ RESISTENCIA TÉRMICA:

➤ SUSTENTABILIDAD:

La utilización de las lanas de vidrio hacen sustentables las construcciones. Mejora y disminuye sensiblemente los consumos de calefacción y refrigeración dado que se minimizan las pérdidas de energía y las emisiones de CO₂. Ahorro de energía >66% en facturas de gas y electricidad. En la fabricación de las lanas de vidrio se utiliza un 70% de vidrio reciclado. No se requiere energía para su instalación.

➤ PROPIEDADES DEL TELISOL

Alta resistencia térmica. Bajo coeficiente de conductividad. Coeficiente constante. Contribuye al ahorro energético. Seguridad frente al fuego. Mantiene la temperatura constante en el interior. Alta absorción acústica dada su gran elasticidad. Material estable dimensionalmente. Dadas sus propiedades elásticas le permite adaptarse a superficies irregulares e intrincadas facilitando su instalación. Producto sustentable. No es corrosivo. Fácil de cortar y manipular. Mantiene sus propiedades a través del tiempo. Resistente a los productos químicos. No resulta comestible para los insectos.

Producto	Dimensiones			Resistencia térmica		
	espesor	ancho	largo	m ² h °C/Kcal	m ² K/W	Pie h °F t/ BTU
	mm	m	m			
Colchoneta Telisol	50	1.2	3.0	1.8	1.6	8.9
	75			2.7	2.3	13.3
	100			3.6	3.1	17.8

Tabla T.2


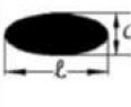

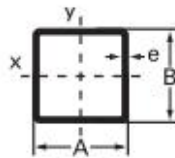
Forma	Caso	Apoyos		K_1	K_2	K_3	K_4
		Giro	Axial				
	1	Libre	Libre	$\frac{85,333}{(5+\nu)(1-\nu)}$	6	$\frac{8(3+\nu)}{(5+\nu)(1-\nu)}$	1,18
	2	Empotrado	Libre	$\frac{85,333}{1-\nu^2}$	13,7	$\frac{8/(1-\nu)}{16/(1-\nu^2)^*}$	1,6 2 *
	3	Empotrado	Restringido	$\frac{85,333}{1-\nu^2}$	$\frac{41,6}{1-\nu^2}$	$\frac{8/(1-\nu)}{16/(1-\nu^2)^*}$	1,8 3,9 *
	4	Libre	Restringido	$\frac{6,4+5,6\alpha+8,8\alpha^4}{1-\nu^2}$	$20+10\alpha^4$	$5,27+1,84\alpha^2$	2
	5	Empotrado	Restringido	$\frac{32+53,33\alpha^3}{1-\nu^2}$	$22+23,7\alpha^4$	$\frac{8,8+2,6\alpha^3}{17,58^*}$	1,8 3,4+0,5\alpha *
	6	Libre	Restringido	$\frac{6,4+14,3\alpha^3}{1-\nu^2}$	$20+16,6\alpha^4$	$5,27+1,23\alpha^{2,3}$	$2+0,9\alpha^2$
	7	Empotrado	Restringido	$\frac{32(1+\alpha^4)}{1-\nu^2}$	$22+17,6\alpha^4$	$\frac{8,8+1,2\alpha^3}{17,58^*}$	1,8 3,4+7,9\alpha *

Tabla T.3



DIMENSIÓN Size	ESPESOR Thickness e	RADIO Radius	PESO Weight	AREA DE LA SECCIÓN Sectional Area	MOMENTO DE INERCIA Moment of Inertia	MÓDULO DE INERCIA Elastic Modulus	RADIO DE GIRO Gyration Radius
A x B	mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ²	cm
50 x 50	2.00	3.00	2.960	3.840	14.771	5.908	1.961
	2.50	3.75	3.645	4.750	17.911	7.165	1.942
	3.20	4.80	4.564	5.990	21.970	8.788	1.915
	4.00	6.00	5.562	7.360	26.153	10.461	1.885
	4.75	7.13	6.445	8.598	29.663	11.865	1.857
60 x 60	1.60	2.40	2.900	3.738	21.261	7.087	2.385
	2.00	3.00	3.588	4.640	26.064	8.682	2.369
	2.50	3.75	4.430	5.750	31.745	10.582	2.350
	3.20	4.80	5.569	7.270	39.218	13.073	2.323
	4.00	6.00	6.818	8.960	47.070	15.690	2.292
	4.75	7.13	7.936	10.498	53.802	17.934	2.264
100 x 100	5.15	7.73	8.512	11.299	57.155	19.052	2.249
	1.60	2.40	4.909	6.298	101.655	20.331	4.018
	2.00	3.00	6.100	7.840	125.545	25.109	4.002
	2.50	3.75	7.570	9.750	154.578	30.916	3.982
	3.20	4.80	9.588	12.390	193.713	38.743	3.954
	4.00	6.00	11.842	15.360	236.339	47.268	3.923
	4.75	7.13	13.902	18.098	274.332	54.866	3.893
	5.15	7.73	14.981	19.539	293.837	58.767	3.878
6.35	9.53	18.129	23.787	349.299	69.860	3.832	

Tabla T.4

Denom. U.P.N.	Dimensiones					Sección F	Peso g	Valores estáticos					
	h	b	s	t	xg			J _x	J _y	W _x	W _y	i _x	i _{y=it}
	mm	mm	mm	mm	cm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm	cm
80	80	45	6,0	8,0	1,45	11,0	8,6	106	19,4	26,5	6,3	3,10	1,33
100	100	50	6,0	8,5	1,55	13,5	10,6	206	29,3	41,2	8,5	3,91	1,47
120	120	55	7,0	9,5	1,60	17,0	13,3	364	43,2	60,7	11,1	4,63	1,59
140	140	60	7,0	10,0	1,75	20,4	16,0	605	62,7	86,4	14,8	5,45	1,75
160	160	65	7,5	10,5	1,84	24,0	18,8	925	85,3	115,6	18,3	6,21	1,89
180	180	70	8,0	11,0	1,92	28,0	21,9	1350	114,0	150,0	22,4	6,94	2,02
200	200	75	8,5	11,5	2,01	32,2	25,2	1910	148,0	191,0	27,0	7,70	2,14
220	220	80	9,0	12,5	2,14	37,4	29,3	2690	197,0	244,0	33,6	8,48	2,30
240	240	85	9,5	13,0	2,23	42,3	33,1	3600	248,0	300,0	39,6	9,23	2,42
260	260	90	10,0	14,0	2,36	48,3	37,8	4820	317,0	370,8	47,7	9,99	2,56
280	280	95	10,0	15,0	2,53	53,3	41,8	6280	399,0	448,6	57,2	10,85	2,74
300	300	100	10,0	16,0	2,70	58,8	46,1	8030	495,0	535,3	67,8	11,69	2,90
320	320	100	14,0	17,5	2,60	75,8	59,4	10870	597,0	679,4	80,6	11,98	2,81
350	350	100	14,0	16,0	2,40	77,3	60,6	12840	570,0	733,7	75,0	12,89	2,72
380	380	102	13,5	16,0	2,38	80,4	63,0	15760	615,0	829,5	78,7	14,00	2,77
400	400	110	14,0	18,0	2,65	91,5	71,7	20350	864,0	1017,5	102,0	14,91	3,07

Tabla T.5

□ DESCRIPCIÓN

Formulado a base de resinas Poliéster y Epoxi, que le confieren una elevada resistencia al rayado superficial, excelente dureza y buena resistencia al sobrehorneo, manteniendo brillo y color originales.

Posee elevada adherencia sobre superficies metálicas y no metálicas termorresistentes.

Su película brinda una excelente terminación protectora y decorativa en una amplia gama de colores y acabados (lisos, martillados, texturados, etc.)

□ USOS

Se recomienda su uso para todo tipo de objeto de uso interior, tales como: lavarropas, lavavajillas y secarropas, (por su excelente resistencia a los jabones y/o detergentes), electrodomesticos en general, herramientas, autopartes, estanterías, herrajes, caños y tuberías, muebles de cocina, ventiladores, artículos de alambre en general, escaleras metálicas, sillas, expositores, juguetes, bandejas portacables, artículos de iluminación, medidores para gas, agua, electricidad, vidrio, cerámica, etc..

□ RECOMENDACIONES

NO SE RECOMIENDA para ser aplicado sobre piezas expuestas a la intemperie o a la acción de rayos ultravioletas, pues por dicha exposición en forma prolongada sufre entizado/pérdida de brillo.

NO REALIZAR ciclos de curado o temperaturas superiores a 200°C..

LAS SUPERFICIES A PINTAR deben estar perfectamente desengrasadas, libre de polvo, aceite y suciedad.

□ APLICACIÓN

Puede aplicarse con pistola electrostática, manual o automática, empleando una tensión de 60-80 Kv.

□ CURVA DE CURADO

Ciclo de horneo recomendado:

15 min. a 180°C

10 min. a 200°C

Nota: el tiempo se deberá contar a partir de que el objeto llegue a la temperatura seleccionada, dependiendo del tamaño y tipo de pieza.

□ PRETRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE.

En superficies metálicas se recomienda la utilización de tratamientos químicos tales como Fosfatizado de Hierro, Zinc y/o Cromatizado.

En superficies no metálicas se recomienda, según los casos que lo requieran, dar mordiente por medio de agentes químicos y/o mecánicos.

□ CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ESMALTE.

Sólido: 100 %

Rendimiento:

8 m²/Kg. en espesores de 70-80 micrones.

10 m²/Kg. en espesores de 50-60 micrones.

NOTA: dichos valores son estimativos dependiendo de la forma del elemento a pintar.

Determinación del tamaño partícula:

#80- 0 %

#140- 0,2%

#200- 4 %

#325- 70 %

Peso específico: 1,2/1,8 g/cm³ (según tipo y color)

Gel Time: 120-140 seg. a 180°C.

□ **PROPIEDADES FISICAS DE LA PELICULA**

PROPIEDAD	NORMA	TEST	RESULTADO
Dureza	ASTM 3363-74	Lápiz	H-4H
Resistencia al impacto	ASTM D 2794/84	Gardner 80-160 lb/pulg2	Directo: superior a 80 lb/pulg2 Inverso: superior a 80 lb/pulg2
Flexibilidad	ASTM D 522-85	Mandril cónico 1/8"	Perfecta
Adherencia	ASTM D 3359-83	Erichsen 1 mm	100%
Brillo	ASTM D 523-85	Gardner 60°	80 a 96% según acabado
Embutido	DIN 53156	Slow penetration	9-11 mm
Abrasión	ASTM D 4060-84	Taber 1000 ciclos	25,4 mg

□ **PROPIEDADES QUIMICAS DE LA PELICULA**

PROPIEDAD	NORMA	TEST	RESULTADO
Niebla salina	ASTM B 117-85		500 hs. perfecto
Cámara de humedad	ASTM D 1735	100% humedad a 45°C	500 hs. perfecto
Resistencia al amarilleo		Fade-o-meter	300 hs. buena
Resistencia a la intemperie	ASTM G 23/81	Weather-o-meter	No se recomienda p/uso exterior
Resistencia a U.V.		Q.U.V.	No se recomienda p/exp. U.V.

□ **ESTABILIDAD DE ALMACENAJE**

Buena durante 6 meses, no sobrepasando temperaturas superiores a 35°C, en ambientes secos.

□ **PRECAUCIONES DE SEGURIDAD**

- Evite la inhalación de pintura en polvo.
- Proteja sus ojos.
- Evite la acumulación de pintura en polvo en rincones y/o bordes de ventanas próximas a vías de ventilación.
- Utilice un equipo adecuado de limpieza, con conexión a tierra, para cualquier tipo de corriente estática y riesgos de explosión.

La información de esta hoja técnica proviene de nuestra experiencia, la cual debido al perfeccionamiento de nuestros productos es susceptible de ser modificada sin previo aviso.

Ruta Prov. 14 Km. 1,5 - (2121) PEREZ - SANTA FE - ARGENTINA - Tel/fax: 0341-4951794/94 - E-mail: info@caltalaf.com.ar

Tabla T.6

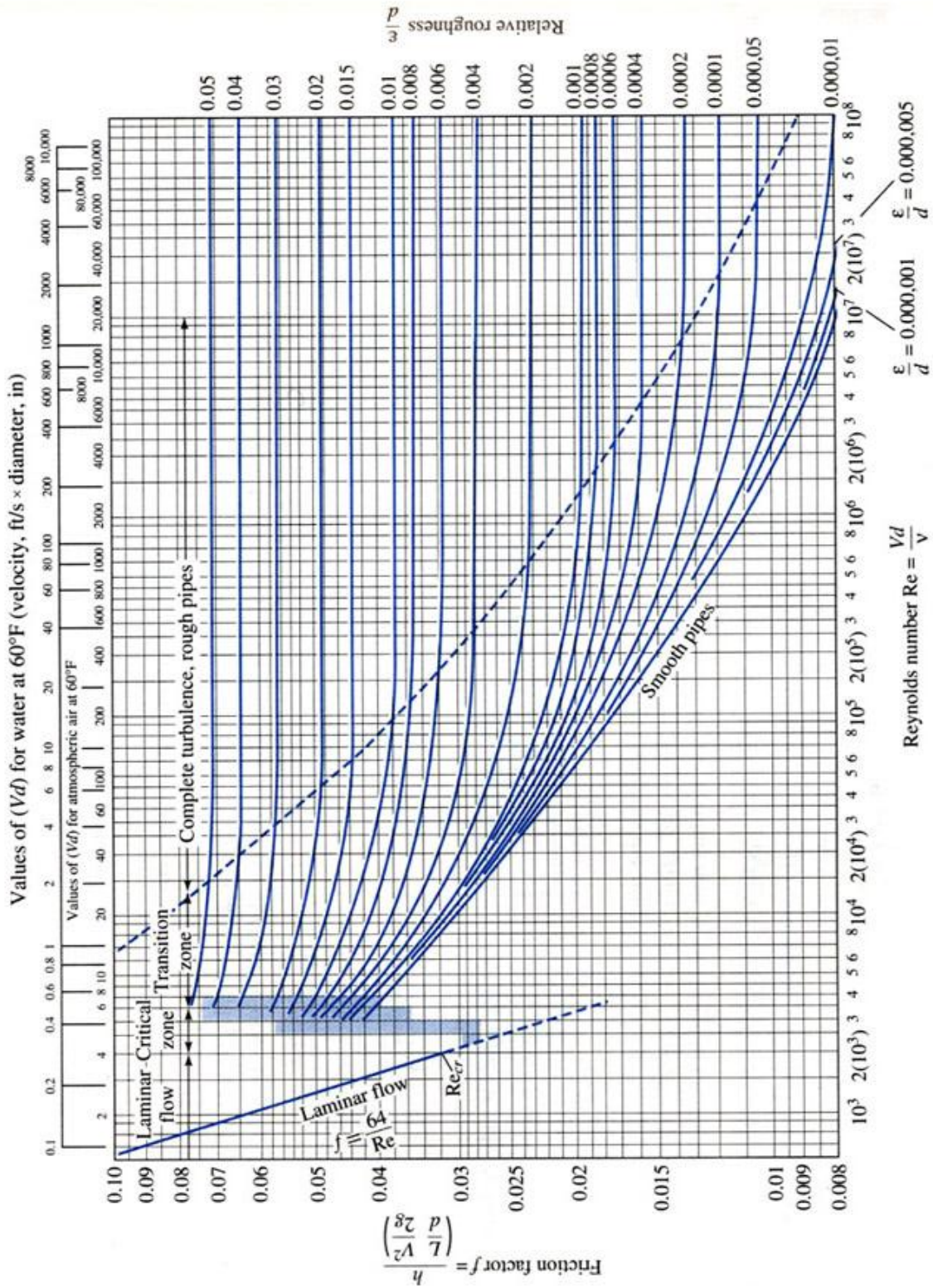


Diagrama de Moody

BIBLIOGRAFÍA:

<http://www.isover.com.ar/serdoc/40130912145415-TermicaModulo1.pdf>

<http://www.cedracanciani.com.ar/E1/Catalogo-Tubos-Estructurales.pdf>

Manual de cálculo de cadenas y trolleys- Renold

“Transferencia de calor y masa”- Yunus A. Cengel- Año 2007

“Mecánica de los fluidos” – Cengel –Año 2007

“Mecánica de los fluidos” – Fox y Mc Donalds –Año 1998

“Diseño en Ingeniería Mecánica”- Shigley J. Año 2009

Franco Salas & Pérez Urrestarazu, 2008

GLOSARIO

Aire de infiltración:

Aire que frío que se infiltra al ingresar por las aberturas de los túneles

Conductividad térmica:

Se refiere a la cantidad/velocidad de calor transmitida a través de un material. La transferencia de calor se produce en mayor proporción en los materiales con alta conductividad térmica con respecto a aquellos con baja conductividad térmica.

Convección:

Transmisión de calor en un fluido por movimiento de capas desigualmente calientes

Convección forzada:

Convección en donde el fluido es obligado a circular por interacción de medios externos

Convección natural:

Convección en donde el fluido es obligado a circular por interacción gravitatorias solamente.

Curado:

Etapas del proceso de pintura por deposición electrostática donde la pintura adherida eléctricamente se funde para formar una película duradera, resistente a golpes y de buen aspecto visual.

Electrostática:

Parte de la física que estudia las interacciones entre las cargas eléctricas en reposo

Fosfatado:

Proceso utilizado para la pasivación de piezas metálicas. Previene la corrosión y mejora la lubricación

Horno de secado:

Dispositivo que genera calor y lo mantiene encerrado en un habitáculo para la eliminación de humedad en las piezas que pasan por él.

Forzador:

Ventilador de accionamiento eléctrico utilizado para forzar la circulación de un gas.

Pandeo:

Fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos y que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión.

Powder coating:

Recubrimiento en polvo; proceso de pintura con deposición de polvo sobre la superficie para un posterior curado

Razón de transferencia de calor:

La Transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos diferentes.

Reciprocadores:

Sistema que permite el movimiento automático de los sistemas de pintura

Sello de aire:

Sistema utilizado en la entrada y salida del horno para que mediante forzadores y tuberías se retenga el calor en esa región.

Trolleys:

Carro transportador que se mueve sobre una guía

Vestíbulos:

Sector del túnel del horno destinado como etapa de pre-calentamiento (o post-enfriamiento)