

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“DISEÑO DE COLUMNAS DE UN HORNO CILINDRICO
VERTICAL PARA UNA REFINERIA DE PETROLEO”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

RAUL CHUQUIVILCA LOPEZ

PROMOCION

2005 - I

LIMA - PERU

2010

TABLA DE CONTENIDO

PROLOGO	5
CAPITULO 1	8
INTRODUCCION	8
1.1 Objetivo	10
1.2 Antecedentes	10
1.3 Alcance	14
CAPITULO 2	16
FUNDAMENTO TEORICO	16
2.1 Hornos	16
2.1.1 División de los hornos	16
2.1.1.1 Zona radiante	16
2.1.1.2 Zona de convección	17
2.1.1.3 Zona de blindaje (Shield).....	17
2.1.2 Tipos de Hornos	17
2.1.2.1 Tipo de caja o cabina (box heaters)	17
2.1.2.2 Tipo cilíndrico vertical.....	21
2.2 Tipos de Soportes para equipos de proceso.....	22
2.2.1 Soportes de Faldón	22
2.2.2 Soportes de columnas	25
2.2.3 Soportes de silleta.....	28
2.2.4 Soportes de anillo	31
2.2.5 Soportes combinados.....	32
2.3 Consideraciones para el diseño	33
2.4 Indicadores Financieros.....	35
2.4.1 Valor Actual Neto (VAN).....	35
2.4.2 Tasa interna de retorno (TIR).....	36
2.4.3 Periodo de retorno de una inversión (PAYOUT).....	38
CAPITULO 3	39
METODOLOGIA	39
3.1 Recopilación de información.....	39
3.2 Normas Aplicables	42
3.2.1. Norma API 560	42
3.2.2. UBC 1997	42
3.2.3. Otras Normas utilizadas	43
3.3 Simulación del diseño	43
CAPITULO 4	45
EVALUACION ECONOMICA	45
4.1 Llave en mano	45
4.2 Ingeniería detallada local.....	46
4.2.1 Escenario actual.....	47
4.2.2 Escenario proyectado	48

CAPITULO 5	53
RESULTADOS	53
5.1 Cálculo del peso total de la estructura.....	55
5.2 Condiciones accidentales	80
5.2.1 Determinación de la carga por Viento.....	80
5.2.2 Determinación de la carga por Sismo.....	85
5.2.3 Selección del perfil W	91
5.2.4 Cálculo de placa base	95
5.2.5 Uso del Software de diseño mecánico para el sistema estructural ...	98
5.2.5.1 Elaboración del modelo	98
5.2.5.2 Restricciones y tipo de material.....	99
5.2.5.3 Enmallado	101
5.2.5.4 Resultados.....	102
CONCLUSIONES	107
BIBLIOGRAFIA	109
PLANOS	110
APENDICE	135
APENDICE A Tabla 23-I del UBC 1964	135
APENDICE B Tabla 16-K, 16-N, 16-P, 16-R, 16-T del UBC 1997	136
APENDICE C RNE-mapa eólico y factores de zona del Perú	140
APENDICE D Análisis estructural en zonas principales del horno	143

PROLOGO

El presente trabajo de investigación titulado "Diseño de Columnas de un Horno Cilíndrico Vertical para una Refinería de Petróleo", ha sido desarrollado con la finalidad de aportar a la ingeniería peruana temas no muy desarrollados en el campo del diseño de ingeniería de estructuras, si bien es cierto, existen muchos diseños realizados por ingeniería nacional, no se tiene mucha información acerca del diseño de Hornos Cilíndricos Verticales como equipo crítico en una refinería de petróleo; esta información es muy desarrollada por casas de ingeniería foránea que por tema de patente no son alcanzables, para el desarrollo de esta tesis fue necesaria la recopilación de información de refinerías similares a la analizada y realizar las pruebas finales a través del diseño asistido por computadora (CAD). Esta tesis lo desarrollaremos en los siguientes capítulos:

En el capítulo 1, se muestra el panorama y escenario de realizar un cambio de horno cilíndrico vertical debido a las condiciones mostradas por uno instalado el cual terminó su vida útil, mostrando así los puntos críticos del sistema estructural del nuevo horno y el diseño crítico de las columnas tipo W que serán los soportes de toda la estructura.

En el capítulo 2, mostramos las diversos tipos, clasificaciones de hornos usados en la industria petrolera, vemos también los tipos de soportes estructurales utilizados, así

como de sus principales aplicaciones, también, veremos los indicadores financieros, necesarios para la evaluar la rentabilidad del proyecto.

En el capítulo 3, explicamos la metodología a utilizar para el planteamiento y diseño de la estructura, también mencionamos las normas y códigos utilizados para el diseño y fabricación más adecuado.

En el capítulo 4, realizamos la evaluación económica tomando dos escenario, el primero es desarrollar la ingeniería “Llave en mano” que consiste en elaborar de forma integra el proyecto a través de una casa de ingeniería especializada y el segundo escenario, es realizar una evaluación económica y analizar las posibilidades de realizar el proyecto localmente. Vistos los dos escenarios se toma la segunda opción, porque es adecuado al presupuesto interno, además, el período de recuperación de la inversión es de 2.6 años y la rentabilidad del proyecto es aceptable.

En el capítulo 5, mostramos los cálculos matemáticos para el diseño de las columnas-soportes del sistema, así como la comprobación mecánica de nuestro diseño con la ayuda del software SolidWorks Simulations, teniendo como parámetros de medición el esfuerzo máximo de Von Mises y el factor de seguridad mínimo del sistema, dichos resultados serán observados a través de un diagrama de colores que serán los indicativos de las zonas críticas, mostraremos el resumen de los resultados obtenidos, analizando las respuestas obtenidas después de hacer el ensayo con la ayuda del software de diseño mecánico.

Queda agradecer a las personas que de forma substancial colaboraron directa e indirectamente en la realización de este trabajo, así como el tiempo invertido por mi asesor de tesis, para realizar la evaluación final de este proyecto.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El uso del cálculo Analítico ha sido a través del tiempo una poderosa herramienta para el diseño de muchas estructuras. El avance de la tecnología, también ha creado otras herramientas muy versátiles y potentes, como los software de diseño, dichas herramientas permiten al ingeniero una rápida respuesta a las condiciones que pueda interactuar una estructura con el medio que la rodea, el ingeniero ahora, ingresa datos en busca de respuestas, ya que el trabajo de cálculo lo realiza la computadora, dichos valores deben mantener siempre los principios, reglas, leyes y condiciones a las cuales están expuestas dichas estructuras.

El asistente por computadora, es una herramienta de trabajo que acortará los tiempos de cálculo y además se llevará de una manera versátil, rápida y con una interfaz sencilla entre ingeniero/computadora para el complejo análisis que requiere la estructura.

Se pretende entonces comprobar la acción de todas las cargas actuantes, así como las condiciones de operación y ver los efectos que estas puedan causar a la estructura, determinando así la geometría y dimensionamiento necesario, optimizando la cantidad de material sin descuidar la seguridad del sistema.

La precisión de los resultados del análisis depende de las propiedades, las restricciones y las cargas del material. Para que los resultados sean válidos, las propiedades de material especificadas deben ser precisas y las restricciones y cargas deben representar las condiciones de trabajo del sistema.

El análisis de elementos finitos a través del diseño asistido por computadora (CAD) es una herramienta que nos da resultados muy aceptables sometidos a cargas reales, por lo que nos permite hacer modificaciones y mejorar los factores de seguridad a las estructuras en la etapa de diseño.

1.1 Objetivo

Analizar y diseñar de forma analítica las columnas de un Horno Cilíndrico vertical de una Refinería de Petróleo y comprobarla haciendo el uso de un software de diseño estructural, por ser un elemento crítico y el soporte de la estructura del horno, se tendrá como objetivo realizarlo con ingeniería nacional, para ser el primer Horno Cilíndrico Vertical hecho en el Perú.

1.2 Antecedentes

Las columnas de soporte tipo W, serán diseñadas para soportar una nueva zona Radiante de un horno cilíndrico vertical que reemplazará a uno similar de menores dimensiones.

Los hornos a ser reemplazados tienen las siguientes características:

- Son de tiro natural, fabricados en 1967 por PETRO-CHEM DEVELOPMENT Co., Inc.
- En 1999 se le añade una zona convectiva equipada con un sistema de soplador de hollín y una nueva chimenea, este equipo fue diseñado y construido por Born Canadá ULC.
- Opera a eficiencias del orden del 50%, con el consecuente incremento de consumo de combustible.
- Los trabajos de mantenimiento mayor programados para los dos hornos tienen un costo muy alto (350.00 MUS\$ por horno) con una duración estimada en 26 días de parada de planta.

- Existe un deterioro generalizado del refractario y pérdida de propiedades mecánicas de algunas partes de la estructura (cilindros de transición). Se tiene reportes de la Unidad de Inspección donde se aprecia las altas temperatura en las planchas estructurales del horno.
- La cimentación de ambos Hornos presenta rajaduras en las bases, producto del tiempo de servicio.



Fig. 1.1 Horno Cilíndrico Vertical autosoportado a ser reemplazado de 8MBPD
Refinería Conchán - Lima

- Las últimas inspecciones y cálculos de ingeniería han determinado que los hornos trabajan en condiciones sub-estándar, que ocasiona la falla prematura de los tubos, especialmente en la zona radiante.
- Los hornos queman solamente residual y es necesario adecuar el diseño de estos para el consumo de gas natural como combustible.

El Horno a ser cambiado esta soportado por 6 columnas tipo HE160B, revestido por material ignífugo contra incendios.

La Zona en la cual estará el nuevo horno es una zona de alta actividad sísmica por lo cual, los soportes deberán estar diseñados para zonas de $Z = 4$.

Los nuevos Hornos cilíndricos verticales, contarán con una nueva zona radiante, manteniendo la misma zona convectiva, por estar operando sin problemas, además se construirán nuevas zonas de transición y chimenea manteniendo constantes las dimensiones y el tipo de material tanto para las estructuras, accesos (plataformas y escaleras) y material refractario.

El dimensionamiento crítico del sistema estructural del horno cilíndrico vertical, estará centrado en las columnas soporte, así como de las placas base porque son estas las que tendrán que soportar toda la carga y transmitirlas a las columnas de concreto (el dimensionamiento de estas con de carácter civil).

Las Unidades de Proceso de Refinería Conchán son de tecnología de los años 60, diseñada para procesar cargas hasta de una capacidad máxima de 8 MBPD y una matriz de consumo energética orientada a gasolina. En la actualidad, el procesamiento de crudos con un rango considerable de densidad (18 – 29 °API) con cargas mayores a 8 MBPD, hacen ineficiente el fraccionamiento,

especialmente en la zona kerosene/diesel, recargando la operación de la Unidad de Vacío e incrementando el consumo de combustible en dicha unidad, por lo que la mejora de las unidades, permitiría incrementar considerablemente la eficiencia.

El repotenciamiento de los Hornos de Proceso, aseguraría su operación continua e independiente, corrigiendo y eliminando una limitación crítica actual de operación, la cual obliga a utilizar las zonas convectivas de los hornos de UDP y UDV en paralelo, para cargas superiores a 10 MBPD, situación que origina un control inadecuado de los hornos.

La Unidad Inspección de Refinería Conchán, ha definido que los equipos principales de las Unidades de Proceso se encuentran operando en condición de riesgo potencial (Hornos 1 y 2 y Columna de UDP en situación sub estándar de trabajo) sustentado con informes técnicos que determinan la necesidad de reparación y/o cambio.

La repotenciación de las unidades de proceso, está alineada con el proyecto de uso de gas natural en hornos y calderos para fines del año 2009.

La principal dificultad que se tendrá para realizar los cálculos, es que no se tienen datos similares realizados en nuestro país, ya que la ingeniería para este tipo de estructuras lo realizan casas de ingeniería especializadas.

El reto está entonces en el manejo adecuado de las Normas técnicas para este tipo de diseños, además de la recopilación de información, como planos, fotos, ábacos de trabajos similares.

⁽¹⁾AMERICAN PETROLEUM COMPANY, medida de densidad del petróleo crudo

1.3 Alcance

Los perfiles tipo W, son elementos muy utilizados en la industria ya sea tanto para el uso en columnas o vigas, según se requiera, en nuestro caso las usaremos como columnas, la selección adecuada dependerá de sus propiedades, tanto mecánicas, geométricas y composición de las mismas.

Para la selección del perfil adecuado analizaremos analíticamente todas las cargas que afectan a la estructura, ya sea en condiciones de prueba, operación y accidentales (sismo y/o viento).

Para determinar las cargas accidentales debemos ubicar la situación geográfica del Horno, ya que los factores que afectan a este, depende mucho de la zona, en este caso el Horno está ubicado en el Km. 25.5 Antigua Panamericana Sur – Refinería Conchán; Lurín / Lima para lo cual disponemos del mapa Eólico y zonas sísmicas del Perú dispuesto por el RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones).

Para el cálculo analítico dispondremos de normas y códigos tales como el API 560, UBC 1997, AISC y textos bibliográficos los cuales determinan los valores a los cuales debemos llegar, así como las consideraciones mecánicas.

Una vez obtenido el perfil tipo W adecuado para el horno cilíndrico vertical, se utilizará el software de simulación a través de elementos finitos Solidworks Simulations (anteriormente llamado CosmosWorks), ingresando los parámetros ya calculados analíticamente, así como las condiciones a las cuales está sometida la estructura y comprobar así la selección correcta del perfil.

El uso del software nos permitirá hacer modificaciones y mejoras en los factores de seguridad en la etapa de diseño optimizando la cantidad de material a ser utilizado.

CAPITULO 2

FUNDAMENTO TEORICO

2.1 Hornos

Los hornos se utilizan cuando se requieren altas temperaturas en el proceso. Estas temperaturas se obtienen mediante la transmisión de calor directa desde los gases de combustión de diferentes tipos de combustibles.

En los hornos, por tanto, el calor es liberado a través de la combustión de gases en un espacio abierto y transferido al fluido de proceso que circula a través de los tubos situados a lo largo de las paredes y del tejado de la cámara de combustión. El calor se transfiere mediante radiación y convección principalmente.

2.1.1 División de los hornos

Normalmente los hornos se dividen en tres partes:

2.1.1.1 Zona radiante

Donde los tubos están en presencia de la llama. En esta parte la transmisión de calor es por radiación en un 80 % aprox. y un 20 % por convección de la circulación de gases calientes alrededor de los tubos.

2.1.1.2 Zona de convección

Los tubos están fuera del alcance de la llama. Los gases calientes se mueven a través del paquete de tubos. El calor transmitido se produce principalmente por convección desde el CO₂ y H₂O en los gases calientes aunque también se transmite calor por radiación. Los tubos están equipados con aletas para mejorar las condiciones de transmisión de calor.

2.1.1.3 Zona de blindaje (Shield)

Las primeras una o dos filas aproximadamente de tubos del área de convección son la zona de CHOQUE (SHOCK). En ella los tubos no tienen aletas (para evitar temperaturas en la superficie de los tubos demasiado elevada).

En general, el fluido entra al horno en la sección de convección, pasa a través de los tubos de choque para llegar a la zona de radiación desde donde abandona el horno.

2.1.2 Tipos de Hornos

Podemos clasificar los hornos en:

2.1.2.1 Tipo de caja o cabina (box heaters)

Consisten en un set de cuatro paredes un suelo y un techo generalmente de acero con aislamiento interior de ladrillos refractarios. La sección de convección se sitúa en la parte superior y seguidamente se monta la chimenea. Los tubos de la sección de

radiación se montan a lo largo de las paredes y la llama se genera a través de unos quemadores (burners).

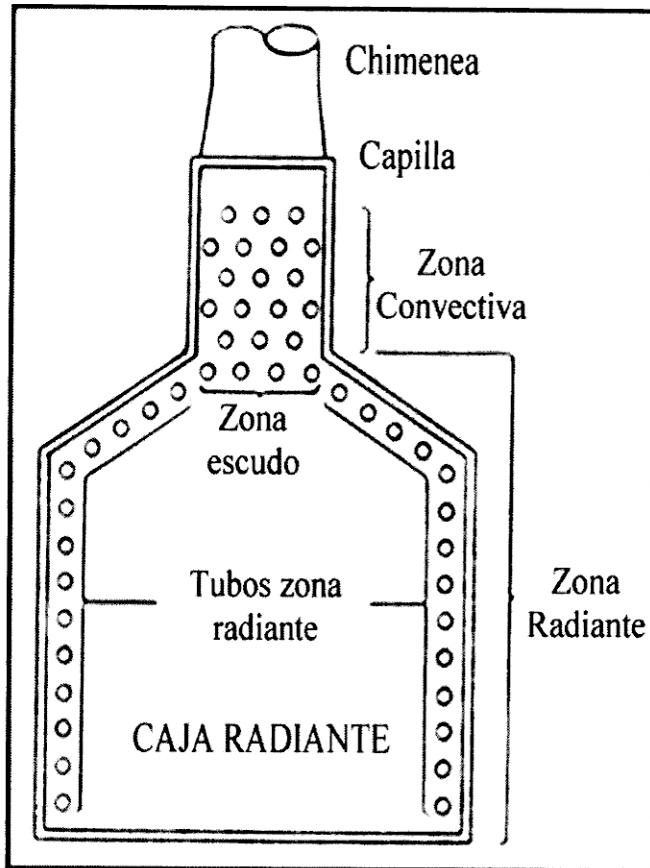


Fig. 2.1 Horno tipo cabina

a. Tubos horizontales - calentamiento simple

Los tubos están montados horizontalmente en la pared lateral más larga en una capa simple. Se pueden montar varias series de tubos en paralelo en función del caudal. Se colocan a una distancia de la pared de 1,5 veces el diámetro de tubería la sección de convección se monta directamente sobre la zona de radiación y consiste en un banco de tubos con distribución

triangular equilátera y una separación de dos veces el diámetro de tubería.

Los quemadores pueden ser de varios tipos:

Inferiores (bottom), laterales (side) y finales (end).

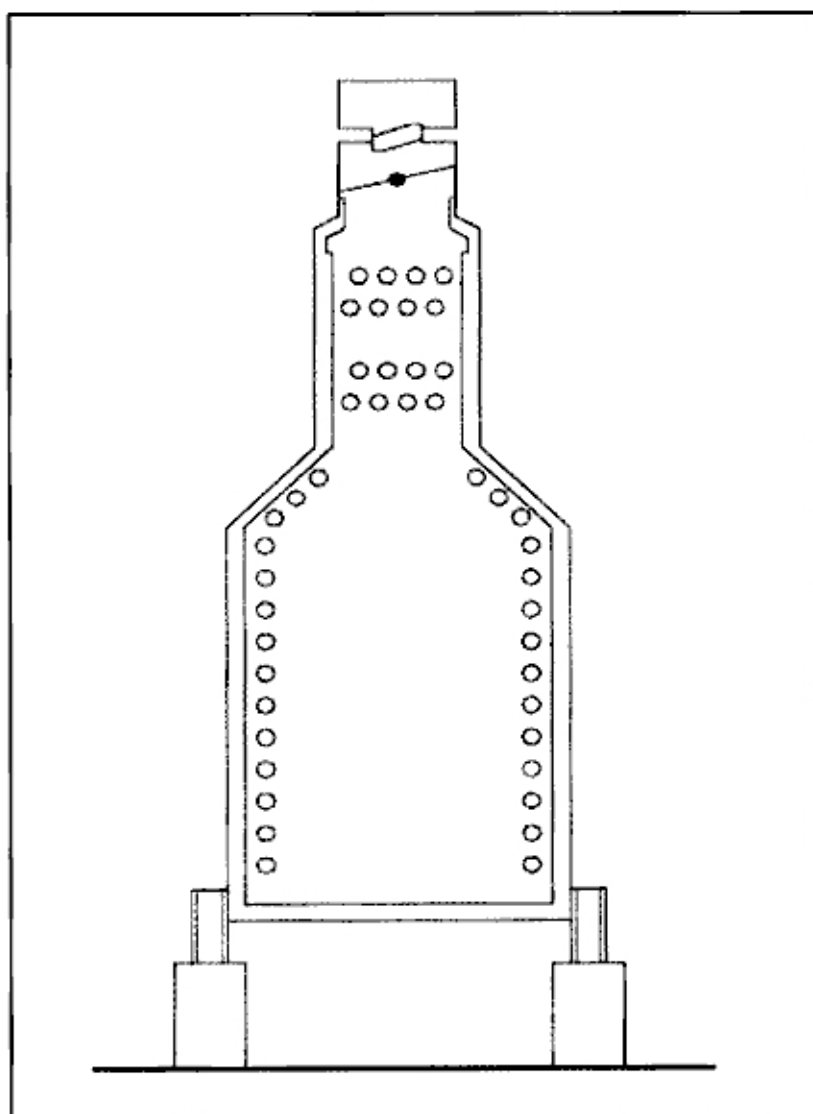


Fig. 2.2 Calentador con serpentín tubos horizontales

b. Tubos horizontales – calentamiento doble

En este caso están los tubos montados en el centro colgados sobre soportes.

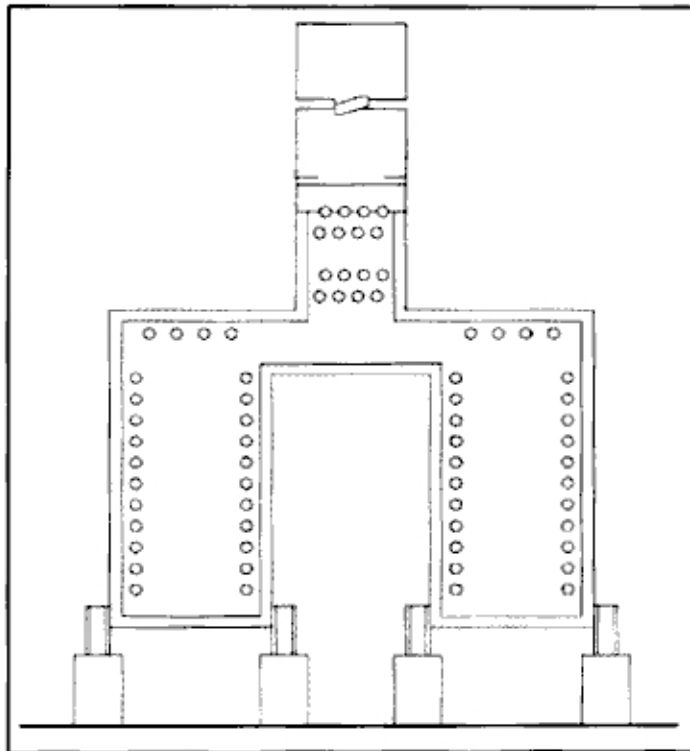


Fig. 2.3 Calentador con serpentín tubos horizontales

c. Tubos Verticales – calentamiento doble

Los tubos se colocan verticalmente en el centro del horno.
Calentándose lateralmente.

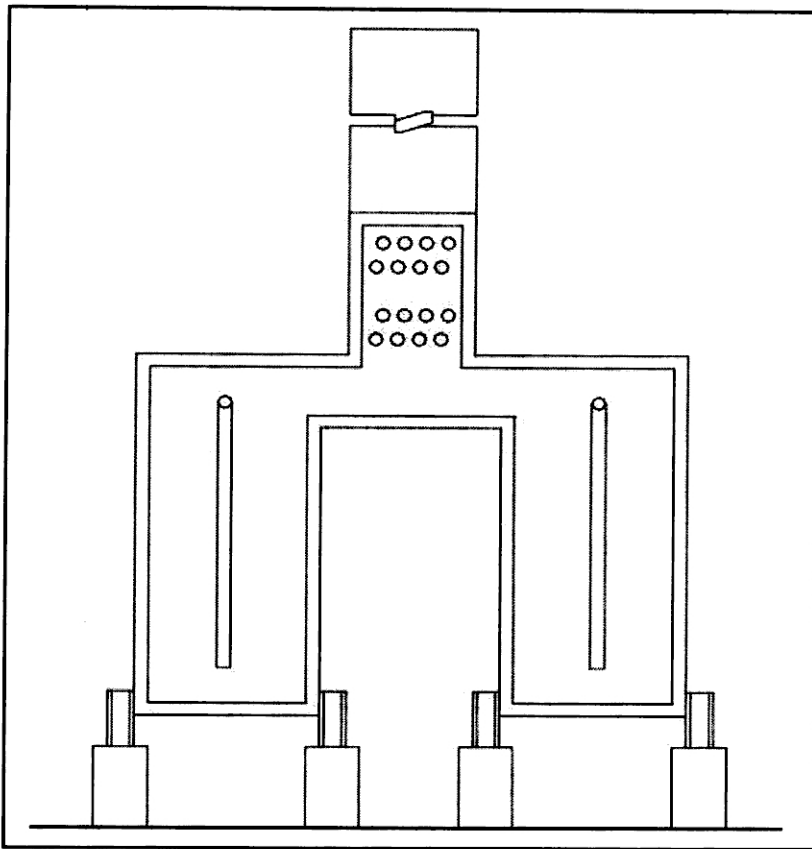


Fig. 2.4 Calentador rectangular con serpentín vertical

2.1.2.2 Tipo cilíndrico vertical

Consisten en un casco cilíndrico aislado colocado verticalmente con piso aislante y techo generalmente plano. Los quemadores se sitúan en el suelo. Los tubos se sitúan verticalmente con flujo ascendente-descendente.

La sección de convección es similar a la de los de tipo caja o cabina.

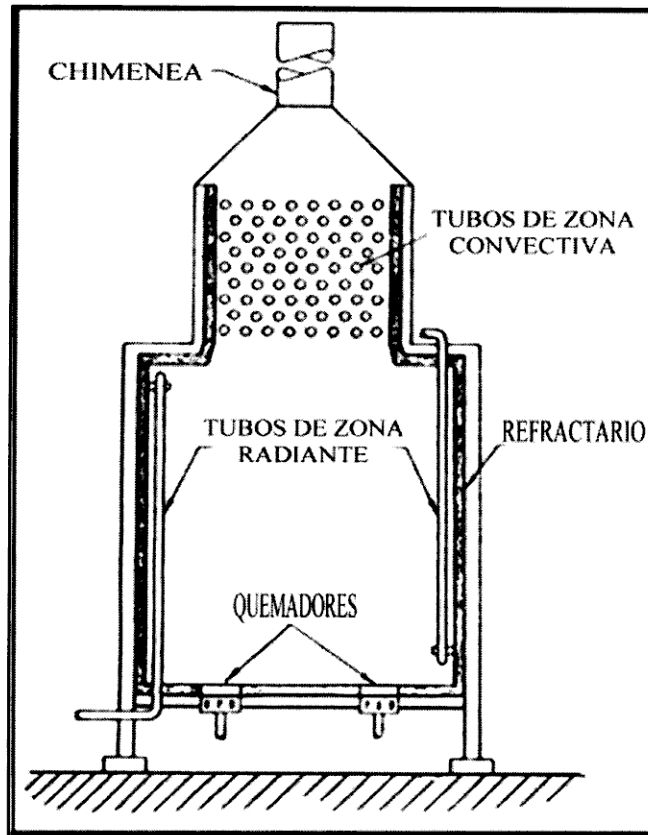


Fig. 2.5 Horno tipo cilíndrico vertical

2.2 Tipos de Soportes para equipos de proceso

Existen varios tipos de soportes para estructuras, entre ellos tenemos:

2.2.1 Soportes de Faldón

Uno de los métodos más comunes de soportes para recipientes de presión es mediante hojas de metal cilíndricas roladas o cónicas llamadas faldones. El faldón puede ser solapado o puede ser soldado directamente al recipiente. Este método de soporte es atractivo desde el punto de vista del diseñador porque minimiza los esfuerzos locales al punto de junta y la carga directa es uniformemente distribuida sobre la circunferencia entera. El

uso de faldones cónicos es más costoso desde el punto de vista de fabricación e innecesario para la mayoría de situaciones de diseño.

La línea crítica en el soporte del faldón es la soldadura sujetando el recipiente al faldón. Esta soldadura, además de transmitir el peso total y el momento de giro, también debe resistir la temperatura y los esfuerzos de flexión debido a que la temperatura desciende en el faldón.

Mientras más delgado sea el faldón, mejor puede ajustarse a las variaciones de la temperatura.

Existen diversos métodos de realizar la soldadura de la junta del faldón con el recipiente. El método preferido es uno en el cual la línea de centro del recipiente y el faldón coinciden, este método minimizará esfuerzos en la junta. Probablemente el método más común, no obstante hace coincidir el diámetro exterior del recipiente con el diámetro exterior del faldón.

Otros métodos de unión incluyen el de soldadura de traslape, tipo pedestal, arreglo de anillo de carcasa. La eficiencia de la junta de la soldadura de la unión también varía por el método de unión y es usualmente el factor gobernante en determinar el espesor de la falda. Esta soldadura puede ser objeto de rotura en servicios cíclicos severos.

Porque el faldón está unido al recipiente, la selección del material no se rige mediante el código ASME. Cualquier material seleccionado, no obstante, puede ser compatible con el material del recipiente en términos de soldadura. La fuerza para el diseño es también no

especificada para el material del soporte por parte del Código ASME. Usualmente en la ausencia de cualquier otro estándar, las reglas del Manual de Construcción del acero AISC se utilizarán. Para el diseño de temperatura elevada, la parte superior de 3 pies de faldón a el punto de junta debe ser del mismo material que la carcasa.

Las condiciones de gobierno para la determinación del espesor del faldón se realiza de la siguiente manera:

- Erección del recipiente.
- Cargas impuestas de la silleta de anclaje.
- Aperturas de faldón.
- Peso más momento de giro.



Fig. 2.6 Tanque con soporte tipo Faldón

2.2.2 Soportes de columnas

Una extensa variedad de recipientes, tanques, depósitos, estructuras, y tolvas pueden ser soportados sobre columnas, estos diseños pueden variar desde recipientes pequeños soportados sobre 3 o 4 columnas, a recipientes muy grandes y esferas arriba de 80 pies en diámetro soportados sobre 16 o 20 columnas.

Casi cualquier número de columnas pueden ser utilizados, pero las variaciones más comunes son 3, 4, 6, 8, 12, 16 ó 20. Las columnas pueden ser espaciadas igualmente alrededor de la circunferencia.

Los soportes de columnas pueden ser con abrazaderas o sin abrazaderas. Las columnas con abrazaderas las cuáles son reforzadas con alguna abrazadera cruzada o riostra. Las riostras son miembros diagonales los cuáles transfieren las cargas horizontales pero, a diferencia de las abrazaderas cruzadas, estos operan sólo en tensión. Los miembros diagonales en el sistema de riostra son llamados comúnmente como barras de acoplamiento, los cuáles transfieren la carga a cada panel adyacente, Pueden ser utilizados torniquetes para ajustar las barras de acoplamiento.

Las abrazaderas cruzadas en otra posición son miembros de tensión y compresión pueden estar sujetas al centro o no, y transferir sus cargas vía placas laterales o puede ser soldadas directamente a las columnas.

Estos soportes son utilizados para reducir el número o tamaño de las columnas requeridas mediante la eliminación de la curvatura en las

columnas. Estos soportes tomarán las cargas horizontales tanto que reduzcan con el tamaño de las columnas, determinándolo mediante la compresión o flexión lateral.

Los costos de fabricación adicional de los soportes no podrían garantizar el tamaño de las columnas, por lo tanto, los soportes podrán también causar algunas dificultades adicionales con el enrutamiento de alguna tubería conectada a boquillas sobre la parte superior del recipiente.

Las columnas pueden ser elaboradas de tubería, canales, ángulos, tubería rectangular o secciones estructurales. Pueden ser soldadas directamente a la carcasa del recipiente o a las tapas, pueden ser atornilladas o soldadas con clips los cuales están unidos directamente a la carcasa. Es preferible que el centroide de las columnas coincida con la línea centro de la carcasa del recipiente para minimizar la acción excéntrica. Por lo tanto, este puede ser más caro desde el punto de vista de la soldadura y el ensamble debido al remate y el contorno necesarios para acoplarlo.

Los tanques y recipientes muy grandes pueden requerir una viga tubular, un anillo de compresión, o un anillo tubular cercano al punto de unión de las columnas, para distribuir las cargas inducidas mediante las columnas y soportes. Esos esfuerzos localizados en el punto de unión deben ser analizados para acción excéntrica de las columnas, momentos de giro, torsión del anillo, todo esto adicionalmente como las cargas de cualquier soporte.

Considerando los recipientes a presión soportados por faldón en los

servicios de refinería, los recipientes soportados sobre piernas son más comunes en la industria química. Esto puede ser debido en parte a los beneficios de la ventilación y la toxicidad del almacenado y procesado químico. Las columnas no pueden utilizarse en soportes de recipientes con vibración alta, choques, o servicios cíclicos debido a los altos esfuerzos localizados en las uniones.

Las columnas son ancladas a los cimientos mediante placas base las cuáles son colocadas en el lugar mediante pernos de anclaje colocados en el concreto. Para los recipientes grandes en área sísmicas altas, se puede soldar una barra de acero en la parte inferior de la placa base.

Normalmente los que, a su vez, encaja en una ranura empotrada correspondiente en el concreto.



Fig. 2.7 Detalle de accesorios y soportes tipo columna



Fig. 2.8 Tanque de almacenamiento de amoníaco con soportes tipo ángulo

2.2.3 Soportes de silleta

Usualmente, los recipientes a presión y tanques son soportados en dos apoyos llamados silletas. El uso de más de dos silletas es innecesario así que debe evitarse.

La razón por la cual no se usan más de dos silletas es que, esto crea una estructura teórica y prácticamente indeterminada. Con dos silletas hay una gran tolerancia para el asentamiento del suelo, sin tener un cambio en los esfuerzos en la carcasa ni en la carga. Incluso donde el asentamiento del suelo no es un problema, es difícil asegurar que la carga esté distribuida uniformemente. Obviamente hay maneras de acoplar esto, pero sí se tiene un gasto adicional esto no se garantizará. Los

recipientes con diámetros de 40 a 50 pies y 150 pies de longitud han sido soportados sobre dos silletas.

Como todos los otros tipos de soportes el código ASME, tiene un margen máximo de esfuerzos para las tensiones en la carcasa del recipiente, el código no tiene un apartado - específico de los componentes del soporte. Normalmente los márgenes de esfuerzos empleados son los descritos en el Manual de Construcción del Acero AISC.

Una metodología para la determinación de los esfuerzos en la carcasa y las tapas de un recipiente horizontal soportadas en silletas fue publicada la primera vez en 1951 por L.P.Zick. Este esfuerzo fue una continuación de otros trabajos iniciados tempranamente en 1930.

La silleta se compone de varias partes, la red, la placa base, la costilla y la placa de desgaste. El diseño puede tener costillas internas o costillas salidas o sólo un ajuste, pero usualmente son anillos.

Las silletas normalmente están atornilladas al cimiento vía tornillos de anclaje. El Código ASME especifica un arco de ángulo mínimo correspondiente a 120° , el ángulo máximo de eficiencia de la silleta es de 180° desde el peso y la fuerza dividida de las silletas es de cero arriba de la línea de la banda, en efecto, tomando en cuenta el margen para la reducción de esfuerzos para placas de desgaste el máximo ángulo es de 168° .

Las silletas pueden ser construidas de acero o de concreto, pueden ser atornilladas soldadas o estar sueltas, para el tipo suelto cualquier forma de alinear puede ser utilizada entre el recipiente y la silleta suelta es la

del tipo concreto. Usualmente un extremo del recipiente es anclado y el otro extremo es deslizante, el extremo deslizante puede ser constituido de placas deslizantes de bronce, de placas de grasa o de teflón para reducir con esto la fricción causada mediante la expansión térmica o contracción e los recipientes.

La colocación longitudinal de las silletas también tiene un efecto mayor sobre la magnitud de los esfuerzos en la carcasa de los recipientes así como un apoyo sobre el diseño de las piezas de la silleta. Para diámetros grandes, para los recipientes de pared delgada, las silletas son mejor colocadas con $0.5R$ de la línea tangente, esto, para tomar una ventaja en el efecto de atiesamiento de las tapas.



Fig. 2.9 Tanque de almacenamiento de amoniac con soportes tipo ángulo

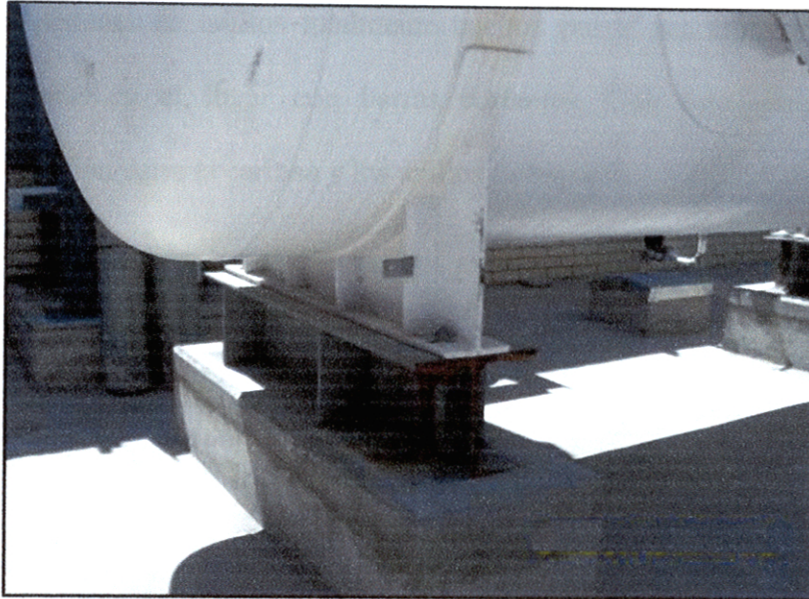


Fig. 2.10 Detalle de silleta de recipiente

2.2.4 Soportes de anillo

En realidad son utilizados cuando los esfuerzos locales en las orejas van a ser excesivamente altos. Típicamente los recipientes soportados mediante anillos u orejas son contenidos con una estructura más bien que soporte a tal grado que pueda ser sujeto a movimientos sísmicos de los cuales forme parte.

Los recipientes soportados sobre anillos pueden ser sólo considerados para temperaturas bajas e intermedias, entre los 400 a 500 grados centígrados. Utilizando soportes de anillo a altas temperaturas puede causarse esfuerzos extremadamente discontinuos en la carcasa adyacente al anillo debido a la diferencia en expansión entre el anillo y la carcasa. Para el diseño de temperaturas elevadas, los anillos aún pueden ser utilizados, pero no pueden estar directamente unidos a la pared de la carcasa.

El sistema de anillos totalmente sueltos puede ser fabricado aparte y colocado en el lugar con barras cortantes. Con este sistema no hay interacción entre la carcasa y los anillos de soporte.

El análisis para el diseño de los anillos y los esfuerzos inducidos en la carcasa emplean los mismos principios como en el de las orejas.



Fig. 2.11 Tanque de espuma de sistema contraincendios.

2.2.5 Soportes combinados

La oreja ofrece una de las formas menos costosas de soportes para los recipientes a presión, puede rápidamente absorber la expansión del diámetro mediante placas engrasadas o de bronce, son fácilmente unidas al recipiente mediante mínimas cantidades de soldadura y son fácilmente transportables en campo.

Desde las orejas que son soportes excéntricos que inducen a la compresión, tensión, y a esfuerzos cortantes en la pared de la carcasa, la fuerza de los momentos excéntricos pueden causar altos esfuerzos locales que son combinados con esfuerzos de presión externa o interna. En los

recipientes de pared delgada, estas altas cargas locales son conocidas por la deformación considerable de la pared del recipiente.

Tales deformaciones pueden causar una rotación angular de las orejas, en las cuáles un giro puede causar rotaciones angulares del acero del soporte. Sistemas de dos o cuatro orejas son utilizados, sin embargo, se pueden utilizar más para garantizar la situación del recipiente. Hay una extensa variedad de tipos de orejas y cada una causará una distribución de esfuerzos en la carcasa. Ya sea uno o dos refuerzos pueden ser utilizados con o sin una placa de compresión. Si se utiliza una placa de compresión, puede ser diseñada para estar atiesada lo suficiente como para transmitir la carga uniformemente a lo largo de la carcasa. La placa base de la oreja puede o no ser unida a la pared de la carcasa. Los apoyos de refuerzo pueden utilizarse para reducir los esfuerzos de la carcasa.

2.3 Consideraciones para el diseño

La elección del tipo de soportes para una estructura vertical depende de la disponibilidad de espacio en el piso, la conveniencia de localización de la estructura de acuerdo a las variables de operación, el tamaño del recipiente, la temperatura y presión de operación y los materiales de construcción.

Los conjuntos de soportes tipo columna ofrecen muchas ventajas sobre otros tipos de soportes. Son económicos y fácilmente fijados al recipiente por una mínima cantidad de soldadura y son fácilmente nivelados o enriados en el campo.

Como un resultado de la excentricidad de este tipo de soportes, se

presentan esfuerzos de tensión, compresión y cortantes en la pared del recipiente. Las fuerzas de tensión y compresión causan esfuerzos de flexión indeterminados. Las fuerzas cortantes actúan en una dirección paralela al eje longitudinal del recipiente, y los esfuerzos cortantes provocados por estas fuerzas son relativamente pequeños y por lo tanto generalmente no considerados.

Los soportes tipo columna son ideales para recipientes de pared delgada, siempre que la estructura del recipiente tenga un momento de inercia adecuado para que sea capaz de absorber los esfuerzos de flexión debidos a la excentricidad de las cargas. De cualquier manera, en recipientes de pared delgada este tipo de soportes no es conveniente a menos que se utilicen refuerzos apropiados o varios soportes soldados al recipiente.

En esta tesis, se realizan los cálculos para soportes tipo columna, ya que es necesario tener un espacio adecuado para la manipulación de los quemadores en el fondo de la zona radiante, similar a la disposición mostrada en la Fig.3.12.



Fig. 2.12 Horno cilíndrico vertical soportado por columnas de acero. Fuente: Refinería Iquitos

2.4 Indicadores Financieros

2.4.1 Valor Actual Neto (VAN)

Consiste en actualizar a valor presente los flujos de caja futuros que va a generar el proyecto, descontados a un cierto tipo de interés ("la tasa de descuento"), y compararlos con el importe inicial de la inversión.

$$VAN = -A + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+i)^n}$$

“ Q_n ” representa los flujos de caja. A Es el valor del desembolso inicial de la inversión. “ N ” es el número de períodos considerado. El tipo de interés es “ i ”, se ha de tomar como referencia el tipo de la renta fija, de tal manera que con el VAN se estima si la inversión es mejor que invertir en algo seguro, sin riesgo específico.

Cuando se da un valor al VAN igual a 0, “ i ” pasa a llamarse TIR.

Tabla 2.1 Interpretación numérica del VAN

Valor	Significado	
$VAN > 0$	La inversión produciría ganancias	El proyecto puede aceptarse
$VAN < 0$	La inversión produciría pérdidas	El proyecto debería rechazarse
$VAN = 0$	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario, la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

El valor actual neto es muy importante para valoración de inversiones en activos fijos, a pesar de sus limitaciones en considerar circunstancias imprevistas o excepcionales de mercado. Si su valor es mayor a cero, el proyecto es rentable, claro, se debe considerar el valor mínimo de rendimiento para la inversión.

A la hora de elegir entre dos proyectos, elegiremos aquel que tenga el mayor VAN.

Este método se considera el más apropiado a la hora de analizar la rentabilidad de un proyecto.

2.4.2 Tasa interna de retorno (TIR)

Se define como la tasa de descuento o tipo de interés que iguala el VAN a cero.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_i}{(1 + TIR)^i} = 0$$

Es la tasa de descuento que iguala el valor actual de los gastos con el valor futuro de los ingresos previstos, se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, normalmente la tasa de rentabilidad libre de riesgo. Si la tasa de rendimiento del proyecto - expresada por la TIR- supera a la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

La TIR es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para comparar la factibilidad de diferentes opciones de inversión. Generalmente, la opción de inversión con la TIR más alta es la preferida.

A continuación daremos otras definiciones de la Tasa interna de Retorno que favorezcan a su mejor entendimiento:

- Es la tasa de interés por la cual la sumatoria de los valores presentes de los costos es igual a la sumatoria de los valores presentes de los beneficios:

$$\sum_{i=1}^N VPB_i = \sum_{i=1}^N VPC_i$$

- Es la tasa de interés para la cual los beneficios totales actualizados es igual a los costos totales actualizados:

$$BTA_c = CTA_c$$

- Es la tasa de interés para el cual la relación Beneficio/Costo es igual a 1:

$$\frac{BENEFICIO}{COSTO} = 1$$

- Es la tasa de interés por la cual se recupera la inversión.
- Es la tasa de interés máxima que se puede endeudar para no perder.
- Es la tasa de interés para la cual el Beneficio actualizado neto (BAN) es igual a cero:

$$BAN = BENEFICIO - COSTO = 0$$

2.4.3 Período de retorno de una inversión (PAYOUT)

Se define como el período que tarda en recuperarse la inversión inicial a través de los flujos de caja generados por el proyecto.

La inversión se recupera en el año en el cual los flujos de caja acumulados superan a la inversión inicial.

No se considera un método adecuado si se toma como criterio único. Pero, de la misma forma que el método anterior, puede ser utilizado complementariamente con el VAN.

CAPITULO 3

METODOLOGIA

Para iniciar la evaluación mecánica de la estructura, realizamos los siguientes pasos:

3.1 Recopilación de información

Fue de suma importancia solicitar información de hornos ya construidos en refinerías similares a Refinería Conchán y de la experiencia, así como las deficiencias de la construcción de los mismos. Los datos obtenidos como Hojas de cálculo, Data sheet de los equipos, planos de construcción así como planos As Built y visitas realizadas en campo, determinaron el comienzo del diseño de la ingeniería de detalle de los Hornos, así tenemos por ejemplo, los Hornos a ser cambiados poseen soportes externos para el serpentín de tubos que se encuentran en la zona radiante (Fig. 3.2), el nuevo horno contempla diseñar soportes pero dentro de la zona radiante, eso significa hacer un soporte que no solo soporte la carga del serpentín de la zona radiante sino también, las condiciones como temperatura del ambiente que es alrededor de 1200°F, para lo cual se necesita un material de una aleación especial además de la forma del mismo tal que este se comporte como una viga, este problema se resolvió a través del uso del CAD con la ayuda de planos similares al deseado, las pruebas realizadas a través del computador y del software de diseño nos dieron como resultado obtener un soporte para estas condiciones, tal como se muestra en la Fig. 3.1, esto es solo un

ejemplo de la importancia de la recopilación de información necesaria, aún cuando esta es escasa, para el diseño de los diferentes componentes del Horno como estructura integral.

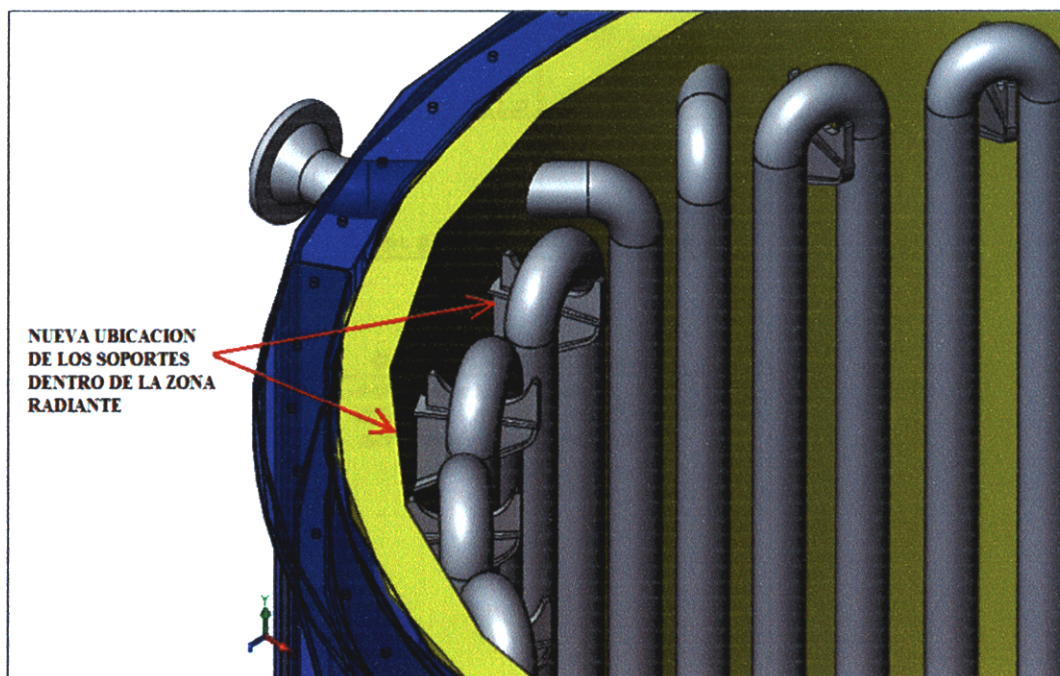


Fig. 3.1 Nueva ubicación de los soportes del Horno.

(Ver plano UNI FIM – 005)

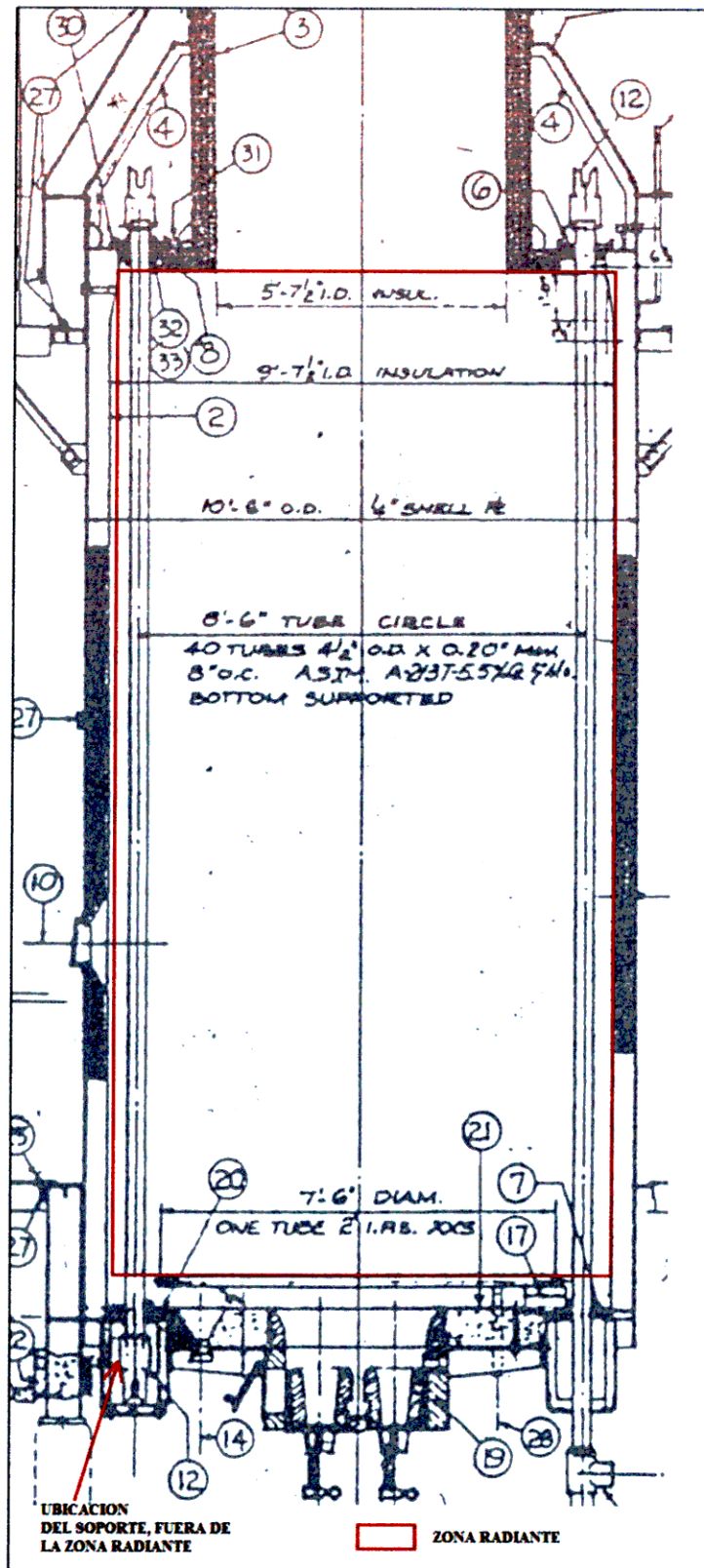


Fig. 3.2 Ubicación de los soportes del Horno reemplazado

Fuente: Plano N°1023-218-F-1 PETROCHEM DEVELOPMENT Co., Inc. 10/11/1966

3.2 Normas Aplicables

El diseño de estructuras está orientado al uso de normas y códigos que nos ayudan a un diseño específico, para nuestro caso se utilizaron las siguientes:

3.2.1. Norma API 560

“Fired heaters for General Refinery Service” (3ra edición mayo 2001)

El API 560 (Instituto Americano del Petróleo) “Calentadores a fuego directo para Servicios Generales en Refinerías” es un estándar que cubre los requisitos mínimos para el diseño, materiales, fabricación, inspección, pruebas, preparación para el envío, y la instalación de Hornos encendidos, precalentadores del aire, ventiladores y quemadores para el servicio general de una refinería.

3.2.2. UBC 1997

El Código Uniforme de la Edificación del año 1997, es un código en el cual se encuentran las condiciones necesarias para el levantamiento de una edificación y ampliamente utilizado en el mundo desde el año 1927.

Este código provee a ingenieros, arquitectos, técnicos y autoridades competentes los reglamentos más completos en las áreas principales de construcción edilicia: diseño arquitectónico, diseño estructural, protección de vidas humanas y protección contra incendios e inspecciones. El uso generalizado de este código promueve la uniformidad en las áreas mencionadas, entre las diferentes jurisdicciones y municipios. Para uso de

nuestros cálculos hemos utilizado el Volumen 2 que contiene los reglamentos para el diseño de ingeniería estructural.

3.2.3. Otras Normas utilizadas

AISC (American Institute of Steel Construction INC).

ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials).

Las normas de ASTM, se usan en investigaciones y proyectos de desarrollo, sistemas de calidad, comprobación y aceptación de productos y transacciones comerciales alrededor del mundo. Son los componentes integrales de las estrategias comerciales competitivas de hoy en día.

Estas normas nos ayudarán principalmente con las propiedades físicas en distintas zonas de la estructura, como las del ASTM A-36 (columnas soporte), ASTM A 351 Gr. HK40 (soporte de serpentín de tubos), ASTM A572 Gr. 50 para las vigas del techo de la zona radiante.

3.3 Simulación del diseño

El requerimiento de un software especial para estructuras fue necesario, para verificar y analizar el comportamiento estructural del sistema con las cargas actuantes en el peor escenario (sismo) y sometido a la acción de la gravedad y temperaturas de operación, las ventajas que nos muestra la simulación son las siguientes:

- Reducir el tiempo de cálculo a través del cálculo por elementos finitos, dicho cálculo da una aproximación más exacta al comportamiento real de nuestra

estructura y nos permite elaborar estructuras compuestas y someterlas a la acción de agentes externos obteniendo resultados en periodos más cortos que realizarlos analíticamente.

- Realizar cambios inmediatos al diseño, debido a omisiones en la etapa inicial, viendo así los efectos que causaría el agregar nuevas cargas, materiales o cambios de dimensiones en zonas críticas.
- Optimización de material, debido a los resultados obtenidos en la simulación observaremos en las zonas de alto factor de seguridad, la posibilidad de optimizar el uso de material, es decir, reducir la cantidad de material necesario para que la estructura pueda soportar las condiciones de operación, esta reducción de material no deberá reducir el factor de seguridad de esa zona con valores menores al factor de seguridad mínimo del sistema, esto lo veremos reflejado en un nuevo análisis en el diagrama de colores.

CAPITULO 4

EVALUACION ECONOMICA

Para determinar la viabilidad del proyecto, se debe analizar los indicadores económicos, es decir, si para analizar el tipo de soportes W que se instalarán en el Horno Cilíndrico Vertical y que la construcción del mismo es rentable en forma global, para ello planteamos dos posibilidades, (*) un llave en mano o el desarrollo de una ingeniería local.

*Concurso realizado con la participación de Compañías de Ingeniería externas (nacionales o internacionales) para el desarrollo total de un proyecto.

4.1 Llave en mano

Con la participación de compañías internacionales especializadas para la ejecución del proyecto. Probablemente un alto costo, fuera del presupuesto.

Para dicha llave en mano, se solicito las cotizaciones a diferentes compañías especialistas en el diseño de Hornos para la refinación de petróleo, obteniendo la siguiente tabla 4.1.

Tabla 4.1 Cotizaciones realizadas con casas de Ingeniería especializadas

COMPAÑIAS	MONTO MUSS	COMENTARIOS
TULSA Heaters	-	No cotizó, por falta de interés en el proyecto (Horno de baja capacidad).
AESA Argentina	2000.00 / Horno	Costo de 2000 / Horno, sin instalación y un tiempo de ejecución de 12 – 16 meses.
KTI Heaters	-	No cotizó, por falta de interés en el proyecto (Horno de baja capacidad)
Técnicas Reunidas	-	No respondieron la solicitud de cotización enviada.
TIPIEL	-	No respondieron la solicitud de cotización enviada.

4.2 Ingeniería detallada local

El desarrollo de la ingeniería básica y detallada para la construcción y montaje con Cías. Nacionales. Probablemente costo ajustado al presupuesto interno.

Para el desarrollo de la Ingeniería Local, se debe realizar el estudio de rentabilidad con relación a la Disminución de Costo Operativo por mejora en la eficiencia de los Hornos, ya que los Hornos a ser reemplazados tienen una eficiencia térmica muy baja (50%).

4.2.1 Escenario actual

Con RCI (Consumo de residual interno)

Datos proporcionados por la Unidad de Operaciones de Refinería Conchán

Consumo Real Promedio	BPD (Barriles por día)	MMBTU/DIA
Hornos	168.00	1064.00

Consumo Vapor Atomizante Total, Lb/h : 1317.00

Costo de RCI, US\$/Bbl:	45.50
Costo RCI, US\$/MMBTU:	7.35
Costo Vapor atomizante, US\$/TM	30.00
Costo mantenimiento Hornos(Limpieza Química), MUS\$/Año	20.00
Costo mantenimiento mayor de hornos, MUS\$/año:	333.50

Datos adicionales:

API, RCI	17.40
Densidad RCI, lb/Bl	333.00
Poder Calorífico, BTU/lb	18563.00
Eficiencia Térmica Actual	50%

Cálculo anual del Costo Operativo (Actual)

Costo Combustible RCI, MUS\$	2750.00
Costo Vapor, MUS\$	154.80
Costo Mantenimiento (Limpieza Química) MUS\$	20.00
Costo Operativo total RCI, MUS\$(λ)	2924.9

4.2.2 Escenario proyectado

Consumo Real Promedio	BPD	MMBTU/DIA
Hornos	105.00	665.00

Consumo Vapor Atomizante Total, Lb/hr: 823.00

Costo Residual de consumo Interno (RCI), US\$/Bbl:	45.50
Costo RCI, US\$/MMBTU:	7.35
Costo Vapor atomizante, US\$/TM	30.00
Costo mantenimiento Hornos(Limpieza Química), MUS\$/Año	10.00
Costo mantenimiento mayor de hornos, MUS\$/año:	0.00

Datos adicionales:

API, RCI	17.40
Densidad RCI, lb/Bbl	333.00
Poder Calorífico, BTU/lb	18563.00

Eficiencia Térmica Proyectada 80%

Cálculo anual del Costo Operativo (Proyectado)

Costo Combustible RCI, MUS\$	1718.80
Costo Vapor, MUS\$	96.80
Costo Mantenimiento (Limpieza Química) MUS\$	10.00
Costo Operativo total RCI, MUS\$.....(β)	1825.50

De (λ) - (β) se tiene un ahorro de 1099.3 MUS\$ / año..... (□)

Tabla 4.2 Inversión Total para la construcción de un Nuevo Horno

ITEM	INVERSION DESAGREGADA	MUSS	MS/.
1	Elaboración de Ingeniería detallada de nuevos hornos.	55.10	158.10
2	Suministro de materiales, fabricación e instalación de hornos.	1787.70	5130.70
3	Adquisición de materiales y adecuación de líneas de planta.	49.50	142.10
4	Entrenamiento y capacitación del personal.	5.50	15.80
TOTAL		1897.80	5446.70

EGRESOS

Gastos de Mantenimiento 3% de la inversión

Depreciación Lineal 10 años

Sabemos que:

$$VAN = -A + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+i)^n} \dots\dots\dots (I)$$

Donde:

Q_n = Flujos de fondos de tabla 3.3

$A = 1564.3$ MUS\$

$N = 10$ años

$i = 12\%$ anual

Reemplazando los valores de la tabla 4.3 y los valores anteriores en I, tenemos:

$$VAN = 2,604.2 \text{ MUS\$}$$

También sabemos:

$$VAN = -A + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+TIR)^n} = 0 \dots\dots\dots (II)$$

Obteniendo en II:

$$TIR = 46\%$$

PAYOUT = 2.6 años

Se tiene entonces:

VAN	2604.2 MUS\$
TIR	46%
PAYOUT	2.6 años

Analizando:

$VAN = 2604.2 \text{ MUS\$} > 0$ La inversión producirá ganancias.

$TIR = 46\% > 12\%$ Es factible.

$PAYOUT = 2.6 \text{ años}$ Periodo de recuperación aceptable

Por lo cual el proyecto se considera ACEPTABLE ✓

CAPITULO 5

RESULTADOS

En este capítulo realizaremos el cálculo del peso total de la estructura, ya que esta propiedad física nos permitirá calcular los efectos que tiene en los soportes a diseñarse, también veremos los efectos accidentales, tales como el viento y sismo, dichos efectos serán considerados de acuerdo a la zona en la que está ubicado el Horno, para así seleccionar el perfil tipo W y la placa base más adecuados para nuestra estructura.

Finalmente se someterá a un análisis con la ayuda del CAD, dicho análisis lo realizará el software a través del cálculo por elementos finitos, de esta manera comprobaremos si la selección de nuestro tipo de perfil W es el adecuado y su comportamiento por acción de las cargas.

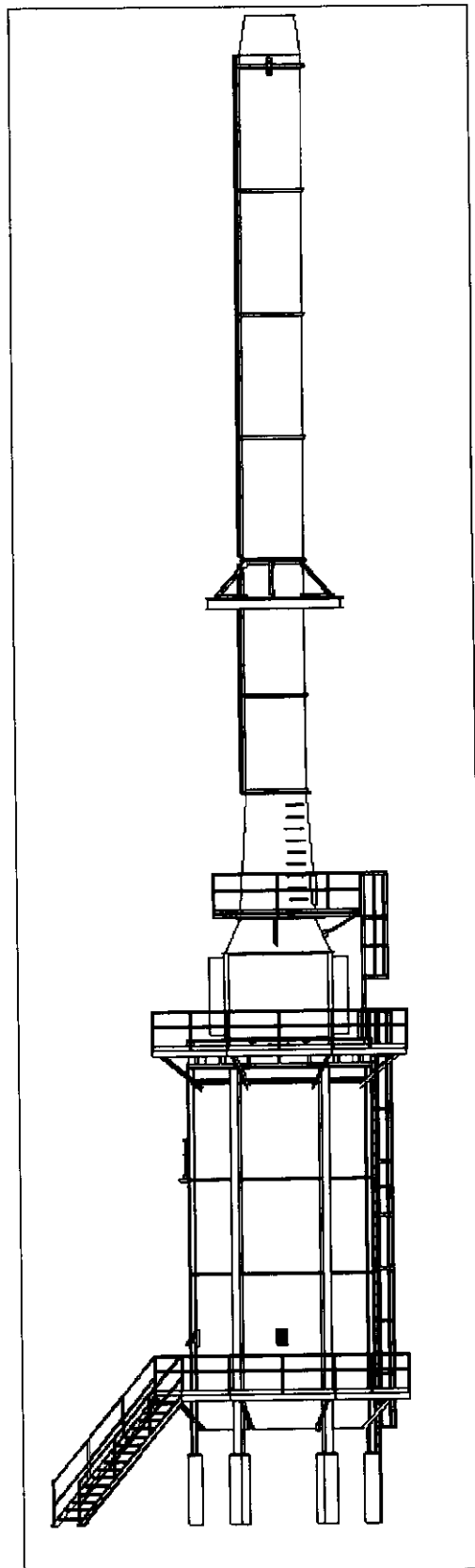


Fig. 5.1. Horno Cilindrico Vertical Proyectado

5.1 Cálculo del peso total de la estructura

PESO DE INTERNOS EN ZONA RADIANTE (Kg.)

Tubos

Cantidad	Ø _{ext.}	Espesor(mm.)	Longitud(mm.)	Peso (Kg./m)	Sub Total (Kg.)
34	141.3	9.525	8204.2	26.28	7330.62
8	141.3	9.525	9093.2	26.28	1911.75
2	141.3	9.525	9271	26.28	487.28
2	141.3	9.525	584.2	26.28	30.71
Total(Kg.)					9760.36

Codos 180°

Cantidad	Ø _{nominal}	Espesor (mm.)	Peso (Kg.)	Total(Kg.)
40	5"	9.525	12.4	496.00

Codos de 90°

Cantidad	Ø _{nominal}	Espesor (mm.)	Peso (Kg.)	Total(Kg.)
8	5"	9.525	6.2	49.60

Codos de 45°

Cantidad	Ø _{nominal}	Espesor (mm.)	Peso (Kg.)	Total(Kg.)
2	5"	9.525	4.66	9.32

Bridas

Cantidad	Ø _{nominal}	Peso (Kg.)	Total(Kg.)
8	5"	13.67	109.36

Tee's

Cantidad	Ø _{nominal}	Peso (Kg.)	Total(Kg.)
4	5"	7	28.00

PESO DE INTERNOS DE ZONA RADIANTE = 10475.90 Kg.

PESO DE AGUA DE PRUEBA (Kg.)

Peso (Tubos + Codos) Kg.= 10315.28

Peso de Agua (kg/m) =12.32

Peso de tubo (Kg./m) =16.28

$\frac{\text{Peso (Tubos + Codos)(Kg.)} \times \text{Peso de Agua (kg/m)}}{\text{Peso de tubo (Kg/m)}} = 4835.78 \text{ Kg.}$

PESO SOLERA EN ZONA RADIANTE (KG.)

Plancha corona circular 1/4" x Ø4390mm.x Ø2600mm

(Ver plano UNI FIM - 004)

Diámetro exterior =	4390	mm.
Diámetro interior =	2600	mm.
Espesor =	0.25	Pulgadas
1" =	25.4	mm.
ρ =	7850	kg/m ³
V =	0.062401325	m ³

P₁ = 489.85 Kg.

Plancha de quemadores 1/4" x Ø2600mm.

Diámetro exterior =	2600	mm.
Espesor =	0.25	Pulgadas
1" =	25.4	mm.
ρ =	7850	kg/m ³
V =	0.033714002	m ³

$$P_2 = 264.65 \text{ Kg.}$$

Perfil C6 x # 8.2 (Peso = 12.2 Kg/m)

ITEM 1				
Longitud=	600	mm.	Cantidad=	6
Total parcial=	3600	mm.		
ITEM 2				
Longitud=	10100	mm.	Cantidad=	1
Total parcial=	10100	mm.		
ITEM 5				
Longitud=	1900	mm.	Cantidad=	4
Total parcial=	7600	mm.		
LONGITUD TOTAL=	21300	mm.		

$$P_3 = 259.92 \text{ Kg.}$$

Ítems menores

$$P_4 = 20.00 \text{ Kg.}$$

$$\text{PESO TOTAL } (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) = 1034.43 \text{ Kg.}$$

PESO DE QUEMADORES (Kg.)

Peso c/u=	300	Kg.
Cantidad=	4	Unid.

$$P_5 = 1200.00 \text{ Kg.}$$

REFRACTARIO DEL FONDO DE LA ZONA RADIANTE (Kg.)

Hormigón

Diámetro (ID) =	4418.3	mm.
Altura =	200	mm.
ρ =	1026	Kg/m ³
Volumen =	3.066410397	m ³

$$P_6 = 3146.14 \text{ Kg.}$$

Ladrillos

Diámetro ID =	4418.3	mm.
Altura =	65	mm.
ρ =	497	Kg/m ³
Volumen =	0.996583379	m ³

$$P_7 = 495.30 \text{ Kg.}$$

$$\text{PESO TOTAL } (P_6 + P_7) = 3641.44 \text{ Kg.}$$

PESO DE ZONA RADIANTE (Kg.)

Cilindro radiante (Kg.)

(Ver plano UNI FIM - 001)

Diámetro exterior =	4431	mm.
Espesor =	0.25	Pulgadas
Altura =	9230	mm.
1" =	25.4	mm.
ρ =	7850	kg/m ³
Volumen =	0.815881431	m ³

$$P_1 = 6404.67 \text{ Kg.}$$

Cinturones (Kg.)

Nivel de solera tipo L 4"x4"x3/8" (Kg.)

Diámetro exterior =	4431	mm.
Peso=	9.8	lb/pie
Longitud recorrida =	13920.40	mm.

$$P_2 = 203.01 \text{ Kg}$$

Cinturones intermedios tipo C6 x #13 (Kg.)

Diámetro exterior =	4431	mm.
Peso=	13	lb/pie
Longitud recorrida =	13920.40	mm.
Cantidad=	2.00	Unid.

$$P_3 = 538.61 \text{ Kg}$$

Superior tipo L 4"x4"x3/8" (Kg.)

Diámetro exterior =	4431	mm.
Peso=	9.8	lb/pie
Longitud recorrida =	13920.40	mm.

$$P_4 = 203.01 \text{ Kg}$$

Cinturón superior C8 x #18.75 (Kg.)

Diámetro exterior =	4431	mm.
Peso=	18.75	lb/pie
Longitud recorrida =	13920.40	mm.
Cantidad=	2.00	Unid.

$$P_5 = 776.84 \text{ Kg}$$

Columnas W8x40 (Kg.)

Longitud recorrida =	9860	mm.
Peso=	61.29	lb/pie
Cantidad=	6.00	Unid.

$$P_6 = 5395.93 \text{ Kg}$$

$$\text{PESO TOTAL } (P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6) = 13522.08 \text{ Kg.}$$

$$13522.08^{(+5\%)} = 14198.1796 \text{ Kg.}$$

Peso de accesos (Kg.)

VER PLANO UNI FIM - 015	$P_1 =$	1513.00	Kg.
VER PLANO UNI FIM - 016	$P_2 =$	497.00	Kg.
VER PLANO UNI FIM - 017	$P_3 =$	1645.00	Kg.
VER PLANO UNI FIM - 018	$P_4 =$	308.00	Kg.
VER PLANO UNI FIM - 020	$P_5 =$	100.00	Kg.
VER PLANO UNI FIM - 021	$P_6 =$	305.63	Kg.

$$\text{PESO TOTAL } (P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6) = 4368.63 \text{ Kg.}$$

Peso de refractario (Kg.)

Diámetro externo =	4418.3	mm.
Diámetro interno =	4118.3	mm.
Altura =	8845	mm.
$\rho =$	1026	Kg/m^3
Volumen =	17.7907356	m^3

$$P_1 = 18253.29 \text{ Kg}$$

PESO SECCION SUPERIOR RADIANTE

(Ver plano UNI FIM – 002)

Anillos soporte

Anillos (C8 x 18.75 lb/pie)

Diámetro interior =	4431	mm.
L =	13920.39705	mm.
Nº de cinturones=	2	Unid.

$$P_1 = 18253.29 \text{ Kg}$$

Plancha rolada 3/8" x Ø4431mm

Diámetro interior =	4431	mm.
Espesor =	0.375	Pulgadas
1" =	25.4	mm.
Altura=	380	mm.
ρ =	7850	kg/m ³
Circunferencia de Desarrollo=	13920.397	mm.
V=	0.0503849	m ³

$$P_2 = 395.52 \text{ Kg}$$

Cartela 5/8"

Cantidad =	18.00	Unid.
Peso unitario =	8.82	Kg.

$$P_3 = 158.76 \text{ Kg}$$

Esquema de vigas del techo de la Zona Radiante

Perfil tipo W10 x # 112 (Peso = 166.67 Kg/m)

Longitud = 19980 mm.

$$P_4 = 3330.14 \text{ Kg}$$

Perfil tipo W8 x # 67 (Peso = 99.71 Kg/m)

Longitud = 6180 mm.

$$P_5 = 619.19 \text{ Kg}$$

Perfil tipo IPE100 (Peso = 12.05 Kg/m)

Longitud = 8180 mm.

$$P_6 = 98.60 \text{ Kg}$$

Puerta para desentubado

Plancha 1/4" x 655mm. x 810mm.

Largo=	655	mm.
Ancho=	810	mm.
Espesor =	0.25	Pulgadas
cantidad=	2	Unid.
Volumen=	0.003368993	m ³
ρ =	7850	kg/m ³

$$P_7 = 52.89 \text{ Kg}$$

Barra de ½"

Longitud=	320	mm.
Ø=	0.5	Pulgadas
Cantidad=	4	Unidad
ρ =	7850	kg/m ³
Volumen=	4.05366E-05	m ³

$$P_8 = 1.27 \text{ Kg}$$

IPE 100 (Peso = 12.05 Kg/m)

Cantidad=	4	Unidad
Longitud=	540	mm.
Longitud total=	2160	mm.

$$P_9 = 26.04 \text{ Kg}$$

Plancha 1/4"x 540mm. x 695mm.

Largo=	540	mm.
Ancho=	695	mm.
Espesor =	0.25	"
cantidad=	2	Unid.
Volumen=	0.002383155	m ³
ρ =	7850	kg/m ³

$$P_{10} = 26.04 \text{ Kg}$$

Plancha del techo y su pared lateral**Plancha 1/4"x O.D 4431mm.**

$$P_{11} = 543.00 \text{ Kg}$$

Plancha 1/4"x 1575.94mm x 2341.12 mm.

$$P_{12} = 112.31 \text{ Kg}$$

$$\text{PESO TOTAL } (P_1+P_2+P_3+P_4+\dots+P_{11}+P_{12}) = 6148.47 \text{ Kg.}$$

$$\text{Incrementado un 5\%} = 6456.42 \text{ Kg}$$

Peso de Refractario (Kg.)

$$P_{13} = 3451.60 \text{ Kg}$$

PESO ZONA CONVECTIVA HORNO 1

Tabla 5.1 Datos obtenidos del Plano 2927 - 2C (BORN CANADA SERVICES LTD)

Ítem	Material	Longitud	Cantidad	Material	Peso
1	Tubería 4.5"O.D Sch. 80	11' 10"	1	A-106 Gr. B	80.30
2	Tubería 4.5"O.D Sch. 80	9' 7"	20	A-106 Gr. B	1758.10
3	Tubería 4.5"O.D Sch. 80	1' 4 3/8"	1	A-106 Gr. B	9.10
4	4.5"O.D Sch. 120	9' 7"	7	A- 335 P5	455.90
5	4.5"O.D Sch. 120	9' 7"	13	A- 335 P5	1073.70
6	U-bend 4.5"O.D Sch. 80 180°	8"	19	A-234 WP8	240.90
7	4.5"O.D Sch. 120	11' 10"	1	A-335 P5	102.10
8	4.5"O.D Sch. 80 sección recta 90°	4"	1	A-234 WP8	6.80
9	Brida 4" x 300# Sch.80		1	A-105 Gr. N	11.30
10	U-bend 4.5"O.D Sch. 120 x 180°	8"	27	A-234 WP8	447.70
11	Caja convectiva		1		8164.70
12	4.5"O.D Sch. 120 x 90° S.R	4"	1	A-234 WP8	434.10
13	Adicionales		1		362.90
14	Refractario		1	Kaolite 2300	986.60
				TOTAL	14133.90

Peso de Agua en tubos de la zona convectiva = 1188.40 Kg

Peso con prueba Hidrostática = 14133.90 + 1188.40 = 15322.40 Kg

PESO ZONA CONVECTIVA HORNO 2

Tabla 5.2 Datos obtenidos del Plano D-9075-2A, D-9075-2B (BORN CANADA SERVICES LTD)

Ítem	Material	Longitud	Cantidad	Material	Peso
1	Tubería 4.5"O.D Sch. 80	12' 4"	1	A-106 Gr. B	161.00
2	Tubería 4.5"O.D Sch. 80	10' 1"	34	A-106 Gr. B	4954.10
3	Tubería 4.5"O.D Sch. 120	10' 1"	7	A- 335 P5	1129.00
4	4.5"O.D Sch. 120	10' 1"	7	A- 335 P5	1014.70
5	4.5"O.D Sch. 120	10' 1"	13	A- 335 P5	1129.90
6	4.5"O.D Sch. 120	12' 4"	1	A- 335 P5	106.10
7	4.5"O.D Sch. 80	1' 4 9/16"	1	A-106 Gr. B	9.50
8	4.5"O.D Sch. 80 sección recta 90°		2	A-234 WP8	7.70
9	U-bend 4.5"O.D Sch. 80 x 180°		33	A-234 WP8	127.50
10	U-bend 4.5"O.D Sch. 80 x 180°		1	A-234 WP8	9.50
11	U-bend 4.5"O.D Sch. 120 x 180°		27	A-234 WP8	254.90
12	Brida 4" x 300# Sch.80	4"	1	A-105 Gr. N	11.30
13	Brida 4" x 300# Sch.120		1	A-182 Gr. F5	11.30
14	Refractario		1	Kaolite 2300	986.60
15	Caja convectiva		1		8164.70
TOTAL					18078.00

Peso de Agua en convectiva = 1188.40 Kg

Peso con prueba Hidrostática = 18078.00 + 1188.40 = 19266.40 Kg

TRANSICION SUPERIOR DEL HORNO 1

Estructura de zona transición

Anillo Ø2146 mm. OD x Ø1955.00 ID

Diámetro exterior =	2146	mm.
Diámetro interior =	1955	mm.
Espesor =	0.75	Pulgadas
ρ =	7850	kg/m ³
V =	0.011719471	m ³

$$P_1 = 92.00 \text{ Kg}$$

Anillo Ø1994 mm. x 114.0 mm.

Diámetro exterior =	1994.0	mm.
Ancho =	114.0	mm.
Espesor =	0.5	Pulgadas
ρ =	7850	kg/m ³
V =	0.009069505	m ³

$$P_2 = 71.20 \text{ Kg}$$

Anillo Ø2146 mm. OD x Ø1955.00 ID

Diámetro exterior =	2146	mm.
Diámetro interior =	1994	mm.
Espesor =	0.75	Pulgadas
ρ =	7850	kg/m ³
V =	0.009415184	m ³

$$P_3 = 73.90 \text{ Kg}$$

Plancha cuadrada

Lado =	2096	mm.
Ø corte =	1956	mm.
ρ =	7850	kg/m ³
Espesor =	0.75	Pulgadas
V =	0.026447742	m ³

$$P_4 = 207.60 \text{ Kg}$$

Trapezios estructurales laterales

a. Trapecio 1

Base mayor =	2603	mm.
Base menor =	1994	mm.
Altura =	840	mm.
ρ =	7850	kg/m ³
Espesor =	0.25	Pulgadas
Cantidad:	2	Unidades
V =	0.012260199	m ³ multiplicar x 2

$$P_5 = 192.50 \text{ Kg}$$

b. Trapecio 2

Base mayor =	1994	mm.
Base menor =	1813	mm.
Altura =	840	mm.
ρ =	7850	kg/m ³
Espesor =	0.25	Pulgadas
Cantidad:	2	Unidades
V =	0.010153269	m ³ multiplicar x 2

$$P_6 = 159.40 \text{ Kg}$$

Base placa de 4" x 1/2"

Peso lineal = 10.13 Kg/m³
 Longitud total = 9086 mm

$$P_7 = 92.00 \text{ Kg}$$

PESO TOTAL ($P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6+ P_7$) = 888.66 Kg.

Incrementado un 5% = 933.03 Kg.

Refractario

Trapezio 1

Base mayor =	2603	mm.
Base menor =	1994	mm.
Altura =	840	mm.
Espesor =	150	mm.
ρ =	1026	Kg/m ³
Cantidad =	2	Unidades
Área =	1.93074	m ²
Volumen =	0.289611	m ³ (multiplicar x 2)

$$P_8 = 594.30 \text{ Kg}$$

Trapezio 2

Base mayor =	1994	mm.
Base menor =	1813	mm.
Altura =	840	mm.
Espesor =	150	mm.
ρ =	1026	Kg/m ³
Cantidad =	2	Unidades
Área =	1.59894	m ²
Volumen =	0.239841	m ³ (multiplicar x 2)

$$P_9 = 1086.50 \text{ Kg.}$$

Agujas Ribtec

4% del peso de Refractario de $P_9 = P_{10} = 43.46$ Kg

PESO TOTAL ($P_8 + P_9 + P_{10}$) = 1086.50 Kg.

TRANSICION SUPERIOR DEL HORNO 2

Estructura de zona transición

Anillo Ø2146 mm. OD x Ø1955.00 ID

Diámetro exterior =	2146	mm.
Diámetro interior =	1955	mm.
Espesor =	0.75	Pulgadas
ρ =	7850	kg/m ³
V =	0.011719471	m ³

$P_1 = 92.00$ Kg.

Anillo Ø1994 mm. x 114.0 mm.

Diámetro exterior =	1994.0	mm.
Ancho =	114.0	mm.
Espesor =	0.5	Pulgadas
ρ =	7850	kg/m ³
V =	0.009069505	m ³

$P_2 = 71.20$ Kg.

Anillo Ø2146 mm. OD x Ø1955.00 ID

Diámetro exterior =	2164	mm.
Diámetro interior =	1994	mm.
Espesor =	0.75	Pulgadas
ρ =	7850	kg/m ³
V =	0.010575923	m ³

$P_3 = 83.00$ Kg.

Plancha cuadrada

Lado =	2096	mm.
Ø corte =	1956	mm.
ρ =	7850	kg/m ³
Espesor =	0.75	Pulgadas
V =	0.026447742	m ³

$$P_4 = 207.60 \text{ Kg.}$$

Trapecios estructurales Laterales

a. Trapecio 1

Base mayor =	2769	mm.
Base menor =	1994	mm.
Altura =	839	mm.
ρ =	7850	kg/m ³
Espesor =	0.25	Pulgadas
Cantidad =	2	Unidades
V =	0.012687798	m ³ (multiplicar x 2)

$$P_5 = 199.20 \text{ Kg.}$$

b. Trapecio 2

Base mayor =	1994	mm.
Base menor =	1826	mm.
Altura =	920	mm.
ρ =	7850	kg/m ³
Espesor =	0.25	Pulgadas
Cantidad:	2	Unidades
V =	0.01115822	m ³ (multiplicar x 2)

$$P_6 = 175.20 \text{ Kg.}$$

Base placa de 4" x 1/2"

Peso lineal =	10.13	Kg/m ³
Longitud total =	9394	mm

$$P_7 = 95.20 \text{ Kg.}$$

PESO TOTAL ($P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6+ P_7$) = 923.40 Kg.

Incrementado un 5% = 969.60 Kg.

Refractario

Trapecio 1

Base mayor =	2769	mm.
Base menor =	1994	mm.
Altura =	839	mm.
Espesor =	150	mm.
ρ =	1026	Kg/m ³
Cantidad =	2	Unidades
Área =	1.9980785	m ²
Volumen =	0.299711775	m ³ (multiplicar x2)

$P_8 = 615.00$ Kg

Trapecio 2

Base mayor	1994	mm.
Base menor	1826	mm.
Altura	920	mm.
Espesor	150	mm.
ρ	1026	Kg/m ³
Cantidad	2	Unidades
Área	1.7572	m ²
Volumen	0.26358	m ³ (multiplicar x 2)

$P_9 = 540.90$ Kg

Agujas Ribtec

4% del peso de Refractario de $P_9 = P_{10} = 43.23$ Kg

PESO TOTAL ($P_8 + P_9 + P_{10}$) = 1202.10 Kg

CHIMENEA

*(Ver plano UNI FIM – 006)*Estructura de Chimenea

Anillo Base

- a. Anillo externo de Ø 2105 mm x 3/4"

Diámetro mayor	2105	mm
Diámetro menor	1961	mm
Espesor	0.75	Pulgadas
ρ	7850	Kg/m ³
Volumen	0.008760214	m ³

$$P_1 = 68.80 \text{ Kg}$$

- b. Anillo interno de Ø 2105 mm x 3/4"

Diámetro mayor	1961	mm
Diámetro menor	1733	mm
Espesor	0.125	"
ρ	7850	Kg/m ³
Volumen	0.002100223	m ³

$$P_2 = 16.50 \text{ Kg.}$$

Tronco de cono inferior

Diámetro mayor	1981	mm.
Diámetro menor	1600	mm.
Espesor	0.25	Pulgadas
Altura	3000	mm.
ρ	7850	Kg/m ³
Volumen	0.214744972	m ³

$$P_3 = 1685.70 \text{ Kg.}$$

Puerta de acceso

$$P_4 = 25.00 \text{ Kg.}$$

Cilindro de chimenea

Diámetro	1600	mm.
Altura 1	5951	mm.
Altura 2	12871	mm.
Espesor	0.25	"
1"	25.4	mm.
$\rho =$	7850	Kg/m ³
V =	0.600771538	m ³

$$P_5 = 4716.10 \text{ Kg.}$$

Tronco de cono superior

Diámetro mayor	1600	mm.
Diámetro menor	1260	mm.
Espesor	0.25	"
Altura	1000	mm.
ρ	7850	Kg/m ³
Volumen	0.057873029	m ³

$$P_6 = 454.30 \text{ Kg.}$$

Anillo superior

Diámetro mayor	1320	mm
Diámetro menor	1160	mm
Espesor	0.25	Pulgadas
ρ	7850	Kg/m ³
V	0.001978952	m ³

$$P_7 = 15.50 \text{ Kg.}$$

Angulo L3"xL3"x3/8"

Peso =	10.71	Kg/m
Total de anillos =	7	Unidades
Ø de los anillos =	1600	mm.
Longitud total x 1 anillo =	5.026548246	m.
Longitud 7 anillos =	35.18583772	m.

$$P_8 = 377.00 \text{ Kg.}$$

Angulo L4" x L4" x 1/4"

Peso =	9.826	Kg./m
Total de anillos =	1	Unidad
Ø de los anillos =	1600	mm.
Longitud total x 1 anillo =	5.026548246	m.

$$P_9 = 49.40 \text{ Kg.}$$

$$\text{PESO PARCIAL } (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_8 + P_9) = 7391.80 \text{ Kg}$$

$$\text{Incrementado un 5\%} = 7761.40 \text{ Kg.}$$

Accesos

Escaleras

Peso lineal	1.55	kg / m
Cantidad de peldaños	81.00	Unidades
Ø barra	0.63	Pulgadas
Longitud por barra	900.00	mm.

$$P_{10} = 113.00 \text{ Kg.}$$

Guardas de protección

a. Zona superior

Peso lineal =	1.9	Kg / m
Cantidad de platinas verticales =	5	Unid.
Longitud por platina =	12780	mm.

$$P_{11} = 121.40 \text{ Kg.}$$

b. Zona inferior

Peso lineal	1.9	Kg/m
Cantidad de platinas horizontales	10	Unidades
Longitud por platina	2014.4	mm.

$$P_{12} = 38.30 \text{ Kg.}$$

Plataforma

(Ver plano UNI FIM - 014)

$$P_{13} = 695.00 \text{ Kg.}$$

$$\text{PESO TOTAL } (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_{11} + P_{13}) = 967.70 \text{ Kg}$$

$$\text{Incrementado un 5\%} = 1016.10 \text{ Kg.}$$

Anillo de maniobra

(Ver plano UNI FIM - 007)

Viga perfil S8 x #18.4

Peso =	27.38	Kg./m
Ø de la viga =	3440	mm.
Longitud total =	10.80707873	m.

$$P_{14} = 295.90 \text{ Kg.}$$

Angulo L3"xL3"x3/8"

a. Angulo horizontal

Peso	10.71	Kg./m
Longitud	955.00	mm.
Cantidad	6.00	Unid.
Longitud Total	5730.00	mm.

$$P_{15} = 61.40 \text{ Kg.}$$

b. Angulo oblicuo

Peso	10.71	Kg./m
Longitud	1200.00	mm.
Cantidad	6.00	Unid.
Longitud Total	7200.00	mm.

$$P_{16} = 77.10 \text{ Kg.}$$

Uniones

Unión 1	Cantidad =	6.00	Unidades	Peso c/u =	1.00	Kg.
Unión 2	Cantidad =	6.00	Unidades	Peso c/u =	2.00	Kg.
Unión 3	Cantidad =	6.00	Unidades	Peso c/u =	2.58	Kg.

$$P_{17} = 33.50 \text{ Kg.}$$

Carga aplicada externa

$$P_{18} = 1500.00 \text{ Kg}$$

$$\text{PESO PARCIAL } (P_{14} + P_{15} + P_{16} + P_{17}) = 467.90 \text{ Kg}$$

$$\text{Incrementado un 5\%} = 491.30 \text{ Kg.}$$

Monorriel de pintura

(Ver plano UNI FIM - 009)

$$P_{18} = 136.30 \text{ Kg.}$$

Refractario

Zona tronco cónica inferior

$$\rho = 1026 \text{ Kg / m}^3$$

$$V = 0.817128249 \text{ m}^3$$

$$P_{19} = 838.40 \text{ Kg}$$

Zona cilíndrica

$$\rho = 1026 \text{ Kg / m}^3$$

$$V = 0.817128249 \text{ m}^3$$

$$P_{20} = 4701.80 \text{ Kg}$$

Zona tronco cónica superior

$$\rho = 1026 \text{ Kg / m}^3$$

$$V = 0.2167 \text{ m}^3$$

$$P_{21} = 222.40 \text{ Kg}$$

$$\text{PESO REFRACTARIO } (P_{19} + P_{20} + P_{21}) = 5762.60 \text{ Kg}$$

Agujas Ribtec

$$4\% \text{ del peso de Refractario} = P_{22} = 115.30 \text{ Kg}$$

$$\text{PESO TOTAL REFRACTARIO} = 5877.90 \text{ Kg}$$

Tabla 5.3 RESUMEN DE PESOS TOTALES DE LOS HORNOS 1 y 2

ITEM	FONDO RADIANTE	RADIACION	SECCION SUPERIOR RADIANTE	ZONA CONVECTIVA HORNO 1	ZONA CONVECTIVA HORNO 2	TRANSICION SUPERIOR HORNO 1	TRANSICION SUPERIOR HORNO 2	CHIMENEA	TOTAL
Acero estructural	1086.15	14198.18	6456.42	8164.66	8164.70	933.03	969.57	8388.98	48361.69
Hormigón-Ladrillos refractarios	3641.44	18253.29	3451.60	986.56	986.60	1129.96	1202.14	5877.85	35529.45
Tubos	-	10475.90	-	4982.71	8926.70	-	-	-	24385.31
Prueba	-	4835.78	-	1188.41	1188.40	-	-	-	7212.59
Quemadores	1200.00	-	-	-	-	-	-	-	1200.00
Accesos	-	4368.63	-	-	-	-	-	1016.09	5384.72
TOTAL PARCIAL(Kg.)	5927.59	52131.78	9908.02	15322.35	19266.40	2062.99	2171.71	15282.91	122073.75
Volumen de hormigón refractario (m ³)	3.55	17.79	3.36	0.96	0.96	1.10	1.17	5.73	34.63

5.2 Condiciones accidentales

5.2.1 Determinación de la carga por Viento

Para la determinación de la carga por viento, se considera que los efectos del viento serán soportados por dos columnas, según se muestra en la figura 5.1

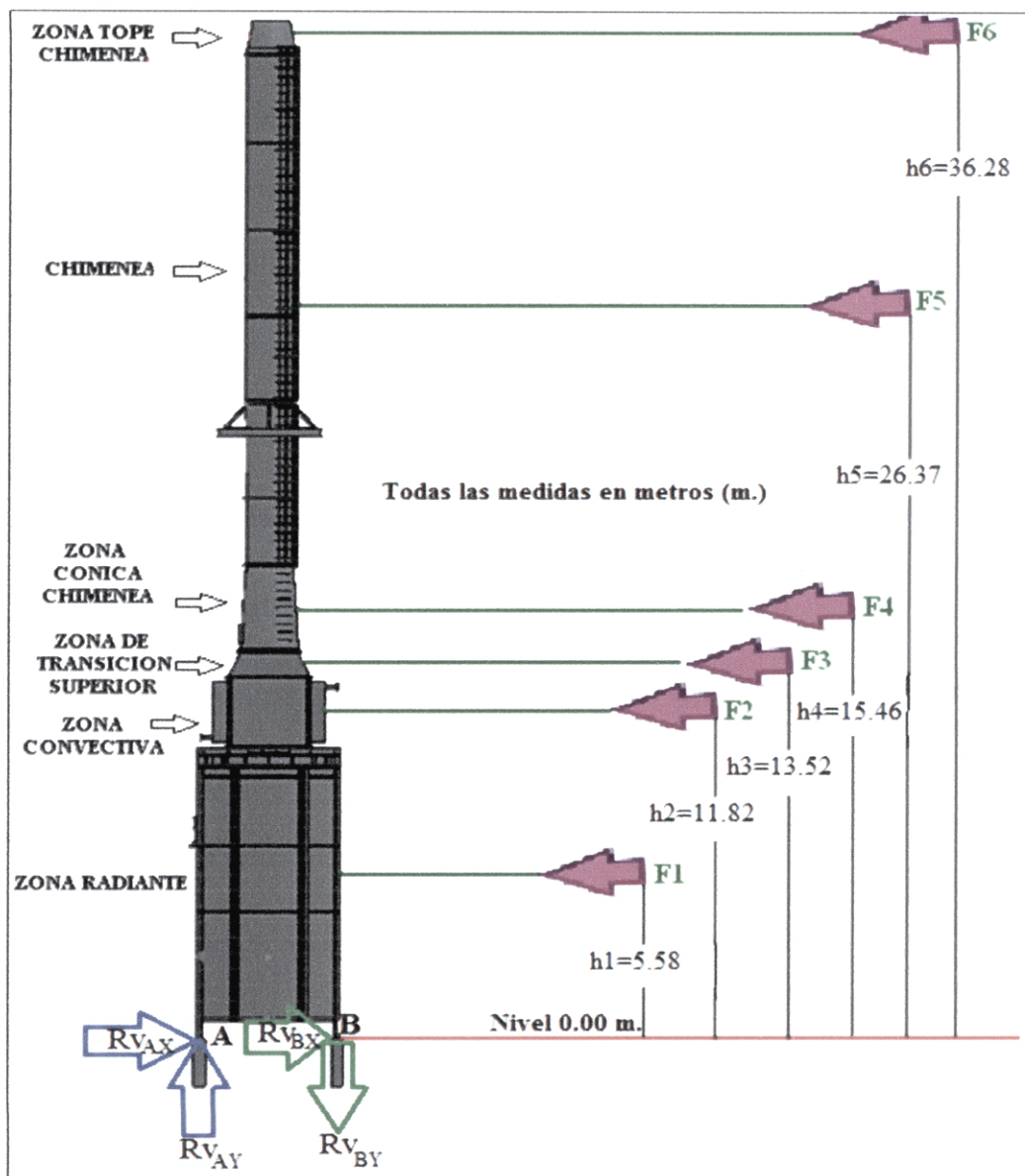


Fig. 5.1 Efectos del viento sin considerar la gravedad

Nota: El cálculo de los efectos del viento se realizara con el horno F2 por tener la zona convectiva más grande y pesada.

$F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$ = Fuerzas del viento en las diferentes zonas del horno, que actúan en su centro geométrico.

$R_{V_{AX}}, R_{V_{AY}}$ = Reacciones horizontales debidas al viento en las columnas A y B, (Kg.)

$R_{V_{AY}}, R_{V_{AX}}$ = Reacciones verticales debidas al viento en las columnas A y B, (Kg.)

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE -23.05.2006) Norma E.020 - Artículo 12.

$$V_h = V \left(\frac{h}{10} \right)^{0.22}$$

Donde:

V_h = Velocidad de diseño en la altura h en Km/h

V = Velocidad de diseño hasta 10 m. de altura en Km/h

Del mapa eólico del Perú del RNE(Apéndice C) Norma E.020 - Anexo 2, el valor de V = 45 km / h

h = Altura sobre el terreno en metros

Realizando las operaciones obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 5.4 VELOCIDAD DEL VIENTO A UNA ALTURA h (V_h en Km/h)

ZONA	LONGITUD (mm.)	ALTURA DE CENTRO GEOMETRICO	DIMENSIONES				AREA PROYECTADA (m ²)	V_h (Km/h)	
			LARGO	ANCHO	BASE MAYOR	BASE MENOR			ALTURA (h)
RADIANTE	9918.00	5589.00	9918.00	4831.00	-	-	-	47.91	39.59
ZONA CONVECTIVA	2546.00	11821.00	2798.60	2546.00	-	-	-	9.49	46.69
			2213.00	533.40	-	-	-		
TRANSICION SUPERIOR	867.00	13527.50	-	-	2768.60	1994.00	867.00	2.06	48.09
TRONCO CONICA DE CHIMENEA	3000.00	15461.00	-	-	1981.00	1612.70	3152.00	11.33	49.53
CHIMENEA	18822.00	26372.00	18822.00	1617.70				30.45	55.70
TOPE DE CHIMENEA	1000.00	36283.00			1617.70	1260.00	1000.00	1.44	59.75

Ahora del RNE Norma E.020 Artículo 12.4

$$P_h = 0.005 C V_h^2$$

Donde:

P_h = Presión o succión del viento a una altura h en $\frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$

C = factor de forma adimensional indicado en tabla 4 del artículo 12.4 del RNE

V_h = velocidad de diseño a la altura h , en Km/h, definida en el RNE artículo 12.3

Realizando las operaciones obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 5.5 FUERZA Y MOMENTO RESULTANTE POR ACCION DEL VIENTO

Punto	$P_h(\text{Kgf/m}^2)$	$P_h \times 1.2$	C	F(Kgf)	M(Kgf x m)
1	5.49	6.58	0.7	315.47	1763.18
2	21.80	26.16	2	248.12	2933.02
3	9.25	11.10	0.8	22.92	310.06
4	9.81	11.77	0.8	133.37	2062.04
5	10.86	13.03	0.7	396.77	10463.67
6	14.28	17.14	0.8	24.66	894.65
TOTAL				1141.31	18426.62

Nota: El factor 1.2 está estipulado en el RNE artículo 12.2 tipo 2, para estas condiciones.

Además se tiene:

Fuerza resultante ($\sum F^T$) = FR = 1141.31 kgf

Momento resultante ($\sum M^T$) = 18426.62 Kgf x m

Posición de la resultante $\frac{\sum M^T}{\sum F^T} = 16.15 \text{ m}$

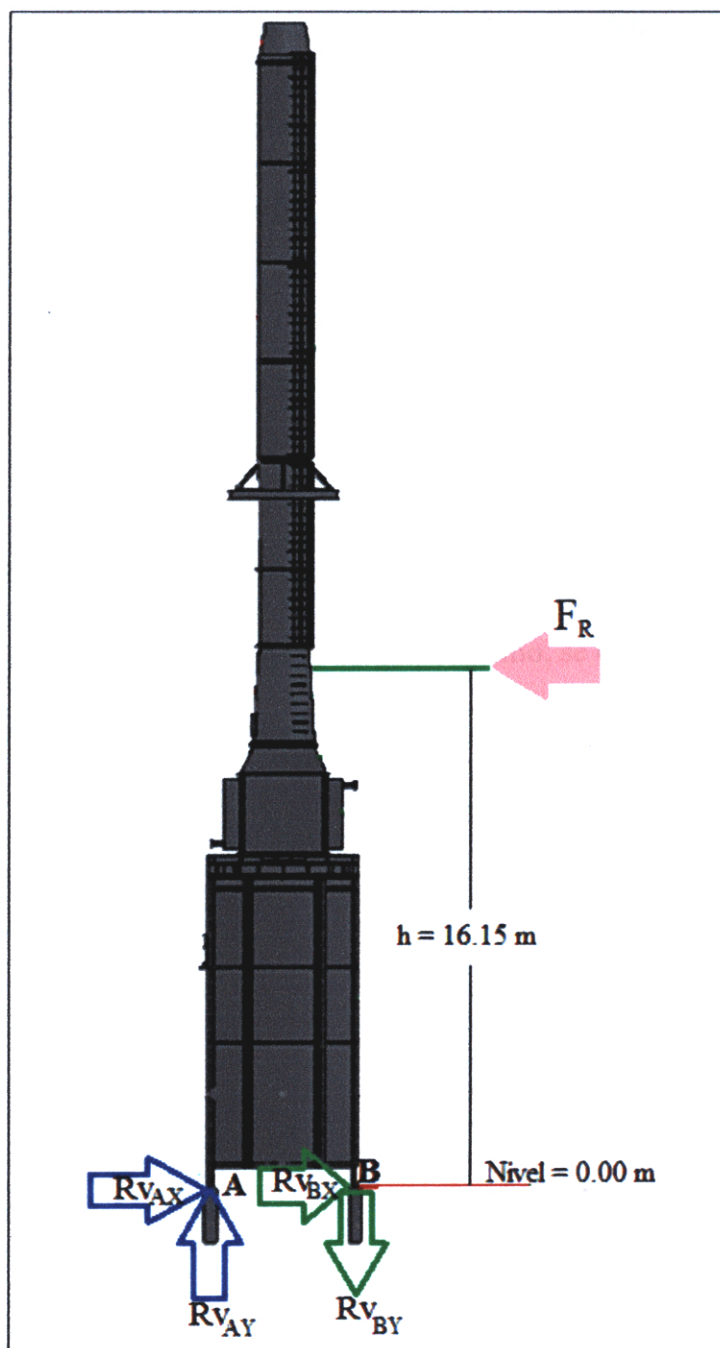


Fig. 5.2 Efecto del viento resultante sin considerar la gravedad

Condiciones de equilibrio:

$$\curvearrowright \sum M_B = 0$$

$$\uparrow \sum F_y = 0$$

También, distancia entre columnas de apoyo 4.635 m

$$F_R \times 16.15 - R_{V_{AY}} \times 4.635 = 0 \dots\dots\dots (I)$$

$$R_{V_{AY}} - R_{V_{BY}} = 0 \dots\dots\dots (II)$$

De (I) y (II) se tiene:

$$R_{V_{AY}} = R_{V_{BY}} = 3979.00 \text{ Kgf} \dots\dots\dots (\alpha)$$

5.2.2 Determinación de la carga por Sismo

Para la determinación de la carga por sismo, se considera que los efectos del sismo serán soportados por dos columnas, según se muestra en la figura 6.3.

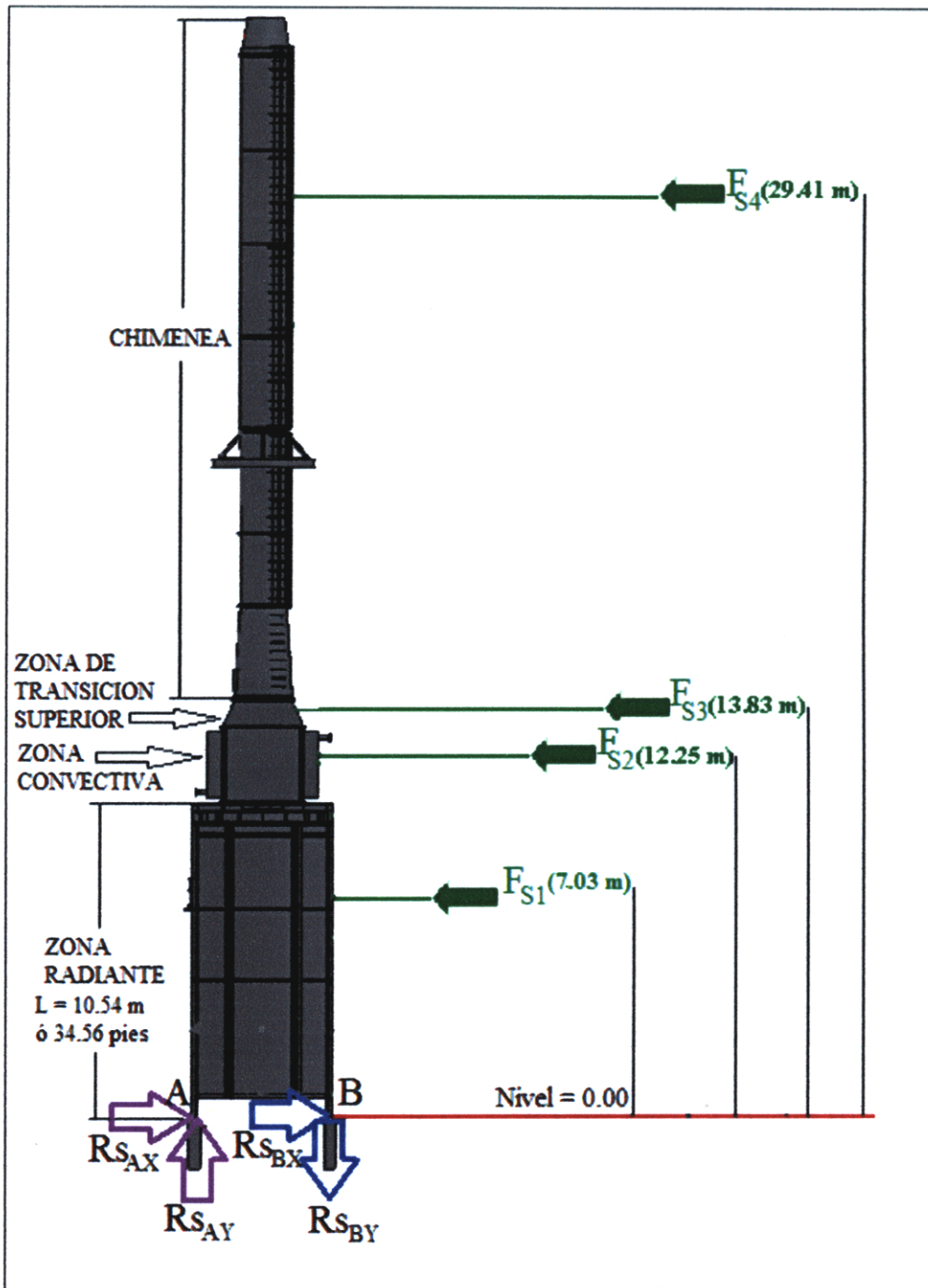


Fig. 5.3 Efectos del sismo sin considerar el peso del horno.

Nota: El cálculo de los efectos del sismo se realizara con el horno F2 por tener la zona convectiva más grande y pesada.

FS1, FS2, FS3, FS4, FS5, FS6 = Fuerzas del sismo en las diferentes zonas del horno, que se concentra en las 2/3 partes de su altura, por tener una distribución triangular, según el diagrama de carga sísmica ⁽¹⁾.

RS_{AX} , RS_{AX}= Reacciones horizontales debidas al sismo en las columnas A y B, (Kg.)

RS_{AY} , RS_{AY} = Reacciones verticales debidas al sismo en las columnas A y B, (Kg.)

Por ser una estructura irregular, es decir, la superficie en planta disminuye con la altura, ya que estas reducciones superan el 25% de las dimensiones iniciales, se analizará por secciones.

La fuerza cortante en la base se calcula así:

$${}^{(2)} V = \frac{C_v I}{RT} W \quad \dots\dots (1)$$

Donde:

C_v = Coeficiente sísmico (Tabla 16-R UBC 1997 – Apéndice B)

I = Factor de importancia (Tabla 16-K UBC 1997 - Apéndice B)

R = Coeficiente numérico concerniente a disipar energía (Tabla 16-N ó 16-P UBC 1997 - Apéndice B)

W = Peso total de la estructura en Kg.

T = Periodo fundamental de la estructura en segundos(s) y se calcula así:

$${}^{(3)} T = C_t h_n^{(3/4)} \quad \dots\dots (2)$$

Para nuestro caso:

$C_t = 0.035$ (Edificaciones sostenidas de acero)

h_n = Altura de la edificación en pies.

También:

$${}^{(4)} F_S = V - F_t \dots \dots \dots (3)$$

F_t = Fuerza sísmica horizontal total que actúa en la parte superior de la edificación, además:

$$\left. \begin{array}{l} {}^{(4)} F_t = 0.07 T V \text{ (} F_t \text{ no debe sobrepasar de } 0.25V \text{)} \\ {}^{(4)} F_t = 0, \text{ para } T \leq 0.7 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

Analizamos la zona radiante de la figura 5.3

De (2) se tiene:

$$T = 0.035 \times 34.56^{(3/4)}$$

$$T = 0.51 \text{ s} \dots \dots \dots (5)$$

De las tablas del UBC 1997 tenemos:

$$I = 1.00 \dots \dots \dots (6)$$

$$R = 3.60 \dots \dots \dots (7)$$

$$C_v = 0.4 \times N_v \dots \dots \dots (8)$$

N_v = Se obtiene de la tabla 16-T del UBC 1997 (Apéndice B)

Para nuestro caso tomamos $N_v = 1.6$

Reemplazamos en (8), tenemos:

$$C_v = 0.64 \dots \dots (9)$$

De la tabla 5.3, se tiene que:

$$W = 5927.59 + 52131.78 + 9908.02 = 67967.4 \dots \dots (10)$$

Ahora reemplazamos (5), (6), (7), (9), (10) en (1)

$$V = 23684.22 \text{Kg.}$$

Puesto que $T = 0.51 \text{s}$ y $T \leq 0.7 \rightarrow F_t = 0 \dots \dots$ de (4)

Reemplazamos estos valores en (3), tenemos:

$$F_s = V = F_{s1} = 23684.22 \text{ Kg.}$$

Para secciones de la estructura la fuerza de sismo lateral se calcula así:

$$^{(5)} F_p = Z C_p W_p$$

$Z = 0.4$ (Factor de zona del RNE – Perú - Norma E.030 Art. 5 - Apéndice C)

$C_p =$ Coeficiente numérico indicado en la tabla N°23-I del UBC 1964 -
Apéndice A

$W_p =$ Peso de la sección a analizar

Para la zona convectiva y la zona de transición superior:

$$C_p = 0.2$$

Para la chimenea, puesto que $H/D > 5$, $C_p = 0.2$ se incrementa en 50%

(Apéndice A), entonces:

$H =$ Altura de la chimenea

$D =$ Diámetro externo de la chimenea

$$C_P = 0.2 \times (1+50\%) = 0.3$$

En la Fig. 5.3 y utilizando los valores de la tabla 5.3, tenemos:

$$F_{S2} = 0.4 \times 0.2 \times 19266.40 = 1541.31 \text{ Kg.}$$

$$F_{S3} = 0.4 \times 0.2 \times 2171.71 = 173.73 \text{ Kg.}$$

$$F_{S4} = 0.4 \times 0.3 \times 15282.91 = 1833.95 \text{ Kg.}$$

Condiciones de equilibrio:

$$\sum M_B = 0$$

$$\sum F_Y = 0$$

También, distancia entre columnas de apoyo 4.635 m

$$23684.22 \times 7.03 + 1541.31 \times 12.25 + 173.73 \times 13.83 + 1833.95 \times 29.41 - R_{SAY} \times 4.635B = 0 \dots \dots \dots (I)$$

$$R_{SAY} - R_{SBY} = 0 \dots \dots \dots (II)$$

De (I) y (II) se tiene:

$$R_{SAY} = R_{SBY} = 52151.10 \text{ Kgf.} \dots \dots \dots (\beta)$$

De (α) y (β) se toma el mayor valor, entonces:

$$R_{AY} = R_{BY} = 52151.10 \text{ Kg}$$

(1) *Manual de recipientes a presión – Eugene F. Megyesy - Edición 1998 Pág. 59.*

(2) *UBC 1997 Capítulo 16, división 4, sección 1630.2.1.*

(3) *UBC 1997 Capítulo 16, división 4, sección 1630.2.2.*

(4) *UBC 1997 Capítulo 16, división 4, sección 1630.5).*

(5) *UBC 1964 Sección 2314*

5.2.3 Selección del perfil W

Ya conocidas las condiciones de carga, tanto las normales de operación o prueba, como las condiciones accidentales (Viento y sismo), se hace una combinación de las mismas, tomando la más desfavorable, ya sea de operación o prueba y de viento o de sismo.

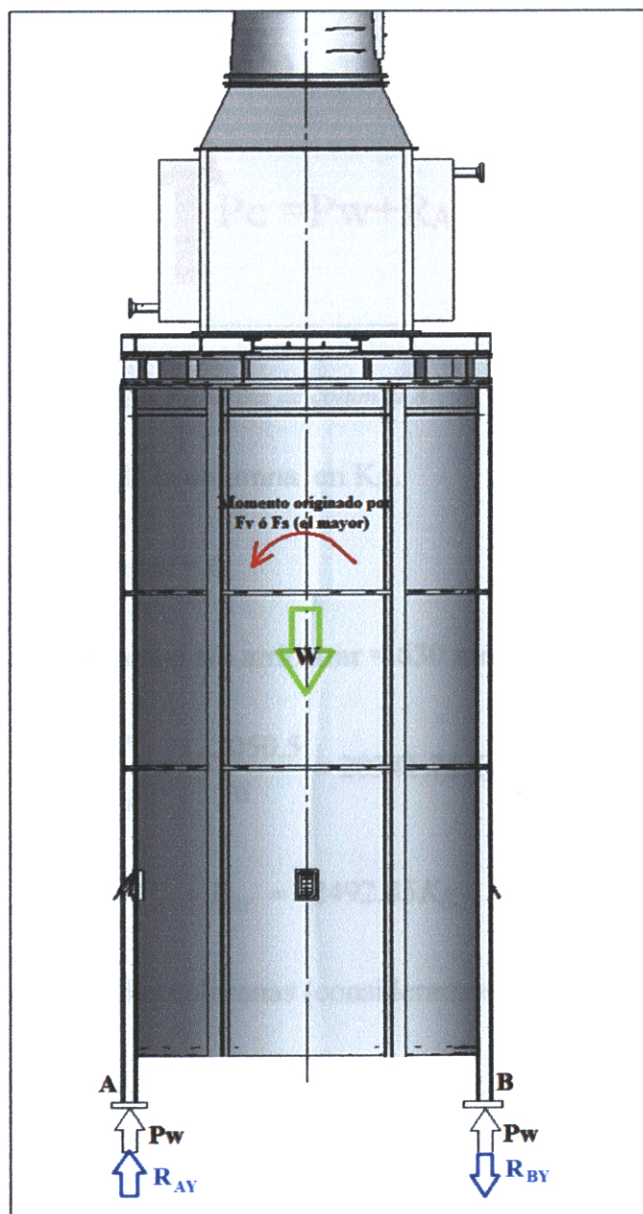


Fig. 5.4 Diagrama de cuerpo libre en la condición más desfavorable (sismo)

Analizamos la columna A:

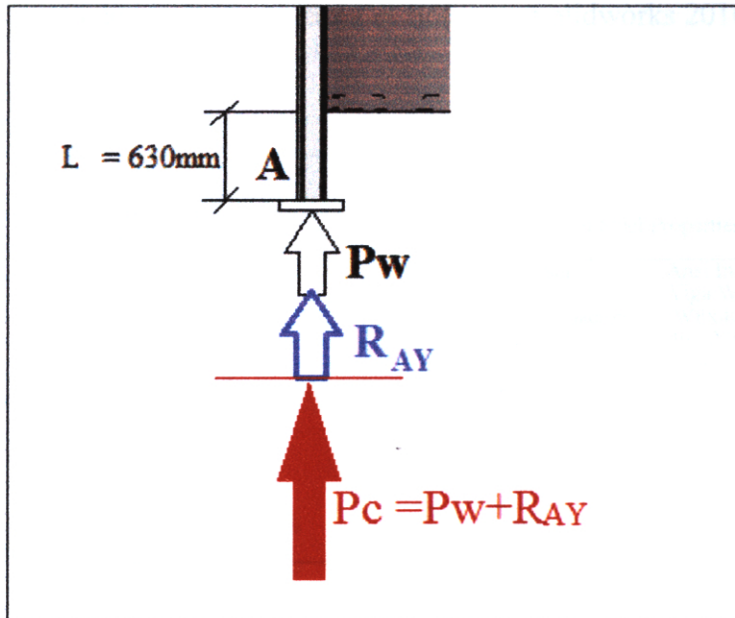


Fig.5.5 Análisis de columna A

P_C = Carga axial total de la columna en Kg.

N_p = Número de columnas = 6

L = Longitud de la columna sin arriostrar = 630 mm.

$$P_w = \frac{W}{N_p} = \frac{122050.5}{6} = 20341.75\text{Kg}$$

$$P_C = P_w + R_{AY} = 72492.85\text{Kg}$$

Selección del perfil de las columnas (consideramos Acero ASTM A-36)

Para $P_C = 72492.85\text{Kg}$

$$\sigma_y = 2549.00 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Seleccionamos un perfil W8 x #40

(Librería de perfiles estructurales Software Solidworks 2010)

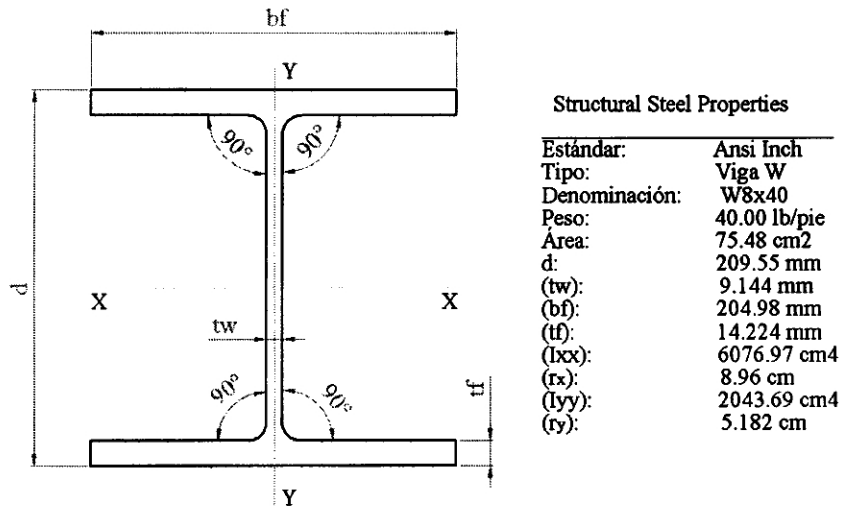


Fig.5.6 Perfil W8x40

$$L_e = KL$$

L_e = Longitud efectiva de la columna

(*)K = Factor de longitud efectiva = 1.2

(*)Fuente: *Diseño de Estructuras de Acero. 2da edición. México, mayo 2006. Pag141*

$$L_e = 1.2 \times 630 = 756 \text{ mm} = 76 \text{ cm}$$

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{L_e}{r_y} = \frac{76}{5.182} = 14.67$$

Además, tenemos que la relación de esbeltez que divide el pandeo elástico del inelástico es:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 2039000}{2549}} = 125.65$$

Si $\frac{L_e}{r_y} < C_c$ se utiliza la siguiente fórmula parabólica

$$\sigma_c = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2} \right] \sigma_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}}$$

σ_c = Esfuerzo permisible $\left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$

Donde, la expresión $\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}$ es el factor de seguridad,

reemplazando los valores, obtenemos:

$$\sigma_c = \frac{\left[1 - \frac{(14.67)^2}{2 \times (125.65)^2} \right] \times 2549}{\frac{5}{3} + \frac{3 \times (14.67)}{8 \times 125.65} - \frac{(14.67)^3}{8 \times (125.65)^3}} = 1480.26 \frac{Kg}{cm^2}$$

También:

$$P_c = 72492.85 Kg$$

De la Fig.5.6 A_p = Área de la sección transversal del perfil (cm^2)

$$\sigma_c' = \frac{72492.85}{75.48} = 960.42 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$\sigma_c' < \sigma_c \quad \text{OK} \checkmark$$

5.2.4 Cálculo de placa base

Material Acero ASTM A-36

$$\sigma_y = 36 \text{ ksi}$$

$$P_C = 72492.85 \text{ Kg} \text{ convirtiendo a Kips.}$$

$$P_C = P_u = 159.81 \text{ Kip}$$

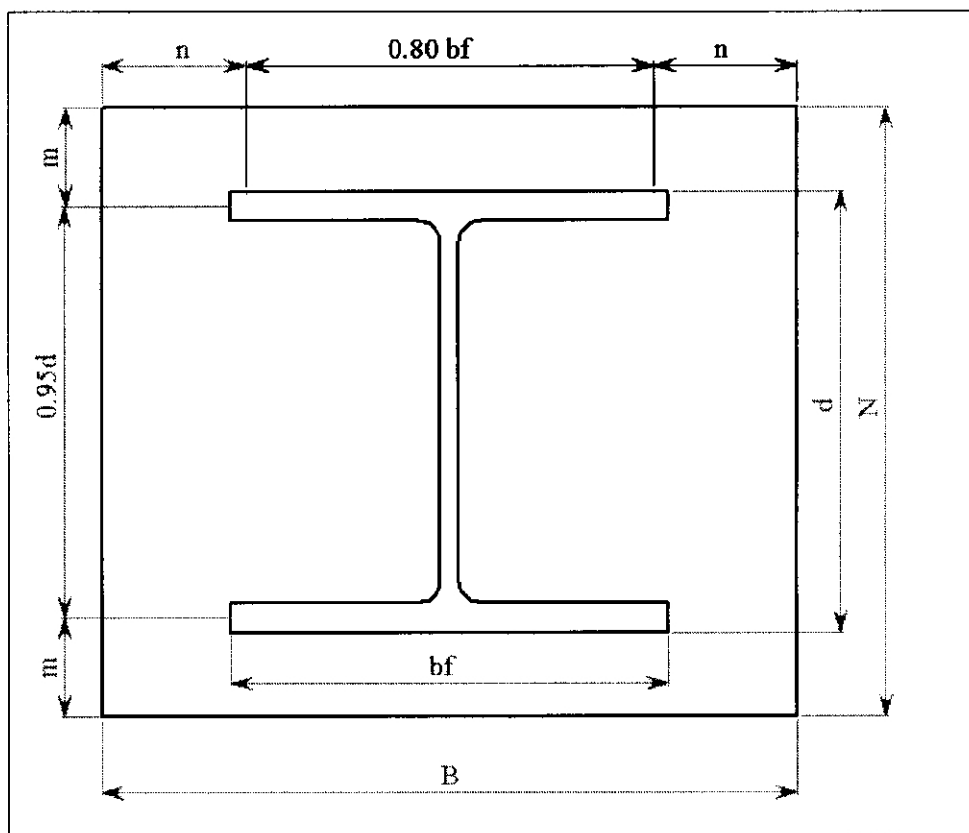


Fig.5.7 Dimensiones de placa base

Para el cálculo del Área requerida, se tiene:

$$A_1 = \frac{P_u}{\phi_c 0.85 f'_c}$$

Donde:

f'_c = Resistencia a compresión a los 28 días del concreto en ksi.

ϕ_c = Coeficiente de aplastamiento en el concreto = 0.6

$$A_1 = \frac{159.81}{0.6 \times 0.85 \times 3} = 104.45 \text{ in}^2 = 673.87 \text{ cm}^2$$

Optimizar las dimensiones de la placa:

$$\Delta = \frac{0.95d - 0.8b_f}{2} = \frac{0.95 \times 20.95 - 0.8 \times 20.49}{2} = 1.76 \text{ cm}$$

$$N \cong \sqrt{A_1} + \Delta = \sqrt{673.87} + 1.76 = 27.72 \text{ cm} \cong 11''$$

$$B \cong \frac{A_1}{N} = \frac{673.87}{27.72} = 24.31 \text{ cm} = 9.57'' \cong 10''$$

También se tiene:

$$m = \frac{N - 0.95d}{2} = \frac{27.72 - 0.95 \times 20.95}{2} = 3.91 \text{ cm}$$

$$n = \frac{B - 0.8b_f}{2} = \frac{24.31 - 0.8 \times 20.49}{2} = 3.96 \text{ cm}$$

Se tiene, para placas que cubren el área total del soporte de concreto:

$$\phi_c \times P_p = 0.6 \times 0.85 \times 3 \times 11'' \times 10'' = 168.3$$

Calculando el valor mayor de m, n ó λn :

$$l = \max(m, n, \lambda n)$$

$$X = \left[\frac{4db_f}{(d + b_f)^2} \right] \frac{P_u}{\phi_c \times P_p} = \left[\frac{4 \times 20.95 \times 20.49}{(20.95 + 20.49)^2} \right] \frac{159.81}{168.3} = 0.95$$

$$\lambda = \frac{2\sqrt{X}}{1+\sqrt{1-X}} \leq 1$$

$$\lambda = \frac{2\sqrt{0.95}}{1+\sqrt{1-0.95}} = 1.59 > 1 \Rightarrow \lambda = 1$$

$$\lambda'_n = \frac{\lambda \sqrt{db_f}}{4} = \frac{1\sqrt{20.95 \times 20.49}}{4} = 5.17 \text{ cm} \cong 2''$$

$$l = \max(m, n, \lambda'_n) = 5.17 \text{ cm} = 2''$$

Finalmente, el espesor de la placa se determina con:

$$t = l \sqrt{\frac{2P_u}{0.9\sigma_y BN}} = 5.17 \times \sqrt{\frac{2 \times 159.81}{0.9 \times 36 \times 10'' \times 11''}} = 0.6'' = 1.54 \text{ cm}$$

Usar PL $\frac{3}{4}$ x 11 x 10 pulg. con un pedestal de 11'' x 10''

5.2.5 Uso del Software de diseño mecánico para el sistema estructural

5.2.5.1 Elaboración del modelo

Con ayuda del diseño asistido por computadora, para lo cual omitiremos los detalles, como barandas y escaleras que sus efectos son relevantes en la estructura.

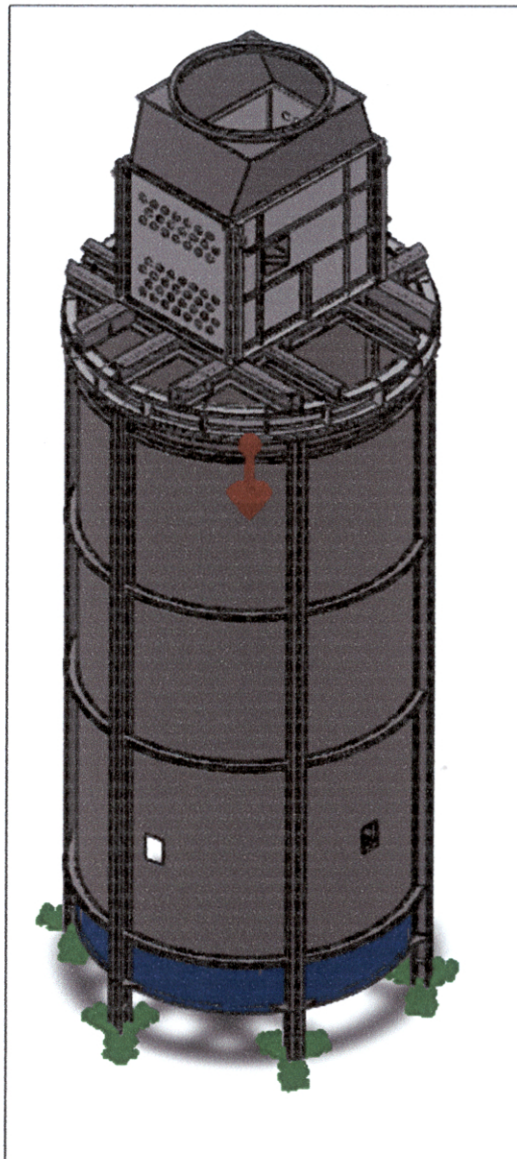


Fig.5.8 Modelo del sistema estructural del Horno Cilíndrico Vertical

Para estudios donde los resultados, como la chimenea, no son necesarios, pero que sus efectos se mantengan constantes en la estructura, el software lo toma como masa remota (los efectos de su masa permanecen como acción de una carga en la parte superior de la zona de transición, no es necesario que aparezca visualizado en el análisis).

5.2.5.2 Restricciones y tipo de material

Para evaluar el comportamiento de la estructura a analizar debemos colocar restricciones, como sujeciones, para restringir los grados de libertad de los elementos; además de colocar el tipo de material de cada elemento de la estructura para evaluar su comportamiento físico a variables externas, los agentes externos deberán ser considerados para dicha evaluación como los efectos del viento y sismo, para ello se deberán ingresar las cargas con las que afectan a la estructura así como los efectos de la gravedad.

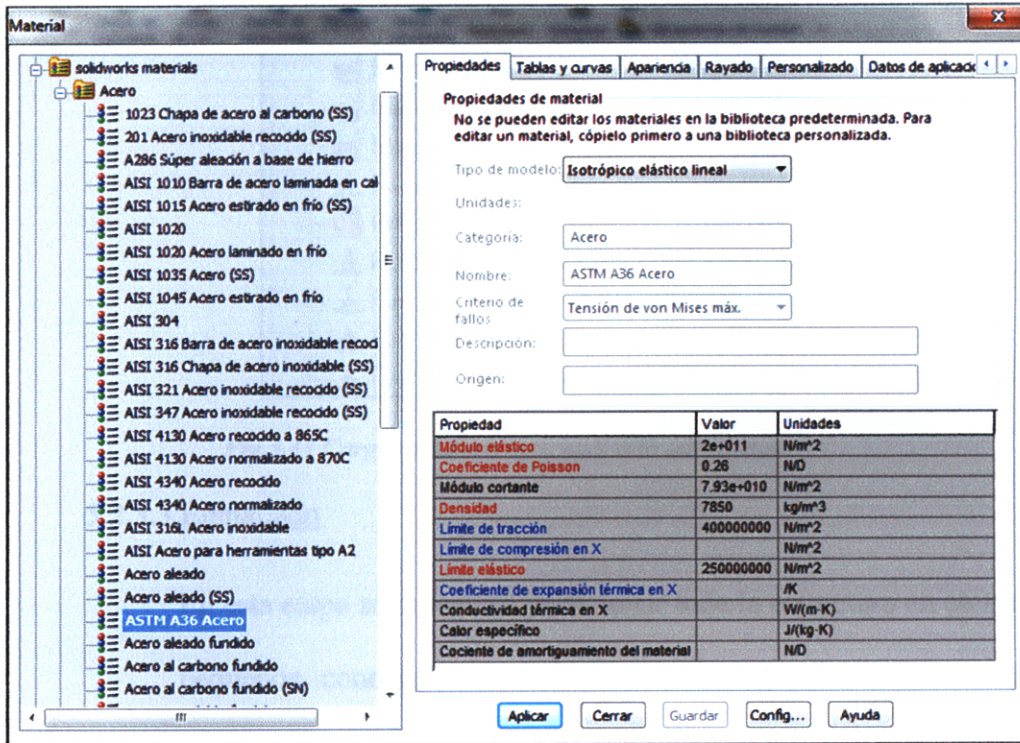


Fig.5.9 Selección del material para cada elemento de la estructura

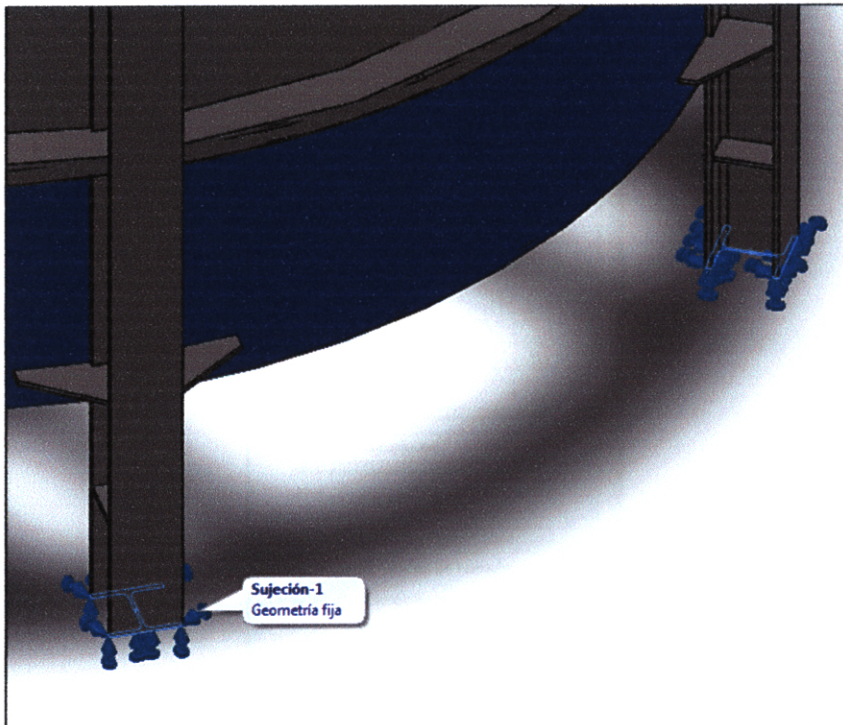


Fig.5.10 Restricción de los grados de libertad de las 6 columnas base

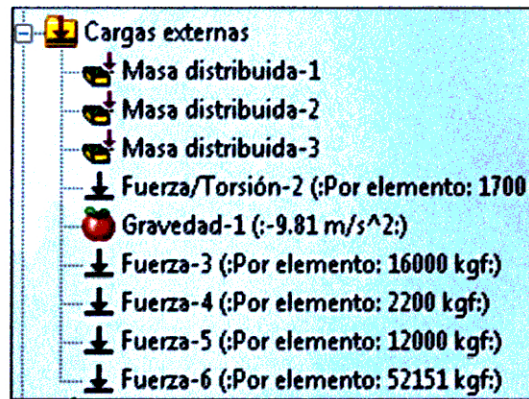


Fig.5.11 Cargas externas aplicadas a la estructura

5.2.5.3 Enmallado

En esta etapa se procede a particionar toda la estructura en elementos pequeños, conocido como elementos finitos, estos elementos están compuestos por nodos, los cuales estarán sometidos a deformaciones, el software resolverá las ecuaciones.

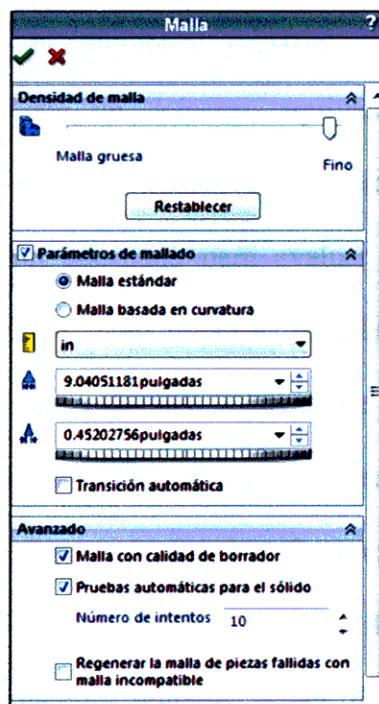


Fig. 5.12 Dimensiones del elemento finito

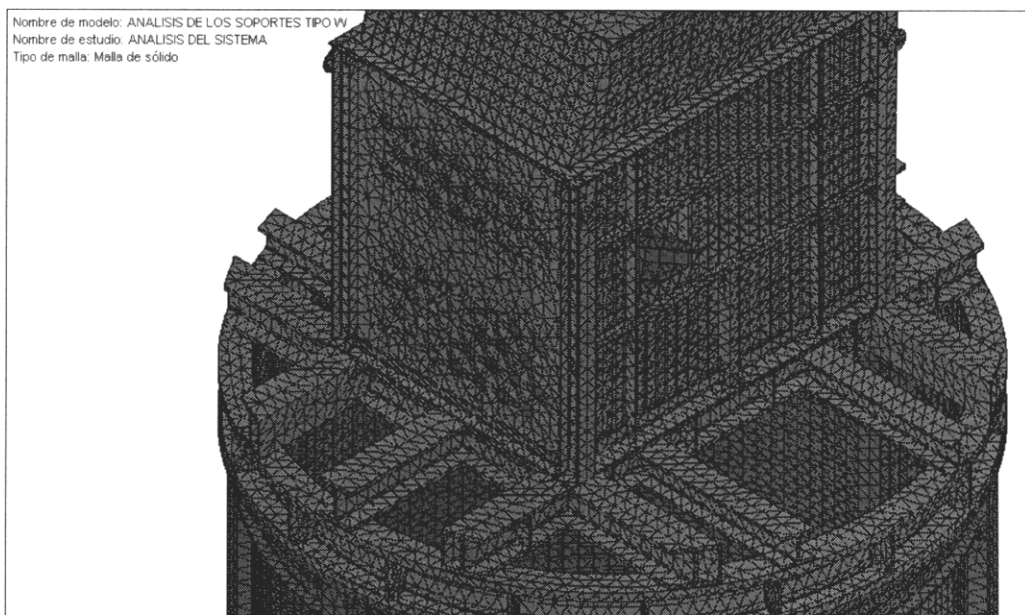


Fig. 5.13 Enmallado del sistema estructural

5.2.5.4 Resultados

En los resultados del análisis, puede visualizar una cantidad de esfuerzo denominado "esfuerzo equivalente" (o Von Mises). Mientras que un esfuerzo equivalente en un punto no define exclusivamente el estado de esfuerzo en ese punto, proporciona información adecuada para evaluar la seguridad del diseño para múltiples materiales dúctiles. A diferencia de los componentes del esfuerzo, el esfuerzo equivalente no tiene dirección. Queda completamente definida por la magnitud con las unidades de esfuerzo. Para calcular los factores de seguridad en diferentes puntos, se utiliza el Criterio de flexibilidad de Von Mises, según el cual un material empieza a ser flexible en un punto cuando el esfuerzo equivalente alcanza el límite elástico del material.

ESFUERZO DE VON MISES

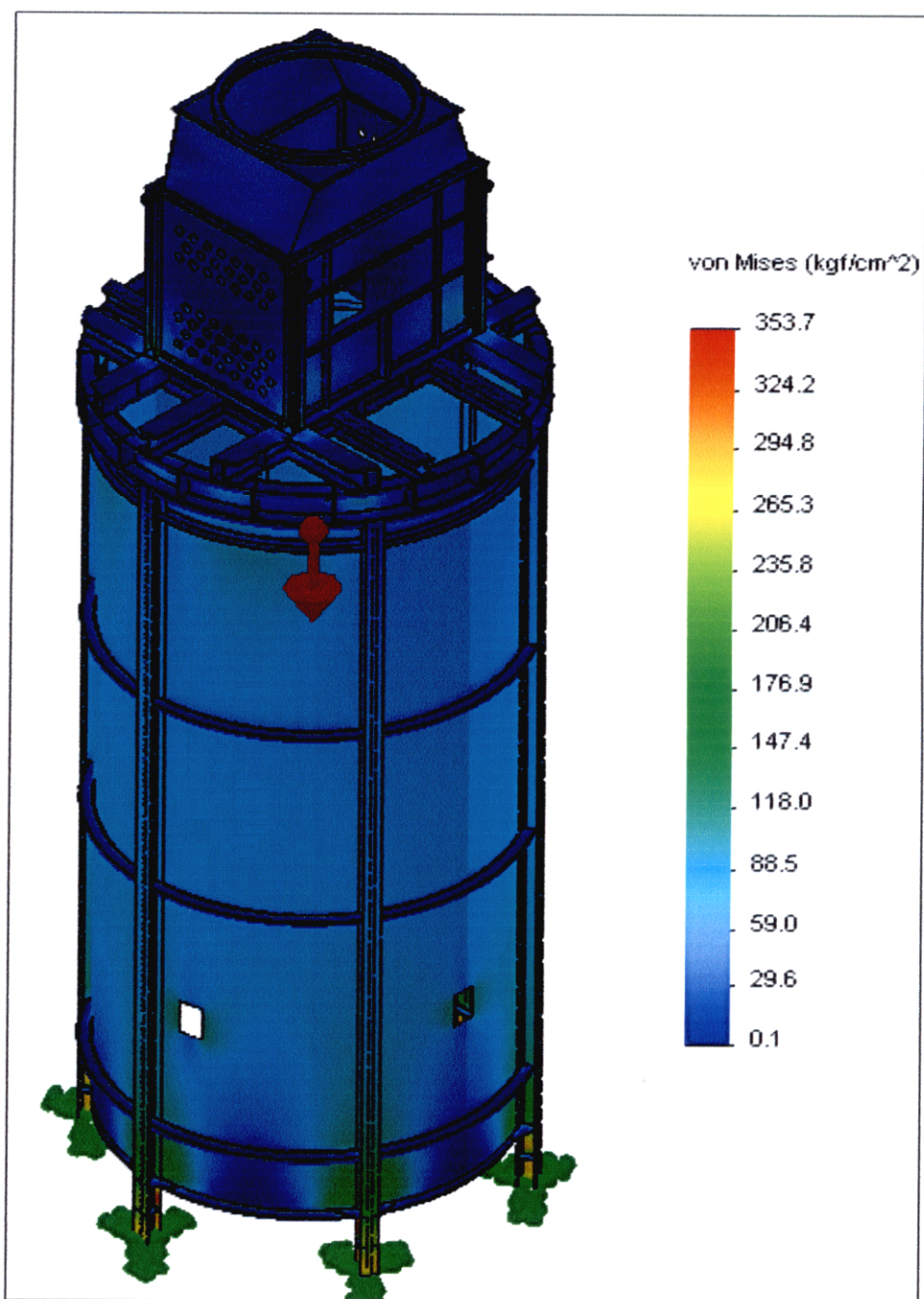


Fig.5.14 Diagrama de esfuerzo del sistema - Criterio de Von Mises $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$

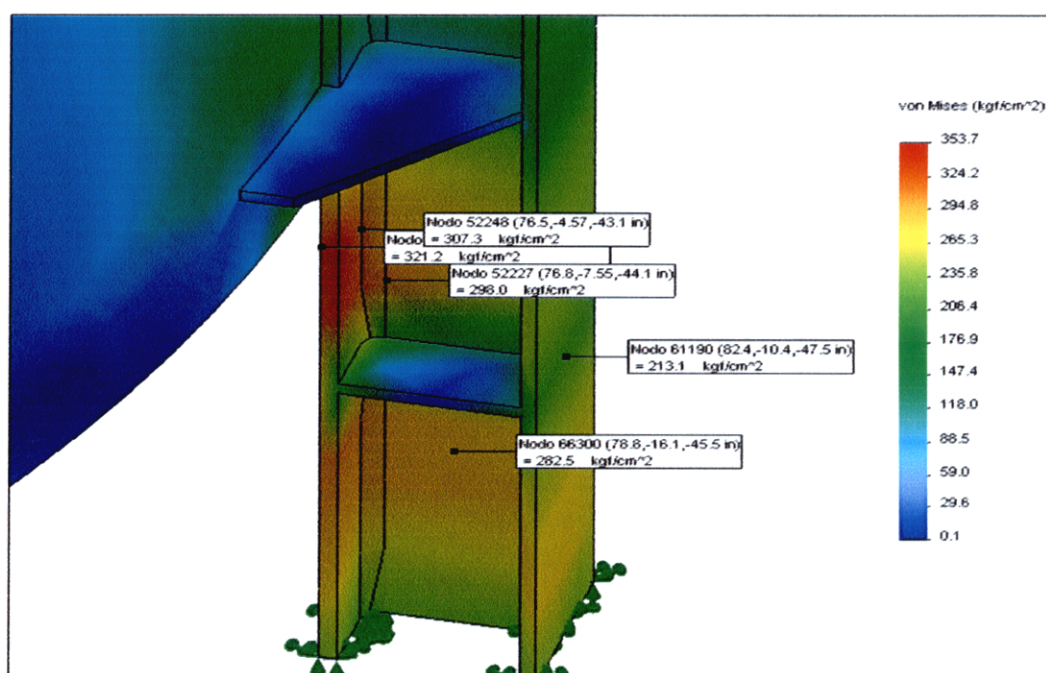


Fig. 5.15 Esfuerzo de Von Mises (kg/cm²) en la columna

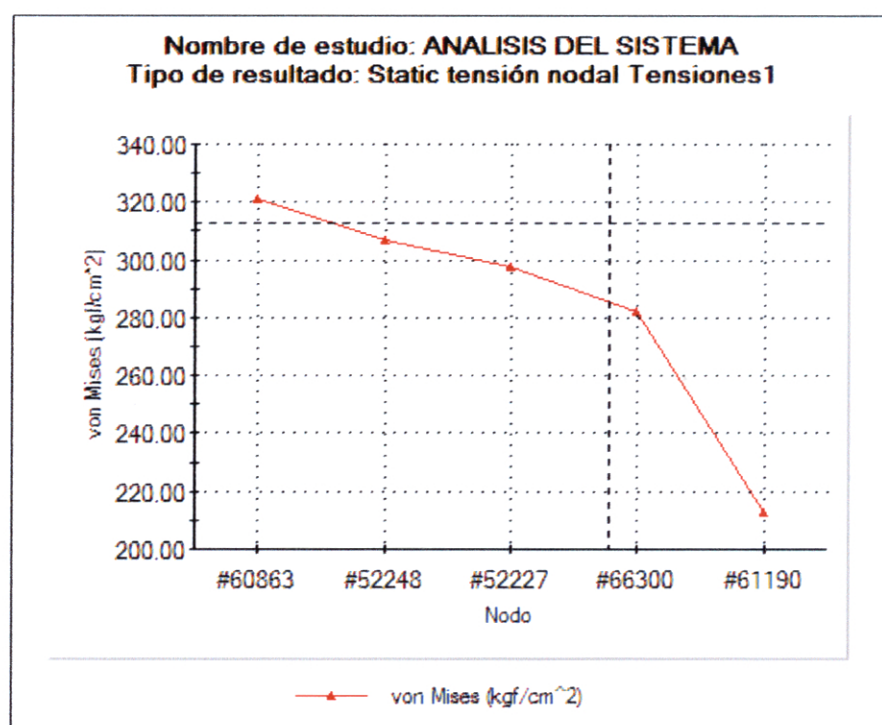
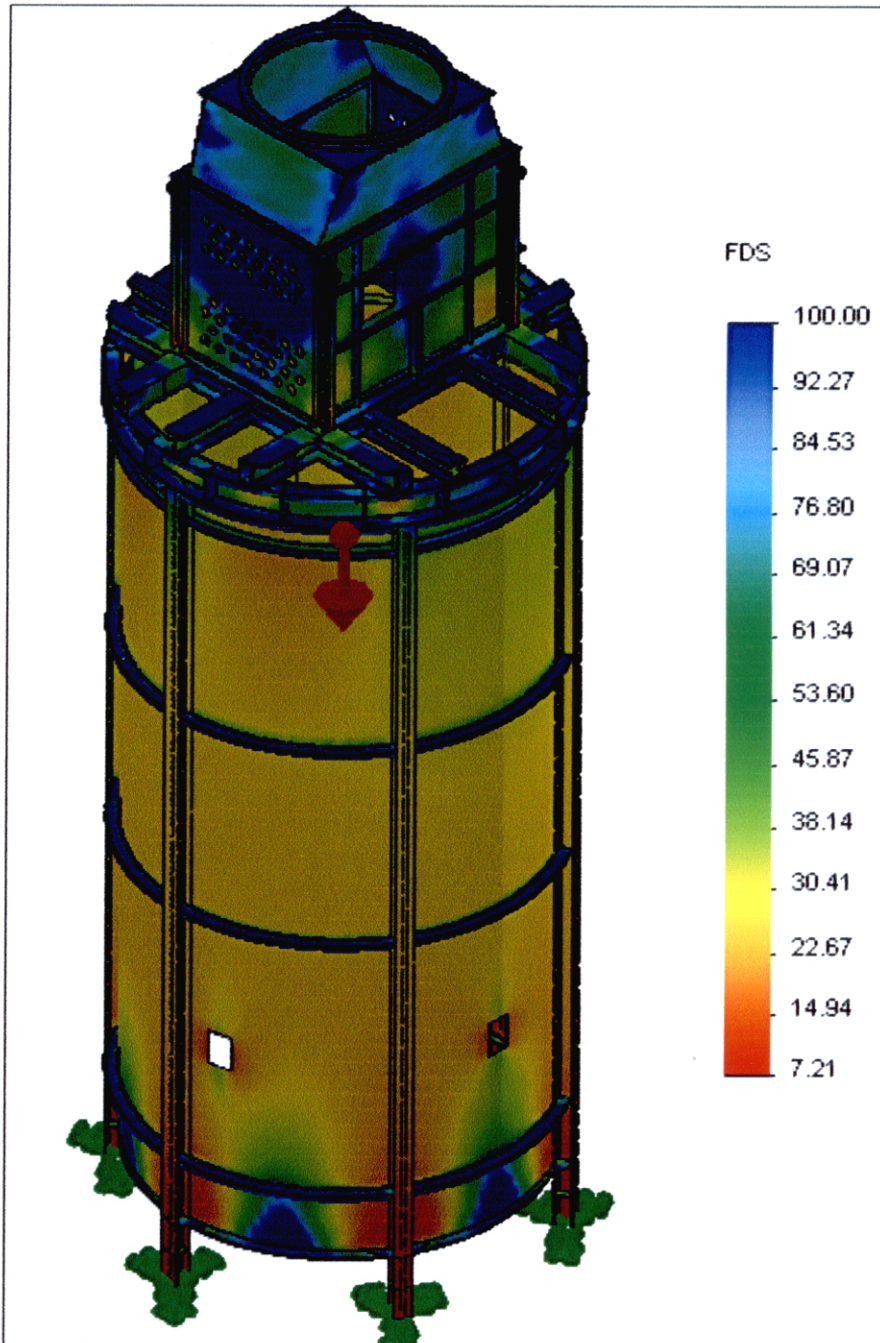


Fig. 5.16 Variación del esfuerzo en la columna

FACTOR DE SEGURIDAD (FDS)

*Fig.5.17 Factor de seguridad del sistema estructural
Criterio de flexibilidad de Von Mises*

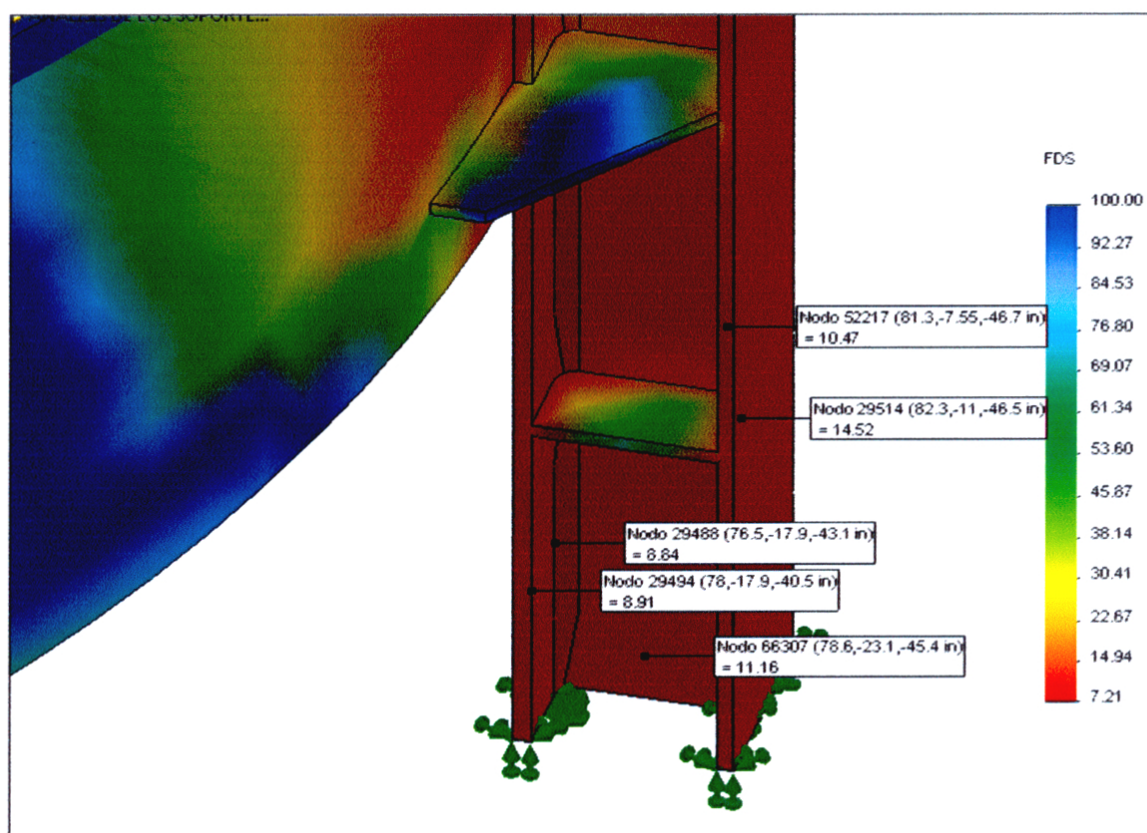


Fig. 5.18 Factor de seguridad en la columna
Criterio de flexibilidad de Von Mises

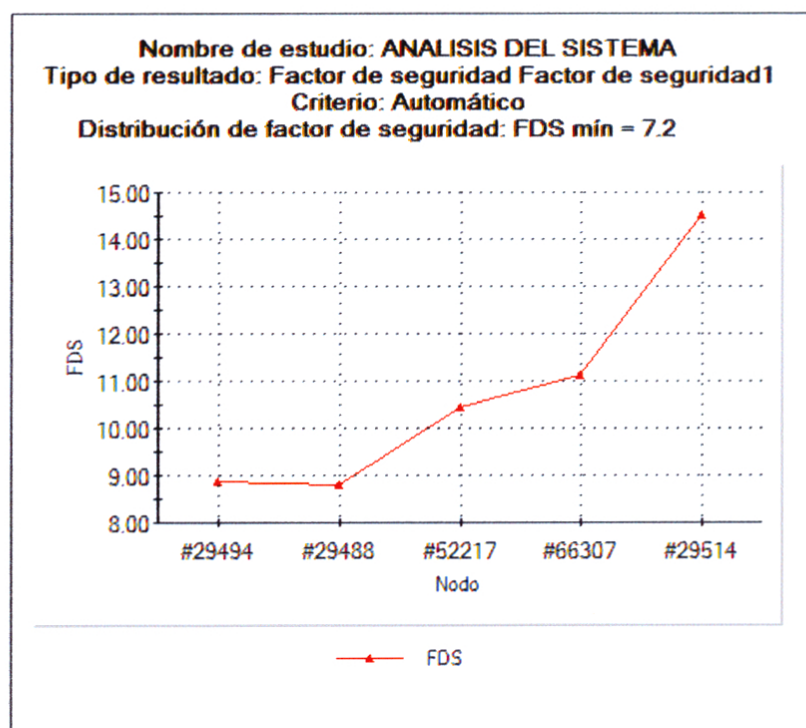


Fig. 5.19 Variación del factor de seguridad en la columna

CONCLUSIONES

Al finalizar el desarrollo de la tesis y teniendo en cuenta los resultados obtenidos por el método analítico y el uso del software, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Tanto el cálculo de la columna por el método de pandeo elástico “analítico”, como del esfuerzo equivalente “Von Mises” del software, nos demuestran un cálculo confiable para la evaluación de estructuras.
2. El factor de seguridad del sistema es de 7.21, en el análisis del software, por tal razón se garantiza que el diseño total operará en la zona elástica del diagrama Esfuerzo vs. Tensión para el acero.
3. El método visual, utilizado por el software, nos ayuda a reconocer las zonas críticas del diseño y se basa en los métodos de cálculos por elementos finitos, el programa mejora los tiempos de cálculo tradicionales, pudiendo realizar variaciones ya sea en las propiedades físicas y mecánicas del acero.
4. En cuanto a las cargas accidentales, viento y sismo, la carga del segundo se considera para la selección del tipo de perfil W, por ser de mayor valor, esta carga puede variar dependiendo de la zona geográfica en la cual se ubique la estructura.
5. No existe bibliografía en la cual se especifique el diseño estructural de un horno cilíndrico vertical para el uso de una refinería, este tipo de información lo manejan

casas de ingeniería especializadas como patente, esto no es limitante para aplicar métodos con base a códigos y normas de la construcción de edificaciones, además, el uso del software nos permite optimizar estos cálculos, muchas veces basados en la experiencia.

BIBLIOGRAFIA

1. Jack C. MacCormac, Diseño de Estructuras de acero (Método LRFD), enero 2002 2da Edición, Alfaomega, Mexico.
2. American Petroleum Company, Fired Heaters for General Refinery Service API STANDARD 560, may 2001 Third Edition, IHS under license with API, Washington DC 20005, USA.
3. Uniform Building Code, Volumen 2 - Division IV Earthquake Design, April 1997, Workman Mill Road, California, USA.
4. Uniform Building Code, Volumen 2 - Part IV Chapter 23 – Live and Dead Loads, 1964, California, USA.
5. Luis M. Bozzo – Alex H. Barbat, Diseño sismorresistente de Edificios (Técnicas convencionales y avanzadas), Julio 2004, Editorial Reverté S.A, España.
Libro virtual con dirección:
<http://books.google.com.pe/books?id=TKwTAKb4e00C&pg=PA154&lpg=PA153&ots=ne2IDTKktN&dq=uniform+building+code+ubc#v=onepage&q=uniform%20building%20code%20ubc&f=false>
6. Reglamento Nacional de Edificaciones, III.2. Estructuras – E.020 Cargas y E.030 Diseño sismorresistente, mayo 2006, Normas Legales “El Peruano”, Perú.
7. Heurtey Petrochem, Heater Columns and Foundations Loading Calculation, 1982.
8. Eugene F. Megyesy, Manual de Recipientes a Presión (Diseño y cálculo), 1998, Editorial Limusa S.A, México.
9. Load & Resistance Factor Design (Manual of Steel Construction), 1999, United States of America.