



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

VICERRECTORADO ACADÉMICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIRECCIÓN DE POSTGRADO

Postgrado en Ingeniería Estructural

Proyecto de Trabajo Especial de Grado

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA CHIMENEA DE CONCRETO
REFORZADO. CASO: RECONSTRUCCION DE LA CHIMENEA SK-4601.**

Presentado por:

FRANCISCO VALBUENA

Para optar al título de:

Especialista en ingeniería estructural

Asesor:

Prof. Ingrid A Ruíz G

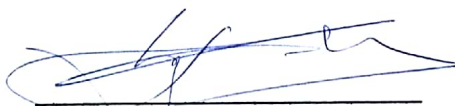
Caracas, Julio de 2019

Universidad Católica Andrés Bello
Dirección General de Estudios de Postgrado
Postgrado en Ingeniería Estructural
Presente.-

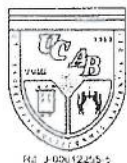
CARTA DE ACEPTACIÓN DEL ASESOR

Por la presente hago constar que he leído el Proyecto de Trabajo Especial de Grado, presentado por **Francisco Valbuena**, cédula de identidad N° 19.826.906, cuyo título tentativo es: **"PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA CHIMENEA DE CONCRETO REFORZADO. CASO: RECONSTRUCCION DE LA CHIMENEA SK-4601"**; y que acepto asesorar al estudiante, durante la etapa de desarrollo del trabajo hasta su presentación y evaluación.

En la ciudad de Caracas a los 8 días del mes de Febrero 2019



Ingrid A Ruiz Gómez



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

www.ucab.edu.ve

Telf.: (0212) 407-56-24 Fax: 407-43-52

Estudios de Postgrado

ACTA DE EVALUACIÓN DE TRABAJO ESPECIAL DE GRADO ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

Nosotros, Profesores INGRID RUÍZ GÓMEZ (Asesor) y GUILLERMO BONILLA, designados por el Consejo de Postgrado de la Facultad de Ingeniería a los treinta días del mes de enero del año dos mil diecinueve, para conocer y evaluar en nuestra condición de jurado del Trabajo Especial de Grado " PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA CHIMENEA DE CONCRETO REFORZADO. CASO: RECONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA SK-4601 ", presentado por el ciudadano Valbuena Manzanilla, Francisco Jesús, C.I. N°. 19826906, para optar al grado de Especialista en Ingeniería Estructural.

Declaramos que:

Hemos leído el ejemplar del Trabajo Especial de Grado que nos fue entregado con anterioridad por la Dirección del Programa.

Reunidos a los veintinueve días del mes de julio del año dos mil diecinueve, en la sede de los Estudios de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello, previa lectura y estudio del mencionado trabajo, hemos decidido convocar al estudiante con el fin de responder las preguntas que le formule el jurado. Hechas por nuestra parte las preguntas y aclaratorias correspondientes, se consideró formalizar el siguiente dictamen:

APROBADO

Hemos acordado calificar el Trabajo Especial de Grado con Veinte (20) puntos.

(Observaciones o declaratoria de recomendación)

En fe de lo cual, nosotros los miembros del jurado designado, firmamos la presente acta en Caracas, a los veintinueve días del mes de julio del año dos mil diecinueve.

Ingrid Ruíz Gómez
C.I. 15.704.313

Guillermo Bonilla
C.I. 5534917

APROBACIÓN DE LA EMPRESA

Caracas, agosto de 2017

Sres.

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Postgrado en Ingeniería Estructural

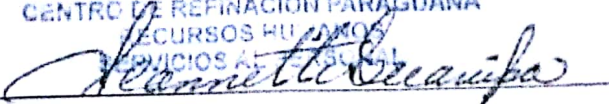
Caracas

Nos dirigimos a ustedes para informarles que hemos autorizado a Francisco Valbuena, C.I.: 19826906, quién labora en esta organización, a hacer uso de la información proveniente de esta institución, para documentar y soportar los elementos de los distintos análisis estrictamente académicos que conllevarán a la realización del Trabajo Especial de Grado titulado **“PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA CHIMENEA DE CONCRETO REFORZADO. CASO: RECONSTRUCCION DE LA CHIMENEA SK-4601”** como requisito para optar al título de Especialista en Ingeniería Estructural, exigidos por la Dirección de Postgrado de Ingeniería de la Universidad Católica Andrés Bello.

Sin más a que hacer referencia, atentamente,



PDVSA
CENTRO DE REFINACIÓN PARAGUANA
RECURSOS HUMANOS
SERVICIOS AL CLIENTE



GUANIPA M JEANNETTE A
V – 10612798
ANALISTA MAYOR ADMINISTRATIVA

INDICE GENERAL

ACEPTACION DEL ASESOR	i
APROBACION DE LA EMPRESA	ii
INDICE GENERAL	iii
INDICE DE FIGURAS	vi
INDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN	ix
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	1
EL PROBLEMA	1
Planteamiento del Problema	1
Formulación del Problema	7
Sistematización del Problema	7
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	9
Objetivo General	9
Objetivos Específicos	9
JUSTIFICACIÓN	10
ALCANCES Y LIMITACIONES	12
CAPITULO II	13
MARCO TEÓRICO	13
Antecedentes	13
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	16
Chimeneas Industriales	16
Referentes históricos de las Chimeneas	18
Chimeneas de Concreto	22
Partes de una Chimenea	24
El Concreto, aportes de Arthur h. Nilson	25

Suposiciones fundamentales para el comportamiento del Concreto	
Reforzado.....	27
Generalidades de la Chimena SK4601.....	30
Informe Técnico No. 312026.....	30
Evaluación del Concreto.....	31
Lecturas Ultrasónicas en Elementos de Concreto.....	32
Extracción de Núcleos de Concreto.....	33
Ensayo de Fenolftaleína Sobre Núcleos de Concreto.....	33
Ensayos de ultrasonido en núcleos de concreto.....	34
Análisis de los Resultados.....	36
Ensayos de Carbonatación.....	36
Ensayos de Ultrasonido y resistencia a la compresión de núcleos de concreto.....	37
FUNDAMENTOS LEGALES.....	38
El código ACI.....	38
Disposiciones de Seguridad del Código ACI.....	39
Norma Venezolana 1753 – 2006 Proyecto y construcción de obras en concreto estructural.....	42
Calidad de los materiales.....	42
Normas de Ensayo.....	42
Cemento.....	42
Agregados.....	43
Ejemplo 2: Solicitaciones Sísmicas En Un Recipiente Vertical Esbelto.....	43
GLOSARIO DE TERMINOS.....	45
CAPITULO III.....	49
MARCO METODOLÓGICO.....	49

Consideraciones Generales.....	49
Tipo de Investigación.....	49
Diseño de la Investigación.....	51
Fases de la Investigación.....	51
Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	52
Técnicas para el análisis de la información.....	54
Operacionalización de los Objetivos.....	56
CAPITULO IV.....	60
PROYECTO DE DISEÑO DE SK – 4601.....	60
Criterios Generales del Diseño.....	60
Propuesta de Diseño para la Chimenea SK-4601.....	62
Bases de diseño.....	62
Especificaciones.....	67
Diseño por viento.....	79
Diseño por sismo.....	82
Fase de construcción.....	95
Condiciones Generales.....	96
Principales Normas de Diseño.....	101
CAPITULO V.....	102
CONCLUSIONES.....	102
RECOMENDACIONES.....	104
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	105

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Esquema general de una chimenea industrial. Fuente: Barreno, R (Enero, 2014).</i>	20
Figura 2. <i>Chimenea de Concreto Armado. Fuente: Barreno, R (Enero, 2014).</i>	23
Figura 3. <i>Diagrama de Operaciones simplificado de la chimenea SK4601 Y SK4602.</i>	30
Figura 4. <i>Fotografía real de las chimeneas SK4601 y SK4602. Fuente: Informe Técnico No. 312026 (2015).</i>	31
Figura 5. <i>Distribución de los Ultrasonidos en plantas. Fuente: Informe Técnico.</i>	32
Figura 6. <i>Perfil de carbonatación en núcleos extraídos de la chimenea SK-4601. Fuente: Informe Técnico.</i>	33
Figura 7. <i>Inspección por Termografía. Fuente: Valbuena, F (2018).</i>	64
Figura 8. <i>Planos del bloque 29. Fuente: Valbuena, F (2018).</i>	68
Figura 9. <i>Ensayos de Suelo Bloque 29. Fuente: Valbuena, F (2018).</i>	69
Figura 10. <i>Ensayos de Suelo Bloque 29. Fuente: Valbuena, F (2018).</i>	70
Figura 11. <i>Hoja de cálculo de viento de Chimeneas. Fuente: Tomanovich, A (2001).</i>	80
Figura 12. <i>Hoja de cálculo de viento de Chimeneas. Fuente: Tomanovich, A (2001).</i>	80
Figura 13. <i>Hoja de cálculo de viento de Chimeneas. Fuente: Tomanovich, A (2001).</i>	81

Figura 14. <i>Hoja de cálculo de viento de Chimeneas. Fuente: Tomanovich, A (2001).</i>	82
Figura 15. <i>Modelo tipo frame SAP2000. Fuente: Valbuena, F (2018).</i>	87
Figura 16. <i>Momentos locales FEM. Fuente: Barrett, K (2018).</i>	87
Figura 17. <i>Momentos a compresión por PP. Fuente: Valbuena, F (2018).</i> ..	88
Figura 18. <i>Momentos a compresión por PP+S+T. Fuente: Valbuena, F (2018).</i>	89
Figura 19. <i>Modelo con Acero de Refuerzo. Fuente: Valbuena, F (2018).</i> ...	89
Figura 20. <i>Modelo con Acero de Refuerzo. Fuente: Valbuena, F (2018).</i> ...	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Partes de una Chimenea Industrial. Fuente: Valbuena, F (Diciembre 2017)</i>	24
Tabla 2. <i>Fenolftaleina sobre Núcleos. Fuente: Informe Técnico</i>	34
Tabla 3. <i>Ultrasonido en núcleos de concreto. Fuente: Informe Técnico</i>	35
Tabla 4. <i>Combinaciones de cargas mayoradas para determinar la resistencia requerida U en el Código ACI. Fuente: Nilson, Arthur (1999)</i>	41
Tabla 5. <i>Operacionalización de los Objetivos. Fuente: Valbuena, F (2017)</i>	59
Tabla 6. <i>Combinaciones de cargas mayoradas para determinar la resistencia requerida U en el Código ACI. Fuente: Nilson, Arthur (1999)</i>	41
Tabla 7. <i>Casos de Operación previstos para la Chimenea SK-4601. Fuente: Manual de las Calderas del Bloque29</i>	66
Tabla 8. <i>Resumen de Acero de Refuerzo de la Chimenea. Fuente: Valbuena, F (2018) Elemento de Área tipo SHELL cargado en SAP2000</i>	79
Tabla 9. <i>Resumen de Acero de Refuerzo de la Chimenea. Fuente: Valbuena, F (2018)</i>	79
Tabla 10. <i>Requerimientos bajo norma COVENIN. Fuente: Valbuena (2018)</i>	83
Tabla 11. <i>Requerimientos bajo norma PDVSA. Fuente: Valbuena (2018)</i> ...	83



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
ÁREA DE INGENIERIA
PROGRAMA: INGENIERIA ESTRUCTURAL

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA CHIMENEA DE CONCRETO
REFORZADO. CASO: RECONSTRUCCION DE LA CHIMENEA SK-4601.**

Autor: Ing. Francisco Valbuena

Asesor (a): Prof. Allison Grace Chivers

Fecha: Noviembre, 2018

RESUMEN

Las chimeneas industriales representan un elemento de vital importancia en el desarrollo de las actividades industriales, son estructuras que complementan el proceso de transformación de hidrocarburos y a través de las cuales se transportan y evacuan los gases que deben ser desprendidos a la atmosfera. En tal sentido, el presente trabajo de investigación se planteó proponer el diseño de una chimenea industrial con el fin de reforzar a la chimenea SK4601 ubicada en el bloque 29 de la Refinería Amuay en Punto Fijo Estado Falcón utilizando como herramienta el programa SAP2000. El estudio fue de tipo descriptivo y proyectivo, de igual forma el diseño de la investigación se ajustó a los trabajos no experimentales y además se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica con el fin de precisar los estudios realizados con anterioridad a la estructura de la chimenea y el daño permanente que tiene. Del mismo modo, la investigación se encontró guiada por cuatro fases en concordancia con los objetivos propuestos. Se hizo uso de la normativa internacional ACI y las adaptadas a las normas PDVSA y COVENIN. Se tomó en cuenta la necesidad de reforzamiento de los ductos internos de la chimenea SK4601 de manera que pueda optimizarse el funcionamiento de la planta antes mencionada.

Palabras Claves: Chimenea industrial, concreto reforzado, Gases

INTRODUCCION

No cabe duda que las chimeneas son una herencia que se han convertido en íconos emblemáticos del paisaje industrial; en sus inicios su función principal era mantener al hombre prehistórico caliente debido a las bajas temperaturas, pero las primeras chimeneas de ladrillo que se optimizaron durante la revolución industrial, han sido de mucha utilidad hasta los presentes días. La evolución de éstas se encuentra asociada con países como Estados Unidos, Reino Unido o Italia, los cuales han creado pautas en sus características funcionales y estéticas.

Las chimeneas industriales poseen características que las definen, su esbeltez y forma en voladizo por ejemplo; su función principal es servir de transporte para los gases que emergen de la combustión o de alguna reacción química desde las zonas terrenales hasta determinada altura para su posterior dispersión en la atmosfera.

El complejo refinador de petróleo ubicado en Venezuela y actualmente el segundo con mayor capacidad del mundo, justo después de la refinería Jamnagar (India) y seguido por la refinería Ulsan (Corea del Sur), posee una de las chimeneas industriales con mayor capacidad operacional, que contribuye al manejo constante de los gases de combustión de siete unidades de proceso, que limitan el mantenimiento continuo programado luego de presentar eventos no deseados.

En tal sentido, el proyecto investigativo que se presenta a continuación estuvo orientado a proponer el diseño estructural de una chimenea industrial de concreto reforzado para reemplazar la Chimenea SK 4601 del complejo de refinación Amuay, en virtud de que la misma presenta signos de deterioro (estructural) que amenazan con disminuir la eficiencia del bloque en el cual se encuentra y de la planta en general, además de representar un factor de riesgo y vulnerabilidad puesto que ha sido posible observar el colapso de ladrillos antiácidos en varios troncos del ducto interno, fisuras y grietas en el

interior del fuste de concreto, así como superficies de concreto en el tope de la chimenea con grietas generalizadas.

Por todo lo anterior, se propuso el diseño para el reforzamiento de la chimenea SK4601 en el complejo de refinación Amuay específicamente en el bloque 29, en razón de ello en el I Capítulo se podrá evidenciar el planteamiento del problema y los aspectos que justifican la investigación. Del mismo modo, se encuentran los objetivos (general y específicos) que sugirieron la guía del camino a seguir en el estudio y los alcances y limitaciones del mismo.

En relación al Capítulo II, el mismo contempla los argumentos teóricos y legales que sustentan la investigación además de los trabajos precedentes que guardan relación con el acá planteado y que constituyen los antecedentes; de la misma manera en dicho capítulo se podrá apreciar el glosario de los términos propios del área de estudio.

Finalmente, el III capítulo contiene la estructura metodológica del trabajo, se delineó la metodología a seguir correspondiéndose con la investigación proyectiva (proyecto factible) con un diseño no experimental, de campo descriptiva. Se establecieron además las fases en las cuales se desarrolló la investigación.

CAPITULO I. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

La actividad industrial a nivel mundial representa el motor primario de desarrollo de cualquier nación, es un hecho innegable que la era de la industrialización ha dejado con el transcurrir de los años un impacto histórico en los ámbitos (económico, productivo, evolutivo) que rigen la vida en sociedad; en este sentido, es posible destacar que los países más desarrollados han trabajado de manera progresiva en la diseminación de industrias de variada actividad comercial que guardan estrecha relación con la evolución de un país.

En Venezuela, la principal fuente de producción industrial se encuentra íntimamente enraizada a la actividad petrolera, convirtiendo a dicho territorio en la puerta más grande en la exportación del crudo para América Latina y el caribe y un proveedor primario para Norteamérica. Siendo ésta una realidad permanente, permite pensar y destacar la existencia de diferentes centros de refinación a nivel nacional en los cuales se lleva a cabo el proceso de transformación de hidrocarburos en productos de alto valor comercial, hecho que sirve de columna vertebral y surte la vida económica del país.

Bajo las anteriores premisas, es posible mencionar la presencia del Complejo de Refinación de Paraguaná, Amuay, un centro geográficamente ubicado al oeste de la Península de Paraguaná del estado Falcón, en la costa norte de Venezuela, enclavada en la bahía del mismo nombre y flaqueado por las Penínsulas de Adaro y Amuaycito, en dicha zona se dispone además de un puerto natural que da al Golfo de Venezuela.

Estratégicamente, dicha refinería interactúa de forma sinérgica con el centro de refinación Cardón ubicado en la misma península, hecho que ha permitido caracterizar a este centro como el segundo más grande del mundo

y ha motivado la optimización de la actividad petrolera venezolana. A nivel estructural, de acuerdo con aportes de PDVSA (2016) la construcción data del año 1950 con una evolución paulatina que incluía la adhesión de torres de destilación atmosféricas, plantas de vacío, complejos de lubricantes, unidades de conversión, planta de desintegración catalítica y las plantas de alquilación e isomerización, entre muchos otros ambientes que en conjunto formaban un complejo apto para el tratamiento petrolero.

De la misma manera, en el año 1982 se colocaron en funcionamiento las chimeneas SK4601 Y SK4602 como elementos indispensables para el transporte de los gases de combustión de las calderas del bloque 29 de dicho centro. De manera generalizada, las chimeneas pueden definirse como los conductos que son contruidos con la intención de dar salida libre a la atmósfera de los gases resultantes de la combustión; citando una apreciación que se corresponde con la idea anterior, se distingue a Cedron (2013) quien afirma que:

Una chimenea es un sistema usado para evacuar gases calientes y humo de calderas, calentadores, estufas, hornos, fogones u hogares a la atmósfera. Como norma general son completamente verticales para asegurar que los gases calientes puedan fluir sin problemas, moviéndose por convección térmica (diferencia de densidades). (p. 01).

En correspondencia con dicha idea, las chimeneas pueden caracterizarse como elementos esbeltos de altitud prolongada, adecuada a sus fines, en consonancia con las exigencias ambientales en el medio en cual se encuentran ubicadas. Sirven de vehículo para el descargue de los elementos tóxicos que pueden perjudicar el equilibrio del ambiente. Acevedo (2011) asevera que las chimeneas industriales “son dimensionadas en su geometría fundamental, diámetro y altura, en base a poder cumplir con su función de dar salida de los gases a la atmósfera. Considerando para esto: la temperatura, volumen y velocidad de salida de los gases” (p. 1).

En relación a la estructura de las chimeneas SK 4601 y SK 4602, las mismas se encuentran constituidas por un fuste externo de concreto reforzado de baja porosidad de 106mts de altura y 9,6mts de diámetro externo, además de un ducto interno con resistencia a la temperatura y ataque químico de los gases, formado por dos capas reseñadas a continuación: capa interna de ladrillo refractario antiácido y capa externa de aislante térmico (foamglas) de 6,1mts de diámetro.

En ámbitos particulares, la chimenea SK 4601 del bloque 29 de la refinería Amuay, posee aspectos particulares que la caracterizan como una unidad con necesidad de reparación y/o reconstrucción debido al deterioro del concreto que la constituye, como resultado de una expansión súbita de agua que ingresó en la corriente de flexigas, lo que produjo una explosión interna en la chimenea, generando así fallas considerables en varios troncos del ducto interno. El ingreso de aire a la chimenea, ocasiono un incendio interno por combustión del flexigas que la dejo fuera de servicio.

El informe técnico No. 312026 (2015) registrado por expertos en el área con el objetivo de llevar a cabo la evaluación del concreto de la chimenea SK 4601 reseña que las muestras seleccionadas presentan rasgos que detonan deterioro, el informe deja en evidencia los resultados de ensayos a compresión hasta la rotura de núcleos de concreto extraídos en campo, se observan “mediciones de velocidad de transmisión de ondas ultrasónicas en el concreto de la chimenea realizadas en campo, mediciones de velocidad de transmisión de ondas ultrasónicas en los núcleos de concreto, y la determinación del perfil de carbonatación realizado en los núcleos de concreto” (p. 02).

El análisis es amplio y detallado, además fundamentado en los lineamientos generales de la norma venezolana COVENIN 338, y deja al descubierto en forma estructurada la manera en la cual se llevó a cabo la actividad de revisión llegándose a concluir que el concreto presenta una

carbonatación entre 1,0 cm hasta 4,0cm de profundidad, significando que el concreto en algún momento quedará expuesto a corrosión con serias amenazas de colapso.

Por otro lado, durante el proceso de análisis fue posible identificar una zona con resistencia inferior a los 180 kg/cm² comprendida entre los 10 y los 45 metros, también se evidenciaron resistencias mayores en la base de la chimenea con un promedio de 274 kgf/cm² y una zona de menor resistencia del concreto en una altura de 16m con una resistencia de 81kgf/cm² (p.23).

En consecuencia, la vida útil de la chimenea SK4601 ha quedado limitada originando con ello que exista un desequilibrio en el funcionamiento óptimo del bloque 29 del Centro de Refinación Amuay, generando además factores de riesgo a nivel estructural y ambiental que bloquean el rendimiento de la planta en general siendo estas premisas las razones que fundamentan el presente trabajo de investigación, el cual se orienta a proponer un diseño de modificación de dicha chimenea, considerando todos los parámetros estructurales actualizados de suelo, análisis sismoresistente y espectral más desfavorables según las normas PDVSA y códigos internacionales, además de consideraciones más rigurosas para la resistencia ante las altas temperaturas.

La propuesta se apoya en la utilización del programa SAP200V19 Structural Software for analysis and desing (Programa para análisis y diseño estructural versión 19). Con el cual se modeló una estructura resistente y acorde con las exigencias y realidades actuales del complejo, proporcionando así una respuesta definitiva al problema determinado.

En consideración, la idea fundamental reside en el hecho de plantear un modelo de chimenea de concreto reforzado que permita el transporte de los gases tóxicos en base a las normas referidas a la construcción de este tipo de transportes; en líneas generales, en Venezuela no existe una norma propiamente dicha que rijan la construcción de este tipo de chimeneas, por lo

que en el presente estudio el diseño estuvo apegado a la norma Americana de diseño ACI 307-98 Design and construcción of reinforced concrete chimneys (Diseño y construcción de chimeneas de concreto reforzado).

Del mismo modo, es de hacer notar la existencia de normas venezolanas que pudieron adaptarse a este tipo de construcciones y de las cuales se tomaron parámetros de diseño que permitieron presentar una propuesta adaptada a las necesidades estructurales del bloque 29 y por ende de la planta en general; entre dichas normas es posible destacar las relacionadas con Petróleos de Venezuela (PDVSA) JA-221, PDVSA JA222, PDVSA 90615.1.012, PDVSA 90615.1.013 Y PDVSA A-261. Así mismo, se tomó en cuenta las normas asociadas con la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) entre las que destacan la 1756-01, COVENIN 2003-06, 1753-06 Y 2003 – 89.

De las consideraciones denotadas en los párrafos precedentes, se desprende la interrogante que da precisión al presente trabajo investigativo.

1.2. Formulación del Problema

¿Existe la necesidad de diseñar una chimenea de concreto reforzado para la reconstrucción de la SK 4601 del Complejo de Refinación de Paraguana, Amuay estado Falcón?

1.3. Sistematización del Problema

1. ¿Cuál es el estado actual en el cual se encuentra la chimenea SK4601 de acuerdo a los informes y revisiones hechas por expertos de PDVSA Amuay?
2. ¿Cuáles fueron los resultados de las evaluaciones y ensayos realizados al concreto de la Chimenea SK4601?
3. ¿Cuáles son los factores de riesgo y vulnerabilidad estructural que amenazan el buen funcionamiento del bloque 29 y por ende del centro de refinación Amuay?

4. ¿Cómo se hará el diseño de la nueva Chimenea que reemplazará a la SK4601?

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Proponer el diseño de una chimenea de concreto reforzado de uso industrial en sustitución de la chimenea SK - 4601 del complejo de refinación Amuay.

Objetivos Específicos

1. Identificar la realidad del caso de la chimenea SK4601 a través de la revisión y análisis del informe técnico No. 312026.
2. Describir las fases de evaluación de las extracciones y ensayos hechas al concreto de la chimenea SK – 4601.
3. Determinar los factores de riesgo y vulnerabilidad estructural que conllevan a establecer la necesidad de reconstrucción de la chimenea SK4601.
4. Diseñar un nuevo modelo de Chimenea con apoyo en el programa SAP2000V19.

Justificación

El presente siglo se encuentra caracterizado por un acelerado crecimiento en los estándares de producción y distribución de productos que faciliten el desarrollo de la vida del ser humano; muchas industrias han elegido mecanismos de trabajo que demandan un esquema de producción que no se detiene ni con la llegada de los horarios nocturnos por lo que las exigencias para este tipo de empresas son cada vez mayores.

En consonancia, muchas veces este tipo de actividades se ven interrumpidas por irregularidades que trascienden en el buen funcionamiento de dichas organizaciones; para el Centro de Refinación Amuay, las jornadas de trabajo son incesantes con el fin de proveer productos de calidad que satisfagan el mercado nacional e internacional.

Es por lo anterior, que cualquier falla a nivel estructural puede ocasionar que la eficiencia de la planta disminuya en proporciones poco deseables; a grandes rasgos, el presente trabajo de investigación busca ampliar el funcionamiento óptimo de la refinería en correspondencia con el diseño de una chimenea de concreto reforzado que reemplace a la chimenea SK 4601 tomando en consideración el estado de deterioro en el que se encuentra actualmente.

En este sentido, el estudio planteado emplaza sus bases desde varias ópticas que en conjunto justifican la investigación. Desde un punto de vista práctico, el diseño de una chimenea de concreto reforzado representa un aspecto vital debido a que, al simular la estructura considerando las condiciones, procesos y acciones existentes se podrán analizar los elementos vitales para el buen funcionamiento de la misma, evitando posibles complicaciones relacionadas con accidentes industriales o a los ocasionados por las fuerzas de la naturaleza.

Por otro lado, desde un enfoque metodológico, el programa SAV2000V19 representa un herramienta eficaz que permitirá optimizar el

proceso de diseño estructural y establecer conjuntamente con las normativas que se han señalado con anterioridad, los parámetros necesarios para unificar criterios que lleve consolidar el diseño de la chimenea, constituye el presente trabajo de investigación un puente para futuras investigaciones que se encaminen hacia la solución de problemáticas de orden estructural.

Así mismo, es de importancia cardinal hacerle frente a la situación que acaece en el bloque 29 de la refinería Amuay tomando en cuenta los factores de riesgo y vulnerabilidad que presenta la chimenea SK 4601 al tener resistencias bajas en el concreto o fallas locales, lo que ocasionaría el colapso de la misma frente a eventos sísmicos o de intensa ventisca, razones que aunadas al hecho de que la eficiencia de las chimeneas ha sido limitada por la paralización de una de ellas (SK4601) convierten al presente estudio en una herramienta metodológica y teórica que se encamina a plantear la solución del problema.

Alcances y Limitaciones

El presente trabajo de investigación se encuentra orientado al diseño de una chimenea de uso industrial de concreto reforzado con apoyo en el programa SAP2000V19.

Básicamente, el programa funcionara como un simulador con un diseño que se limitó a un modelo matemático que permitió adecuar las características de los materiales, condiciones del terreno, acciones de cargas sísmicas, por viento y temperatura que conforman la chimenea, con lo que se establecieron los parámetros necesarios para su diseño. Debido a que no existe una norma fija nacional que rija la construcción de este tipo de edificaciones, fue necesario recurrir a la norma Americana ACI 307-98, a las adaptables de Petróleos de Venezuela (PDVSA) y las de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN).

El estudio estableció un modelado apegado a las normativas sugeridas, destacando una chimenea que cumpla con la función de transportar los gases tóxicos hacia la atmosfera, con la definición de un concreto reforzado resistente a la compresión, tracción y altas temperaturas producto de la combustión. De la misma manera, la investigación quedó limitada por los resultados obtenidos del análisis de las observaciones y de las muestras estructurales de concreto tomadas de la chimenea SK 4061 detallados en el informe Técnico No. 312026.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Los trabajos de investigación realizados con anterioridad al presente, representan una herramienta de guía y apoyo para concretar los objetivos establecidos siendo los mismos, bases inherentes para el desarrollo de la investigación en general; del mismo modo los aportes teóricos y legales posibilitan una dirección adecuada que sustenta de manera formal las ideas y planteamientos derivados del proceso de estudio. Por lo anterior, el presente capítulo reseña los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y legales de la misma, además de un glosario de términos que ofrece las definiciones de las acepciones propias de la especialidad.

2.1. Antecedentes

Parra y Muñoz (2010) *Comportamiento estructural de chimeneas de concreto reforzado: el caso de la chimenea de Termotasajero S.A.* el estudio presenta el diagnóstico llevado a cabo para la realización de una estructura de concreto (chimenea) reforzado cuya construcción data del año 1982 en la termoeléctrica de Tasajero (Norte de Santander) tomando como referencia los ensayos de campo y análisis estructural realizados a la estructura con el fin de establecer los daños observados, además de predecir el comportamiento ante fuerzas sísmicas lo que conllevaría a establecer las necesidades de reparación y mantenimientos necesarios.

El análisis metodológico se encontró guiado por el ACI-307/95, el estudio estructural dejó como resultado que la chimenea mostraba de manera evidente en toda su longitud y contorno fisuras de diversas características y configuración. Según el programa de ensayos planificado, se extrajeron núcleos de concreto en diferentes zonas de la estructura para analizar su composición, resistencia y demás características mecánicas. La metodología de estudio empleada para el diagnóstico patológico y estructural de la chimenea sirvió para cuantificar las deficiencias en la durabilidad y la capacidad resistente de la estructura, y es el punto de partida para el diseño

de una propuesta de reparación, reforzamiento y mantenimiento de la chimenea con miras a mejorar su nivel de servicio, incrementar su vida útil y disminuir su vulnerabilidad sísmica.

En tal sentido, el anterior estudio tiene una evidente relación con el trabajo de investigación que se plantea, en virtud de que ambos parten del análisis estructural realizado a muestras del concreto de las chimeneas cuestionadas, lo que permite determinar con precisión las necesidades de reparación de la chimenea de Termotasajero y las de reconstrucción de la Chimenea de la Refinería de Amuay. De la misma manera, ambas investigaciones encuentran parte de su fundamento en las recomendaciones resultantes del ACI 307.

Acevedo (2011) Estudio del comportamiento estructural y consideraciones de diseño de la chimenea metálica VEAB de la planta Sandvik II en Växjö, Sur de Suecia; dicha investigación se enfocó en el estudio a nivel estructural de la Chimenea VEAB, el análisis estuvo fundamentado principalmente por los ensayos con las cargas de viento especificadas por la localización de la chimenea, la misma se sometió a un análisis para determinar su comportamiento frente a las cargas de viento para lo que se usó el programa computarizado SAP 2000 y ANSYS determinándose que la zona donde la chimenea acumula las mayores tensiones y con tendencia a presentar la primera falla plástica es la zona basal. Se modela la chimenea en ANSYS y SAP2000, acorde a la descripción del reporte VEAB y con todos los requerimientos que exigen los programas para desarrollar los distintos análisis de manera exitosa. Los modelos son sometidos a análisis estáticos (viento estático y dinámico) y análisis transientes.

En correspondencia con el estudio anterior, es posible identificar la relación del mismo con la investigación que se lleva a cabo tomando en cuenta que la misma se propone modelar un diseño de chimenea que vaya a

favor de la mejora del servicio prestado por el bloque 29 de la refinería Amuay, considerando para ello la utilización del software SAP2000, el mismo que sirvió de base para el antecedente citado; además, dentro de los parámetros de importancia para la simulación de la nueva chimenea SK4601 se encuentra las cargas de viento, un aspecto significativo para ambos trabajos.

Villon y Peña (2011) *Análisis de la integridad estructural de una chimenea en una planta cementera* dicho trabajo investigativo se propuso en primera instancia el análisis de la integridad estructural de la chimenea de la planta cementera construida en el año 2003 cuyo diseño original se enfocaba en la eliminación de los gases de la combustión producto de la quema de carbón, sin embargo, se pudo evidenciar la utilización de coque como combustible de manera que la producción de azufre se elevó a mayores porcentajes, lo que dejó como consecuencia la corrosión acelerada y por ende la pérdida del espesor de dicha chimenea. Se llevó a cabo la inspección a través de la aplicación de ensayos tales como: inspección visual, medición de espesores por ultrasonido y mediciones de la temperatura real de trabajo de la chimenea.

De manera que se pudiera establecer los esfuerzos a los cuales está sometida la chimenea, se realizó la simulación respectiva en el programa estructural SAP2000, además se propuso la construcción de una chimenea concéntrica con el fin de mejorar la integridad estructural de la chimenea ya existente.

En virtud de dichas acotaciones, es preciso destacar la importancia del anterior trabajo de investigación con el que se desea plantear tomando en cuenta que ambos estudios se centran en el análisis estructural y pruebas de ensayo realizadas a las chimeneas que presentan fallas; así mismo se puede denotar que ambos trabajos se encuentran encaminados por la modelación proporcionada por el programa SAP2000.

En un mismo orden de ideas, se puede evidenciar que en ambas investigaciones se encuentra un enfoque en la revisión o inspección visual, siendo esta el punto de partida para determinar la necesidad de reconstrucción de las chimeneas citadas.

Barreno (2014) Diseño de chimeneas industriales en concreto reforzado, con base en el código ACI 307; en dicho estudio se planteó como objetivo general la elaboración de un trabajo de investigación, donde se de a conocer los requerimientos a considerar al momento de diseñar una chimenea industrial en concreto reforzado, del mismo modo el basamento de dicho trabajo estuvo orientado por la preferencia del código ACI 307-08. El trabajo denota los requerimientos de diseño y construcción de las chimeneas industriales establecidas en el código antes mencionado y con dichos basamentos se llevo a cabo el diseño estructural de una chimenea industrial con sus respectivos detalles de armado y construcción. Dentro del marco de conclusiones sugeridas, se especifican que para el diseño de una chimenea industrial de concreto reforzado, se deben considerar tres elementos estructurales básicos: el fuste, cimentación y las ménsulas de apoyo del revestimiento. El fuste deberá cumplir con los requerimientos del código ACI 307.

El trabajo citado representa una guía específica y de gran utilidad para la presente investigación, puesto que muestra los elementos teóricos indispensables a considerar para el diseño de una chimenea con las características de la SK 4601, así mismo muestra los parámetros necesarios para las simulaciones y los detalles a ser considerados hecho que lo relaciona de forma directa con la investigación.

2.2. Fundamentos Teóricos

2.2.1 Chimeneas Industriales

Las chimeneas se pueden clasificar según varios criterios: según el método para conseguir una adecuada velocidad de salida de los gases,

según el número de ductos dentro de la chimenea, según la manera en que resisten las fuerzas horizontales, y según el material de construcción.

En este sentido, es importante destacar que las chimeneas industriales desempeñan el papel de transporte para los gases que se desprenden como resultado de un proceso de combustión, Cedrón (2013) aclara que “una chimenea es un sistema usado para evacuar gases calientes y humo de calderas, calentadores, estufas, hornos, fogones u hogares a la atmósfera” (p. 01)

Generalmente son completamente verticales de manera que los gases calientes puedan fluir sin problemas, moviéndose por convección térmica. También existen las chimeneas que no son completamente verticales, que se instalan en cocinas o pequeñas salas de calderas para evacuar los humos a través de orificios efectuados en los paramentos. Las chimeneas deben poseer mallas de protección para evitar que los pájaros aniden en su interior, asimismo se les debe dar una inclinación diferente a 0° para facilitar la salida de humos., las mismas pueden encontrarse en edificios, locomotoras o en navíos. A la corriente de aire que origina el fuego y que hace que el humo ascienda por la chimenea se le conoce como tiro.

Para Cedrón (2013) algunos de los elementos distintivos de las chimeneas son los siguientes:

- 1.- Sección interior, o de paso de gases.
- 2.- Altura, ya sea
 - 2.1.- Para dispersión de gases en la atmósfera libre, o
 - 2.2.- Para la obtención de una depresión mínima determinada en su base
- 3.- Tipo de material estructural (o externo)
 - 3.1.- Resistencia a las acciones externas
 - 3.1.1.- Viento y “*vórtices de Kármán*”
 - 3.1.2.- Sismos
 - 3.2.- Cimentación: conocimiento de la geología del terreno

4.- Tipo de material de revestimiento interior

4.1.- Resistencia a la temperatura y ataque físico-químico de los gases.

Dicha clasificación, ofrece de forma general los elementos que caracterizan a una chimenea industrial común, la misma que se caracteriza por sus ductos contruidos para dar libre salida a los gases hacia la atmosfera.

En general, una chimenea industrial es una estructura esbelta, en voladizo, de forma cilíndrica o tronco-cónica, que tiene la función de expulsar gases y humos industriales, resultantes de la combustión o de una reacción química, desde el nivel del terreno hasta determinada altura para su dispersión en la atmósfera, generando niveles de contaminación aceptables según las normas ambientales vigentes en el lugar.

El grado de dilución y dispersión en la atmósfera de los gases emitidos por una chimenea, depende de varios factores: la altura y diámetro superior del ducto, la temperatura y velocidad de salida del efluente, condiciones meteorológicas y topográficas reinantes, entre otras.

2.2.2. Referentes Históricos de las Chimeneas

El hombre siempre ha estado en búsqueda de un sistema efectivo para evacuar gases indeseables, producto de la combustión. La forma más antigua de tal sistema, fue un pequeño respiradero. Con el paso de los años hubo un incremento del volumen de gases a ser manejados y como resultado los respiraderos fueron reemplazados por pequeñas chimeneas de ladrillo. El tamaño de tales chimeneas, continuó incrementándose hasta alcanzar los 0,50 metros de diámetro, las cuales comenzaron a ser conocidas como chimeneas industriales.

Se pudo advertir que, hasta principios del siglo pasado, los materiales más populares para construir chimeneas industriales, fueron el ladrillo y acero. Las chimeneas crecieron en altura hasta alcanzar un punto en el que

el ladrillo dejó de ser económico, y fue reemplazado por el acero. Mientras que en Alemania, la primera chimenea de concreto se construyó en 1876, las chimeneas de concreto reforzado fueron introducidas en el Reino Unido y Europa en 1907.

Las chimeneas de concreto reforzado, se habían construido desde 1900 en USA y la URSS, y en 1916 se construyó una chimenea alta de 165 metros en Japón. Hubo un marcado mejoramiento técnico en el campo de las chimeneas industriales entre 1928 y 1932, pero el concreto alcanzó su nivel predominante, como material de construcción, solo después que el problema de fisuración del concreto, debido a los gradientes térmicos, fue resuelto a inicios de 1950.

Las primeras chimeneas no contaban con revestimiento. El desarrollo de calderas y de la tecnología de combustibles, llevó a una disminución en la temperatura de los gases de combustión, lo que agravó los problemas de corrosión y forzó la introducción de revestimientos de protección. Inicialmente los revestimiento autoportantes de mampostería de ladrillo antiácido, respaldados por un medio aislante, fueron usados. Pero pronto se introdujo el ladrillo refractario en 1950. Como subsecuente desarrollo, tal revestimiento fue soportado por ménsulas, salientes del fuste de concreto. Sin embargo la penetración del gas a través del revestimiento, causó la corrosión del concreto, por lo que se utilizó la cámara ventilada entre el revestimiento y el concreto.

Tales aportes históricos, dejan al descubierto la evolución que ha venido dando las chimeneas industriales y muestran como a nivel de estructura han surgido cambios que han permitido mejorar y ampliar el margen de durabilidad de las mismas, datos de relevancia para la presente investigación que permiten ubicar las ideas de diseño en un límite de construcción idónea.

Los revestimientos de acero se han venido utilizando con mayor frecuencia en la actualidad, puesto que son impermeables a los gases y son más ligeros. Recientemente también se han utilizado los revestimientos plásticos, donde los gases tienen bajas temperaturas, lo que puede producir la corrosión del acero.

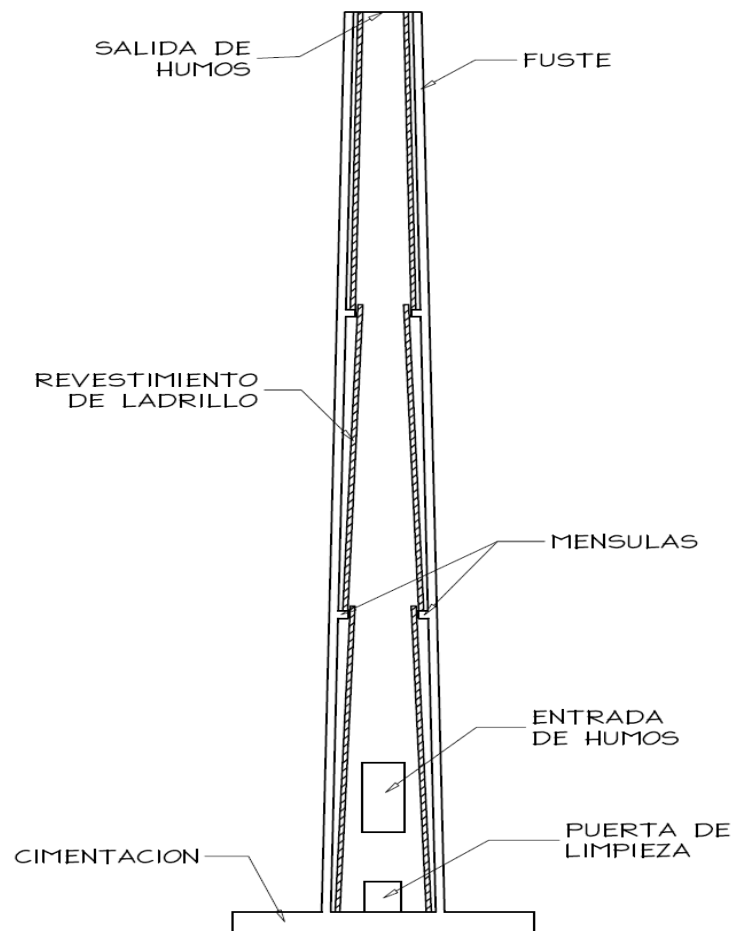


Figura 1. Esquema general de una chimenea industrial. Fuente: Barreno, R (Enero, 2014)

Para determinar las características de una chimenea es imprescindible conocer el tipo de fluido que se espera que circule por ella. Normalmente se

trata de humos producto de la combustión de combustibles fósiles (carbón, derivados líquidos o gaseosos del petróleo), madera, etc., en aire ambiente. Sin embargo, aun en estos casos, hay que tener en cuenta la posible “contaminación” de estos humos con sustancias desprendidas de los procesos en los que intervienen, como por ejemplo, en los hornos de reverbero.

Cuando se habla del caso de los combustibles líquidos (fuel-oil, gasoil, etc.) o gaseosos (hidrocarburos gaseosos o “gas natural”), estos humos se componen de:

- N₂: procedente del aire comburente.
- CO₂ y H₂O (vapor): procedentes de la combustión de los combustibles orgánicos, junto con pequeñas cantidades provenientes de la propia composición del aire comburente.
- O₂: procedente del aire comburente, en exceso respecto al necesario para una combustión estequiométrica.
- NO_x: si la temperatura alcanzada por la llama supera los 1.300°C en alguna zona, la combinación del nitrógeno del aire (o de los compuestos nitrogenados presentes en el combustible) con el oxígeno se realiza a velocidades apreciables, contaminando los humos con óxidos de nitrógeno en proporciones suficientes como para sobrepasar las normativas de ciertos países.
- SO_x: algunos combustibles, especialmente los líquidos, contienen azufre en proporciones que pueden variar entre menos de un 1% (combustibles B.T.S.) hasta algo más de un 5% (fueles pesados) que combinado con el oxígeno del aire, da lugar a diferentes compuestos de azufre, todos ellos considerados como contaminantes por las administraciones de diferentes países.
- CO: resultado de una combustión incompleta.

- Radicales libres, partículas sólidas (fundamentalmente de carbono) y otras, procedentes de impurezas en el combustible (metales pesados, por ejemplo), aunque todos ellos en muy pequeñas proporciones.

Es importante destacar, que cada país instauro los elementos normativos referentes al manejo y expulsión de los gases tóxicos hacia la atmosfera tomando en consideración el impacto negativo que los mismos puedan tener con el medio ambiente, en este sentido en la Guía sobre el medio ambiente, salud y seguridad (2007) se aprecia la siguiente acotación:

Según se describe en las Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad, durante la fase de planificación de las operaciones y del diseño de la instalación se debe tener en cuenta el impacto en la calidad del aire mediante la utilización de evaluaciones de referencia de la calidad del aire y de modelos de dispersión atmosférica para establecer las concentraciones potenciales en el aire a nivel del suelo. (p. 3)

Bajo dichas premisa, es importante incluir dentro del diseño de la chimenea un espacio en el cual se tome en consideración la manera en que los gases que transitan por la chimenea impactaran al ambiente y a través de ello plantear la forma más conveniente de reducir los riesgos de contaminación.

2.2.3. Chimeneas de Concreto

La construcción de chimeneas en concreto armado, ha ido en aumento en las últimas décadas, debido principalmente a la creciente demanda en cuanto al control de contaminación del aire. Se han construido chimeneas de hasta 1 250 pies (380 metros) de altura, y hay muchas razones para creer que esta tendencia hacia la construcción de altas chimeneas continuará.

La creciente demanda de chimeneas junto con el uso en la construcción del encofrado deslizante, ha hecho hincapié en las ventajas de

la construcción de concreto armado. Una ventaja principal en una chimenea de concreto armado, es que su resistencia a las vibraciones del viento es mucho mayor que la correspondiente a una chimenea de acero.



Figura 2. *Chimenea de Concreto Armado.* **Fuente:** Barreno, R (Enero, 2014).

Mientras mayor sea la altura de la chimenea, muchos problemas estructurales, como la respuesta a las fuerzas sísmicas y de viento, se vuelve cada vez más crítica. Sin embargo, la disponibilidad de softwares computacionales, hacen posibles analizar chimeneas para tales fuerzas y calcular tensiones para varias condiciones de carga de una manera rápida, segura y económica.

Es de esta manera, como a través del lenguaje de programación se puede obtener una muestra previa del diseño que se desea plantear, en el caso particular de presente estudio la herramienta computacional SAP2000 un software de cálculo estructural con interfaz gráfico 3D orientado a objetos, preparado para realizar de forma totalmente integrada la modelación, análisis y dimensionamiento del más amplio conjunto de problemas de ingeniería de estructuras, permitirá modelar una chimenea

apta para las exigencias del trabajo de refinación. A través de dicho programa, se podrán aplicar parámetros de resistencia y durabilidad de acuerdo a las diferentes normas planteadas, a la estructura modelada con el fin de ampliar y garantizar su correcto funcionamiento.

2.2.4. Partes de una Chimenea

En una chimenea industrial, se pueden distinguir cuatro partes fundamentales: revestimiento, ménsulas o braquetes (utilizados para apoyo de revestimientos de tipo soportado), fuste, y la cimentación.

Partes de una Chimenea Industrial	Revestimiento	Tiene como misión, la protección del concreto del fuste contra el ataque químico y térmico de los humos. Por ello su composición es a base de capas de materiales antiácidos y aislantes. Se coloca en todo lo alto de la chimenea y no se coloca adherido al concreto, sino que se deja un espacio libre entre ellos o este se rellena con un material aislante.
	Ménsulas o Braquetes	Las ménsulas o braquetes son anillos segmentados de concreto armado con una longitud no mayor que 90 centímetros, con una separación no menor a 1 centímetro, de modo que al dilatarse y contraerse no produzca esfuerzos en la chimenea.
	Fuste	Es el encargado de absorber y canalizar hasta la cimentación todos los esfuerzos debidos a su peso propio, peso del revestimiento y ménsulas, viento, esfuerzos sísmicos y térmicos.
	Cimentación	Encargada de recoger las acciones que le transmite el fuste y distribuir las en el terreno. Al ser estructuras de gran altura las cargas que llegan a la cimentación son elevadas, por lo que se requiere del uso de cimentaciones, que sean capaces de transmitir al suelo dichas solicitaciones sin que exista la falla por la capacidad de carga del suelo, y que los asentamientos que se generen no sean excesivos y pongan en peligro el funcionamiento de la estructura.

Tabla 1. Partes de una Chimenea Industrial. Fuente: Valbuena, F (Diciembre 2017)

La tabla anterior en forma de síntesis, muestra las diferentes partes que componen una chimenea industrial, un conocimiento necesario e indispensable para el desarrollo de la propuesta del diseño de la nueva SK4061 tomando en cuenta que el modelo debe filtrar las especificaciones necesarias para una estructura que cumpla con los requerimientos de las diferentes normas relacionadas con las acciones del viento y los riesgos de cargas sísmicas.

2.3. El Concreto, aportes de Arthur h. Nilson

El concreto es un material semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena y grava u otro agregado, y agua; después, esta mezcla se endurece en formaletas con la forma y dimensiones deseadas. El cuerpo del material consiste en agregado fino y grueso. El cemento y el agua interactúan químicamente para unir las partículas de agregado y conformar una masa sólida. Es necesario agregar agua, además de aquella que se requiere para la reacción química, con el fin de darle a la mezcla la trabajabilidad adecuada que permita llenar las formaletas y rodear el acero de refuerzo embebido, antes de que inicie el endurecimiento.

Se pueden obtener concretos en un amplio rango de propiedades ajustando apropiadamente las proporciones de los materiales constitutivos. Un rango aún más amplio de propiedades puede obtenerse mediante la utilización de cementos especiales (cementos de alta resistencia inicial), agregados especiales (los diversos agregados ligeros o pesados), aditivos (plastificantes y agentes incorporadores de aire, microsílíce o cenizas volantes) y mediante métodos especiales de curado (curado al vapor).

Los factores que hacen del concreto un material de construcción universal son tan evidentes que ha sido utilizado de diversas maneras por miles de años; probablemente se comenzó a usar en el antiguo Egipto. Uno

de estos factores consiste en la facilidad con la cual, mientras se encuentra en estado plástico, puede depositarse y llenar las formaletas y moldes de cualquier forma. Su alta resistencia al fuego y al clima son ventajas evidentes. La mayor parte de los materiales constitutivos, con la excepción del cemento y los aditivos, están disponibles a bajo costo, localmente o muy cerca del sitio de construcción. Su resistencia a la compresión, similar a la de las piedras naturales, es alta lo que lo hace apropiado para elementos sometidos principalmente a compresión, tales como columnas o arcos.

Asimismo, de nuevo como en las piedras naturales, el concreto es un material relativamente frágil, con una baja resistencia a la tensión comparada con la resistencia a la compresión. Esto impide su utilización económica en elementos estructurales sometidos a tensión ya sea en toda su sección (como el caso de elementos de amarre) o sobre parte de sus secciones transversales (como en vigas u otros elementos sometidos a flexión).

Para contrarrestar esta limitación, en la segunda mitad del siglo XIX se consideró factible utilizar acero para reforzar el concreto debido a su alta resistencia a la tensión, principalmente en aquellos sitios donde la baja resistencia a la tensión del concreto limitaría la capacidad portante del elemento. El refuerzo, conformado usualmente por barras circulares de acero con deformaciones superficiales apropiadas para proporcionar adherencia, se coloca en las formaletas antes de vaciar el concreto. Una vez las barras estén completamente rodeadas por la masa de concreto endurecido, comienzan a formar parte integral del elemento. La combinación resultante de los dos materiales, conocida como concreto reforzado, combina muchas de las ventajas de cada uno: el costo relativamente bajo, la buena resistencia al clima y al fuego, la buena resistencia a la compresión y la excelente capacidad de moldeo del concreto con la alta resistencia a la tensión y la aún mayor ductilidad y tenacidad del acero.

Es precisamente esta combinación la que permite el casi ilimitado rango de usos y posibilidades del concreto reforzado en la construcción de edificios, puentes, presas, tanques, depósitos y muchas otras estructuras, entre la que destacan las chimeneas industriales, por tal motivo el diseño que se pretende proponer se destaca por la utilización del concreto reforzado de manera que la resistencia a las altas temperaturas se vea favorecida.

2.3.1. Suposiciones fundamentales para el comportamiento del Concreto Reforzado

El principal objetivo del ingeniero estructural es el diseño de estructuras económicas, seguras que contribuyan a la sociedad. El diseño significa la determinación de la forma general y de todas las dimensiones específicas de una estructura en particular, de manera que ésta cumpla con las funciones para las cuales se ha creado y resista en forma segura los efectos que actuarán sobre ella a través de su vida útil. Estos efectos son principalmente las cargas y otras fuerzas a las que se verá sometida, al igual que a otros agentes perjudiciales, tales como fluctuaciones de temperatura, asentamientos de la cimentación y agentes corrosivos. Dichos elementos serán tomados en cuenta de manera prioritaria en el diseño de la SK4061 del complejo de Refinación de Amuay.

La mecánica estructural es una de las herramientas principales en el proceso de diseño y, en el presente contexto, es el cuerpo del conocimiento científico que permite la predicción, con un buen grado de certeza, de la manera como una estructura de forma y dimensiones dadas se comportará cuando esté sometida a fuerzas conocidas y a otros efectos mecánicos. Son precisamente dichos aspectos los que se agrupan de forma ordenada para dar respuesta a un diseño que combine seguridad y durabilidad.

En tal sentido, los principales aspectos de interés práctico en el comportamiento de una estructura son (1) la resistencia de la estructura, es decir, la magnitud de las cargas con una distribución dada que causarán la

falla de la estructura y (2) las deformaciones traducidas en deflexiones y agrietamientos que van a presentarse en la estructura cuando esté cargada bajo condiciones de servicio.

La mecánica del concreto reforzado se basa en las siguientes premisas fundamentales:

1. Las fuerzas internas, tales como momentos flectores, fuerzas de corte y esfuerzos normales y cortantes en una sección cualquiera de un elemento, están en equilibrio con los efectos de las cargas externas en esta sección. Esta premisa no es una suposición sino una realidad, debido a que cualquier cuerpo o parte de éste estará en reposo sólo si todas las fuerzas que actúan sobre él están en equilibrio.
2. La deformación unitaria en una barra de refuerzo embebida (a tensión o a compresión) es la misma que la del concreto circundante. Expresado de otra manera, se supone que existe una adherencia perfecta en la interfase entre el concreto y el acero de manera que no ocurre deslizamiento entre los dos materiales. Así en la medida en que uno se deforme, lo mismo debe ocurrir con el otro. Con las barras corrugadas modernas se dispone de un alto grado de traba mecánica adicional a la adhesión natural superficial, de manera que esta suposición está muy cerca de la realidad.
3. Las secciones transversales planas antes de la aplicación de la carga siguen siendo planas para el elemento cargado. Mediciones precisas han demostrado que cuando un elemento de concreto reforzado está cargado muy cerca de la falla esta suposición no es absolutamente correcta. Sin embargo, las desviaciones son usualmente menores y los resultados de la teoría basada en esta suposición coinciden bien con la amplia información de ensayos disponible.
4. Debido a que la resistencia a la tensión del concreto es tan sólo una pequeña fracción de su resistencia a la compresión (ver la sección 2.8), el concreto en aquella parte del elemento sometido a tensión estará

usualmente fisurado, Aunque para elementos bien diseñados estas fisuras son en general tan delgadas que resultan apenas visibles (a veces se les llaman grietas capilares), éstas evidentemente obligan a que el concreto fisurado sea incapaz de resistir esfuerzos de tensión. De acuerdo con esto, se supone en general que el concreto no es capaz de resistir ningún esfuerzo de tensión. Esta suposición es una simplificación de la situación real debido a que, de hecho, el concreto antes del agrietamiento, al igual que el concreto localizado entre fisuras, sí resiste esfuerzos de tensión de pequeña magnitud. Más adelante, en discusiones sobre la resistencia a cortante de vigas de concreto reforzado, resultará claro que bajo ciertas condiciones esta suposición particular se desprecia y se toma en consideración la modesta resistencia a la tensión que puede desarrollar el concreto.

5. La teoría se basa en las relaciones esfuerzo-deformación reales y en las propiedades de resistencia de los dos materiales constituyentes o en alguna simplificación razonable relacionada. Debido a que en la teoría moderna se considera el comportamiento inelástico, a que el concreto se supone inefectivo a tensión y a que se toma la acción conjunta de los dos materiales, los métodos analíticos aplicables resultan considerablemente más complejos y también más desafiantes que aquéllos adecuados para elementos hechos de un solo material esencialmente elástico.

Estas cinco premisas permiten predecir mediante cálculos el comportamiento de elementos de concreto reforzado únicamente para algunas situaciones simples. En realidad, la acción conjunta de dos materiales tan distintos y complicados como el concreto y el acero es tan compleja que no ha sido posible llevarla a un tratamiento analítico. Por esta razón, los métodos de diseño y análisis, aunque utilizan estas suposiciones, están basados ampliamente en los resultados de una intensa investigación experimental. Estos métodos se modifican y mejoran en la medida en que se dispone de nuevas evidencias experimentales.

2.4. Generalidades de la Chimenea SK4601

En el año 1982, se colocaron en servicio las chimeneas SK4601 Y SK4602 en la Refinería de Amuay, cuya función es manejar los gases de combustión de las calderas del bloque 29, junto con el venteo del excedente del flexigas de la unidad FKAY, que por razones operacionales, no es consumido en otras unidades de procesos de la refinería. Los gases manejados por ambas chimeneas contienen compuestos tóxicos, inflamables y/o corrosivos tales como: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), nitrógeno (N_2), dióxido de azufre (SO_2), óxido de azufre (SO_3), ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido sulfhídrico (H_2S), metano (CH_4) y penolxilo de vanadio (V_2O_5), entre otros.

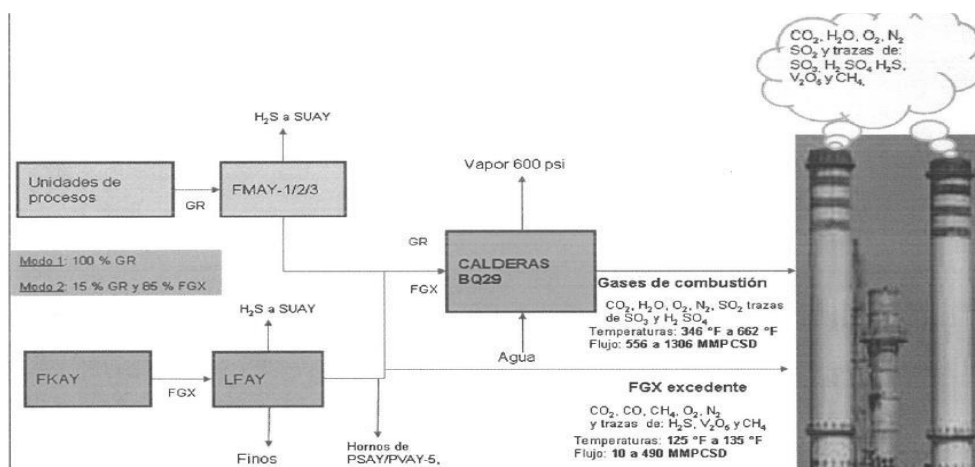


Figura 3. Diagrama de Operaciones simplificado de la chimenea SK4601 Y SK4602.

En el año 1998 entra en servicio la unidad LFAY para la remoción del ácido sulfhídrico (H_2S), agua y finos de coque de la corriente de flexigas.

2.4. Informe Técnico No. 312026 (Resumen)

Las SK4601, es una Chimenea de concreto armado, con ducto interno de ladrillo refractario antiácido. Posee una **Altura**= 110 m y un **Diámetro interno**= 10,00 m de diámetro con una **Temperatura interna de en servicio** = 350 ° C.

El informe presenta los resultados de ensayos a compresión hasta la rotura de núcleos de concreto extraídos en campo, mediciones de velocidad de transmisión de ondas ultrasónicas en el concreto de la chimenea realizadas en campo, mediciones de velocidad de transmisión de ondas ultrasónicas en los núcleos de concreto, y la determinación del perfil de carbonatación realizado en los núcleos de concreto.



Figura 4. *Fotografía real de las chimeneas SK4601 y SK4602. Fuente: Informe Técnico No. 312026 (2015)*

2.4.1 Evaluación del Concreto

Como paso previo a la evaluación, se realizó una inspección visual de la chimenea con la finalidad de seleccionar los elementos donde se realizarían las lecturas ultrasónicas para luego realizar las extracciones de núcleos de concreto.

Por medio de los ensayos de campo y laboratorio se estimó de manera confiable la resistencia a la compresión del concreto que conforma la chimenea SK4601 evaluada. Las técnicas y procedimientos aplicados en la

evaluación de los materiales, están sustentadas en procedimientos establecidos en las normas COVENIN correspondientes.

2.4.2. Lecturas Ultrasónicas en Elementos de Concreto

En total se realizaron sesenta y cuatro (64) lecturas ultrasónicas de las cuales cuarenta y cuatro (44) son lecturas indirectas en campo, 3 (tres) lecturas directas en campo y diecisiete (17) lecturas directas en laboratorio. Las 44 lecturas indirectas y las 3 directas se realizaron en campo y únicamente en el nivel +55 debido a las limitaciones de acceso a otros niveles de la chimenea. Las 17 lecturas directas si corresponden a los distintos niveles en que se tomaron muestras de concreto. Para realizar las lecturas se empleó un equipo de ultrasonido de transmisión directa marca JAMES INSTRUMENT serial No. 234589. Para acoplar los palpadores del equipo, se utilizó vaselina industrial.

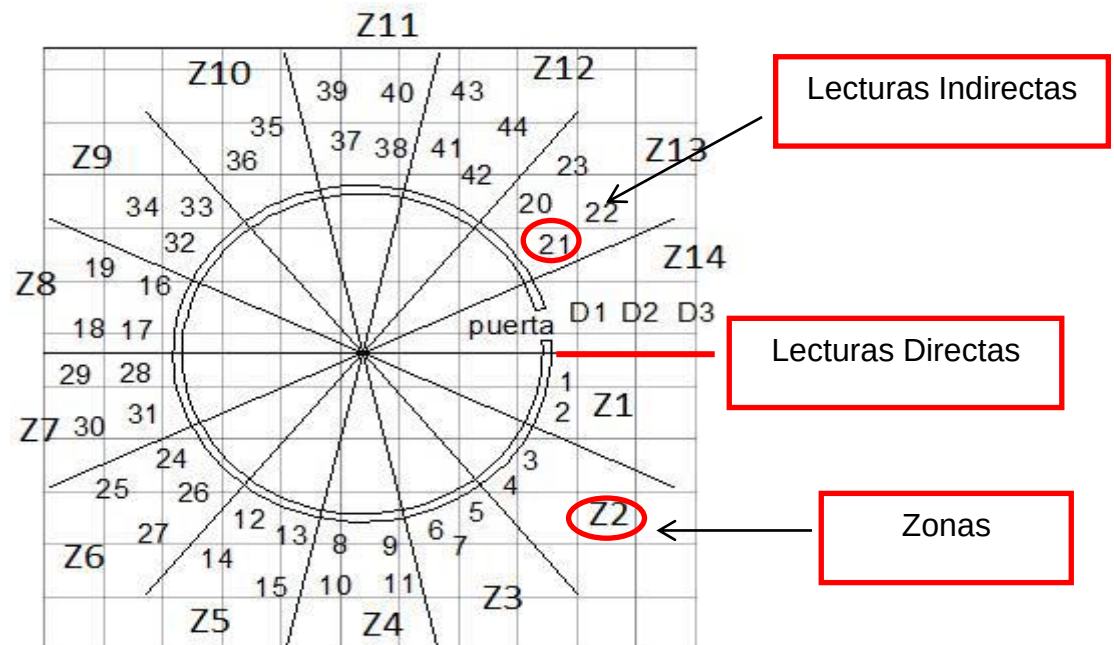


Figura 5. Distribución de los Ultrasonidos en plantas. **Fuente:** Informe Técnico

2.4.3. Extracción de Núcleos de Concreto

Se realizó la extracción de dieciocho (18) núcleos de concreto de 3" de diámetro sobre el concreto de la chimenea SK - 4601.

La extracción de los núcleos se efectuó siguiendo los lineamientos generales de la Norma Venezolana COVENIN 345 "Método para la extracción de probetas cilíndricas y viguetas de concreto endurecido". Una vez en los laboratorios del IMME se realizaron las lecturas ultrasónicas y el perfil de carbonatación en los núcleos para luego ser ensayados a compresión hasta la rotura.

2.4.4. Ensayo de Fenolftaleína Sobre Núcleos de Concreto:

Sobre 17 de los núcleos extraídos se realizó un perfil de carbonatación, empleando para ello una solución de fenolftaleína diluida en 1% de alcohol. Esta solución se aplicó a todo lo largo de cada muestra, en la cual se debe observar si existe un cambio a color púrpura o turquesa, lo cual es indicativo que no existe presencia de carbonatación en el concreto, de no haber ningún cambio en el color del concreto es indicativo de la presencia de carbonatación.

Una vez aplicada la solución sobre las muestra se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla n°2.

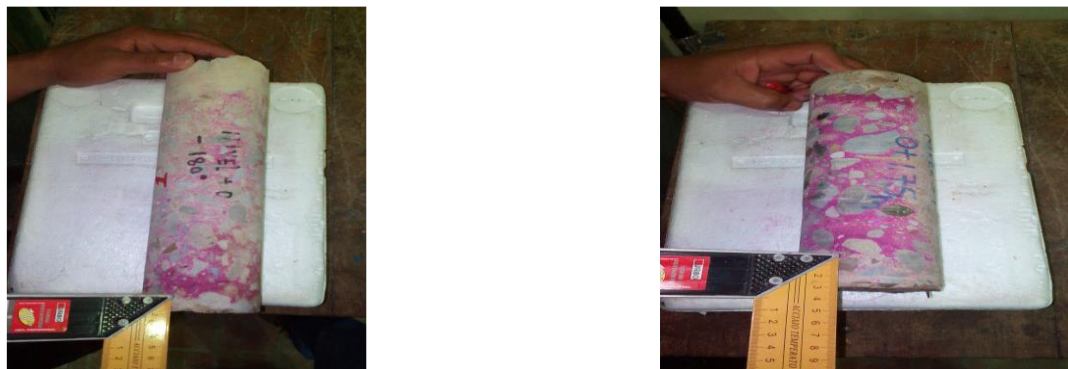


Figura 6. Perfil de carbonatación en núcleos extraídos de la chimenea SK-4601. **Fuente:** Informe Técnico.

Muestra	Observación
Nivel+1,5 ang -120 °	Carbonatación en la cara externa de 1,5 cm
Nivel+1,5 ang 0,00°	Carbonatación en la cara externa de 1,5 cm
Nivel+1,5 ang +120 °	Carbonatación en la cara externa de 1,5 cm
Nivel+ 27 Ducto D	Carbonatación en la cara externa de 1,5 cm
Nivel+ 27 Ducto I	Carbonatación en la cara externa de 4,0 cm
Nivel+16	Carbonatación en la cara externa de 1,5 cm
Nivel+9 D	Carbonatación en la cara externa de 3,0 cm
Nivel+9 I	Carbonatación en la cara externa de 2,5 cm
Nivel+9 ext	Carbonatación en la cara externa de 3,0 cm
Nivel+9 inte	Carbonatación en la cara interna No presentó
Nivel+55 a 1,75 m	Carbonatación en la cara externa e interna de 3,0 cm
Nivel+55 a 3,84 m	Carbonatación en la cara externa e interna de 3,0 cm
Nivel+55 a 14,93 m	Carbonatación en la cara externa e interna de 2,5 cm
Nivel+55 a 24,19 m	Carbonatación en la cara externa e interna de 2,0 cm
Nivel 106 a 1,80 m	Carbonatación en la cara externa de 3,0 cm
Nivel 106 a 5,50 m	Carbonatación en la cara externa de 2,0 cm
Nivel 106 a 10,85 m	Carbonatación en la cara externa de 2,0 cm

Tabla 2. Fenolftaleína sobre Núcleos. **Fuente:** Informe Técnico.

2.4.5. Ensayos de ultrasonido en núcleos de concreto

El ensayo de ultrasonido se realizó en 17 de los 18 núcleos extraídos, siguiendo los lineamientos generales de la Norma Venezolana COVENIN

1681: “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”.

En la Tabla N°3 se presentan los resultados obtenidos de las lecturas ultrasónicas en los núcleos de concreto.

Muestra	Velocidad (m/s)
Nivel+1,5 ang - 120 °	4041
Nivel+1,5 ang 0,00°	4153
Nivel+1,5 ang +120 °	4134
Nivel+ 27 Ducto D	3086
Nivel+ 27 Ducto I	3128
Nivel+16	2956
Nivel+9 D	3995
Nivel+9 I	3945
Nivel+9 ext	3776
Nivel+9 inte	3852
Nivel+55 a 1,75 m	3826
Nivel+55 a 3,84 m	4005
Nivel+55 a 14,93 m	4147
Nivel+55 a 24,19 m	3934
Nivel 106 a 1,80 m	2962
Nivel 106 a 5,50 m	2959
Nivel 106 a 10,85 m	4026

Tabla 3. *Ultrasonido en núcleos de concreto. Fuente: Informe Técnico*

Velocidad Promedio	3701
Desv. Estándar	468
Coef. Variación	12,65

La velocidad promedio de los núcleos de la Chimenea es de **3701 m/s**. la desviación estándar es de 468 m/s.

Debido a que la desviación estándar obtenida de los resultados de todas las lecturas ultrasónicas realizadas sobre los núcleos, presentaron un valor superior a los 110 m/s, se evidencia una baja homogeneidad del concreto por lo que se realizaron subdivisiones en función de la altura que permitirán identificar aquellas zonas más afectadas por la acción del fuego sobre el concreto.

2.4.6. Análisis de los Resultados

Ensayo de carbonatación

Según los datos resultantes del análisis, se puede establecer que se encontró carbonatación en el concreto que va desde 1,5 hasta 4,0 cm de profundidad en la cara externa de la chimenea. La profundidad menor se presenta en el Nivel +0 y a medida que se sube de nivel este se incrementa hasta los 3,0 cm.

Por otro lado, la mayor profundidad de carbonatación, con 4,0 cm de profundidad, fue encontrada en el concreto cercano al ducto (+27 m) de la chimenea. Las muestras identificadas como Nivel +55,0 a 1,75 m, Nivel +55 a 3,84 m, Nivel +55 a 14,93 m y Nivel +55 a 24,19 m; fueron extraídas atravesando completamente el espesor del concreto, presentándose carbonatación de 2,0 a 3,0 cm de profundidad medidos desde la cara interna de la chimenea.

El recubrimiento del acero de refuerzo del concreto, se encuentra a una profundidad promedio de 5 cm, lo cual lo hace vulnerable, especialmente en la cara externa de la chimenea que puede ser afectado por corrosión, debido al bajo pH del concreto causado por la carbonatación.

- **Ensayos de Ultrasonido y resistencia a la compresión de núcleos de concreto**

De las tablas de resultados de las lecturas ultrasónicas correspondientes al concreto evaluado de la chimenea, cuyas lecturas están comprendidas entre 1577 y 2611 m/s, para las mediciones indirectas y valores de 3479 y 3912 para las directas. Dentro del nivel se puede considerar cierto nivel de homogeneidad, sin embargo se necesita rectificar algunas lecturas que tienen una elevada dispersión.

Analizando los resultados por rangos de resistencia, se encontró que los niveles que presentaron resistencias más bajas son: el Nivel Ducto (Nivel +27), Nivel +16, y el Nivel +22,5 cuyas resistencias están comprendidas entre 81 y 127 kgf/cm²; Hasta el Nivel +9 la resistencia promedio se encuentra entre 196 y 274 kgf/cm² y desde el nivel +55 en adelante se tiene una resistencia promedio entre 207 y 160 kgf/cm².

Es importante destacar además, que la gran variabilidad en la resistencia del concreto a todo lo extenso de la chimenea, puede deberse a elevadas temperaturas por la acción de fuego a las que ha sido sometido el concreto en algunas oportunidades. Se considera esta hipótesis debido a que una vez que se realizó la extracción de las muestras de concreto, estas presentaban un color rosado característico del concreto cuando es sometido a la acción del fuego o altas temperaturas.

Todo lo anterior permite entender y justificar, la importancia de sustituir la chimenea SK4601 por una nueva estructura que permita optimizar el funcionamiento de la planta y además disminuya los riesgos de vulnerabilidad a los cuales se encuentra expuesta.

2.3. Fundamentos Legales

2.3.1. El código ACI

Con el transcurrir de los años, se ha llegado a concluir que el diseño de estructuras de concreto se lleva a cabo generalmente dentro de un contexto de códigos que dan requisitos específicos para materiales, para el análisis estructural, para el dimensionamiento de elementos, entre otros. En comparación con otros países altamente desarrollados, los Estados Unidos no poseen un código oficial nacional que gobierne el concreto estructural. La responsabilidad de producir y mantener especificaciones de diseño descansa sobre varios grupos profesionales, asociaciones gremiales e institutos técnicos que han producido los documentos necesarios.

El American Concrete Institute (ACI) ha sido durante mucho tiempo un líder en tales esfuerzos. Como parte de sus actividades, el American Concrete Institute ha publicado el reconocido ***Building Code Requirements for Structural Concrete***, que sirve de guía en el diseño y construcción de edificios de concreto reforzado. El Código ACI no es un documento oficial por sí mismo. Sin embargo, es reconocido ampliamente como un documento autorizado para la buena práctica en el campo del concreto reforzado. Como resultado, éste se ha incorporado por ley en innumerables códigos de construcción municipales y regionales que sí tienen una connotación legal.

Sus disposiciones alcanzan de esta manera un soporte legal. En los Estados Unidos la mayoría de los edificios en concreto reforzado y construcciones similares se diseñan de acuerdo con el Código ACI vigente. Éste ha servido también como documento modelo para muchos otros países. Una segunda publicación del ACI, ***Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete*** contiene material de apoyo e interpretación para las disposiciones del Código.

Es de hacer notar, que el American Concrete Institute también publica importantes revistas y normas al igual que recomendaciones para el análisis

y diseño de estructuras especiales de concreto. Muchas de las disposiciones siguen muy de cerca las dadas por el Código ACI, aunque existen algunas diferencias. El diseño de puentes de vías férreas, por ejemplo, se realiza de acuerdo con las especificaciones del AREA **Manual of Railway Engineering**, éste también sigue el Código ACI en muchos aspectos.

Es importante aclarar que ningún código o especificación de diseño puede utilizarse como sustituto de un criterio de ingeniería sólido en el diseño de estructuras de concreto. En la práctica estructural a menudo se encuentran circunstancias especiales donde las disposiciones del Código sirven únicamente como guías y el ingeniero debe confiar en un firme entendimiento de los principios básicos de la mecánica estructural aplicada al concreto reforzado o preesforzado, y en un conocimiento profundo de la naturaleza de los materiales.

En tal sentido, el presente trabajo de investigación, se apeg a lo establecido por el ACI en relación a formas estructurales, tratamiento del concreto, códigos de diseño y especificaciones y otros aspectos de inherencia para el desarrollo de la propuesta que plantea a los largo del estudio.

2.3.2. Disposiciones de Seguridad del Código ACI

Las disposiciones de seguridad del Código ACI se adaptan a las formas de las ecuaciones (1.3b) y (1.3c), las cuales utilizan factores de carga de resistencia y factores de mayoración de las cargas.

Estos factores están basados hasta cierto punto en información estadística, pero confían en un alto grado en la experiencia, en el criterio de ingeniería y en ciertos compromisos. La resistencia de diseño ϕS , de una estructura o elemento debe ser por lo menos igual a la resistencia requerida U calculada a partir de las cargas mayoradas, es decir,

Resistencia de diseño ϕR_n Resistencia requerida

$$\phi R_n \geq U \quad (1.4)$$

La resistencia nominal R_n , se calcula (usualmente en forma algo conservadora) mediante métodos aceptados. La resistencia requerida U se calcula aplicando los factores de carga apropiados a las cargas de servicio respectivas: carga muerta D , carga viva L , carga de viento W , carga sísmica E , presión de tierra H , presión de fluido F , impacto I y efectos ambientales T que pueden incluir asentamientos, flujo plástico, retracción de fraguado y cambios de temperatura.

Las cargas se definen en un sentido general para incluir ya sea cargas directas o efectos internos relacionados, tales como momentos, cortantes y axiales. De esta manera, y en términos específicos, para un elemento sometido por ejemplo a momento, cortante y axial:

$$\phi M_n \geq M_u \quad (1.5a)$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (1.5b)$$

$$\phi P_n \geq P_u \quad (1.5c)$$

Donde los subíndices n indican las resistencias nominales a flexión, cortante y axial respectivamente, y los subíndices u indican los efectos mayorados de momento, cortante y axial. Para el cálculo de los efectos de las cargas mayoradas a la derecha de las ecuaciones, los factores de carga pueden aplicarse ya sea a las cargas de servicio directamente o a los efectos internos de las cargas calculados a partir de las cargas de servicio.

En la tabla 4 se resumen los factores de carga especificados por el Código ACI los cuales deben aplicarse a las cargas muertas calculadas, y a las cargas vivas y ambientales especificadas en los códigos o normas apropiados.

Condición	Carga o efecto de carga mayorada U
Básica	$U = 1.40 + 1.7L$
Viento	$U = 0.75(1.40 + 1.7L + 1.7w)$ e incluir una consideración con $L = 0$ $U = 0.90 + 1.3W$
Sismo	$U = 1.40 + 1.7L$ $U = 0.75(1.40 + 1.7L + 1.87E)$ e incluir una consideración con $L = 0$ $U = 0.90 + 1.43E$
Presión de Tierra	$U = 1.40 + 1.7L$
Fluidos	$U = 1.40 + 1.7L + 1.7H$
Impacto	$U = 0.90 + 1.7H$
Efectos de Asentamiento, flujo plástico, retracción de fraguado o cambios de temperatura	$U = 1.40 + 1.7L$ Adicionar $1.4F$ a todas las cargas que incluyan L Sustituir $L + I$ en lugar de L $U = 0.75(1.40 + 1.4T + 1.7L)$ $U = 1.4(0 + 7')$

Tabla 4. *Combinaciones de cargas mayoradas para determinar la resistencia requerida U en el Código ACI. Fuente: Nilson (1999).*

Considerando las cargas individualmente, se utilizan factores menores para aquellas que se conocen con mayor certeza, por ejemplo las cargas muertas, en comparación con otras de mayor variabilidad, como las cargas vivas. Además, para combinaciones de carga tales como cargas muertas y vivas más cargas de viento, se aplica un coeficiente de reducción para considerar una probabilidad menor de que una carga viva excesivamente grande coincida con una tormenta de viento severa. Los factores también reflejan de manera general las incertidumbres con las cuales se calculan los efectos internos de las cargas a partir de las cargas externas en sistemas tan complejos como las estructuras de concreto reforzado inelásticas y altamente indeterminadas que, adicionalmente, incluyen elementos de sección variable (debido a agrietamientos por tensión, refuerzo discontinuo).

Por último, los factores de carga también permiten distinguir entre dos situaciones: una en la que el efecto de todas las cargas simultáneas es

aditivo a diferencia de la otra en la que los efectos de las cargas se contrarrestan entre sí, particularmente cuando hay las fuerzas horizontales al tiempo con la gravedad. Por ejemplo, en un muro de contención la presión del suelo produce un momento de volcamiento y las fuerzas de gravedad producen un momento estabilizante que lo contrarresta.

2.4. Norma Venezolana 1753 – 2006 Proyecto y construcción de obras en concreto estructural.

Capítulo 3

3.1.1. Calidad de los materiales

Los Ingenieros residente e inspector de la obra deben asegurar la calidad de los materiales a ser usados. Tendrán el derecho de ordenar ensayos para comprobar que satisfacen las calidades especificadas en esta Norma. El registro completo de estos ensayos debe encontrarse disponible para su inspección durante la marcha de los trabajos entregados formalmente al propietario para su custodia, conservación, presentación y traspaso en las ocasiones pertinentes.

3.1.2 Normas De Ensayo

Los ensayos de materiales serán realizados de acuerdo con las Normas Venezolanas correspondientes y, en su defecto, aquellas que han sido publicadas por organismos extranjeros de reconocida competencia aceptadas por la autoridad competente, según se indica en los Artículos 1.1 y 1.6.

3.2 Cementos

El cemento debe cumplir con una de las siguientes normas de calidad:

- a.** Norma Venezolana 28. *Cemento Portland. Requisitos.*
- b.** Norma Venezolana 935. *Cemento Portland - Escoria. Requisitos*

El cemento empleado en la obra debe corresponder con aquel sobre el cual fue basada la selección de las proporciones para las mezclas del concreto con arreglo a lo establecido en el Artículo 5.3 y Sección 3.1.2.

Para la fabricación de concreto, no debe hacerse uso de los denominados cementos de mampostería.

3.3 Agregados

Los agregados para el concreto deben cumplir con una de las siguientes normas técnicas:

a. Norma Venezolana 277.

b. Hasta tanto no se disponga de Normas Venezolanas para agregados livianos, se debe consultar la norma ASTM C330 o las recomendaciones del comité ACI 211.2 Excepcionalmente y con la autorización por escrito del ingeniero inspector, podrán usarse agregados que aun cuando no cumplan con las especificaciones de esta sección, permitan obtener un concreto de resistencia y durabilidad adecuadas, lo cual debe comprobarse previamente sea por ensayos especiales o en obras existentes con concretos y condiciones de servicio similares.

2.5. Manual de Ingeniería de Diseño

Ejemplo 2: Solicitaciones Sísmicas En Un Recipiente Vertical Esbelto

4.1 Información Requerida

4.1.1 Geometría de la estructura y materiales

4.1.2 Distribución de pesos

4.1.3 Grado de riesgo: Elevado número de personas expuestas (30) y recipiente con liquido tóxico Grado B, capa de suelo medio denso, de espesor 30 m, con Vsp de 180 m/s.

Localización y zona sísmica (véase Mapas de Peligro Sísmico de la Sección [6.1](#) de PDVSA [JA-221](#)).

Aceleración característica del peligro sísmico en la localidad:

$$a^* = 49 \text{ cm/s}^2$$

Valor característico del peligro sísmico en la localidad

$$\gamma = 3,0$$

Los aspectos reseñados anteriormente concernientes a algunas de las normativas y aspectos teóricos que rigen la construcción de chimeneas, permite establecer parámetros apropiados e idóneos para la propuesta del diseño de una chimenea que pueda reemplazar a la SK4061 perteneciente al bloque 29 de la refinería Amuay, aspectos importante a considerar tomando en cuenta la necesaria operatividad de la misma. Además se constituyen como guías pertinentes para ofrecer una alternativa de solución que vaya en favor de solventar la problemática existente.

Glosario De Términos Básicos

Acero: Aleación de hierro con pequeñas cantidades de carbono y que adquiere con el temple gran dureza y elasticidad.

Acero de refuerzo: Conjunto de barras, mallas o alambres que cumplen con el Artículo 3.6 y que se colocan dentro del concreto para resistir tensiones conjuntamente con éste.

ACI. "American Concrete Institute" (Instituto Americano del Concreto)

Aditivo: Materiales diferentes del cemento hidráulico, agregados o agua que se incorporan al concreto, en cantidades estrictamente controladas, antes o durante su mezcla, para modificar algunas de sus propiedades sin perjudicar su durabilidad

Agregado: Material granular inerte, el cual se mezcla con cemento hidráulico y agua para producir concreto. Véase el Artículo 3.3.

Análisis. Determinación, según modelos matemáticos, de las respuestas correspondientes a las acciones previstas.

Análisis estructural. Determinación de las solicitaciones en los elementos de una estructura

Anclaje:

a. Longitud del refuerzo, o de un anclaje mecánico, o de un gancho o de una combinación de los mismos, necesaria para transmitir las tensiones de la barra a la masa de concreto.

b. Elemento de acero colocado antes del vaciado del concreto o en el concreto endurecido para transferir las cargas aplicadas. Se consideran anclajes: los pernos con cabeza, pernos con ganchos, espárragos con cabeza, pernos de expansión y pernos con entalladuras.

Área proyectada: Área de la superficie libre del concreto que se utiliza para representar la base mayor de la superficie de falla linealizada.

Calderas: maquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor.

Capacidad resistente. Carga máxima que se alcanza cuando se ha formado un número suficiente de zonas cedentes a fin de permitir que la estructura se deforme plásticamente sin incremento de carga adicional. La capacidad resistente se obtiene con el área de acero cuyo detalle aparece indicado en los planos.

Carbonatación: Acción por la que una sustancia se transforma en carbonato.

Carga mayorada. Carga de servicio multiplicada por los factores de mayoración indicados en las normas COVENIN-MINDUR correspondientes al material utilizado

Concreto reforzado: Concreto estructural con porcentajes mínimos de acero de refuerzo no menor que los especificados en esta Norma, diseñado bajo la suposición de que los dos materiales actúan conjuntamente para resistir las solicitaciones a las cuales está sometido. También denominado: concreto reforzado

Detallado: Consiste en la preparación de dibujos de colocación, detalles de las barras de refuerzo, y listas de barras que se utilizar para fabricar y colocar el acero de refuerzo en los miembros estructurales.

Diseño. En un miembro estructural, conocidas sus solicitaciones, la determinación racional y económica de sus dimensiones, así como la distribución y detallado adecuados de todos sus materiales y componentes, satisfaciendo a cabalidad las normas

Diseño estructural. Dimensionamiento definitivo de las secciones de los elementos estructurales y detalles del refuerzo

Esbeltez de una edificación. Cociente de dividir su altura entre su menor dimensión en planta

Espectro. Representación gráfica de los valores máximos de una serie cronológica en función de sus frecuencias o períodos.

Estructura. Conjunto de miembros y elementos cuya función es resistir y transmitir las acciones al suelo a través de las fundaciones.

Efecto de esbeltez: Reducción de la resistencia de un miembro sometido a compresión axial o flexo compresión, debido a que su longitud es grande en comparación con las dimensiones de la sección transversal.

Estructura mixta acero-concreto: Es un sistema estructural constituido predominantemente por miembros mixtos. Las vigas, losas, y muros mixtos acero concreto son tratadas en la Norma Venezolana 1618.

Fisuras: En general, rotura que aparece en cualquier material como consecuencia de la existencia de tensiones, externas o internas, superiores a la capacidad resistente del mismo, que se manifiesta en forma de hendidura o grieta longitudinal poco profunda y abertura menor a 1 mm.

Fuste: Parte de una columna o pilar comprendida entre la basa y el capitel.

MINDUR. Ministerio del Desarrollo Urbano, Caracas.

Norma. Es una especificación técnica u otro documento a disposición del público, elaborado con la colaboración y consenso o aprobación general de todos los intereses afectados por ella, basada en resultados consolidados de la ciencia, tecnología y experiencia, dirigida a promover beneficios óptimos para la comunidad y aprobada por un organismo reconocido a nivel nacional, regional o internacional

Relación de esbeltez. Cociente de dividir la altura de una construcción entre su menor dimensión en planta. Cuando las dimensiones en planta varíen con la altura se tomará la menor dimensión medida a la mitad de la altura

Resistencia de diseño. Resistencia nominal multiplicada por un factor de minoración de resistencias

Solicitaciones. Conjunto de fuerzas axiales, fuerzas cortantes, momentos flectores, momentos torsores y bimomentos que permiten el diseño de las secciones de los elementos y miembros estructurales

Solicitaciones mayoradas. Conjunto de las solicitaciones simultáneas combinadas de servicio o utilización previstas multiplicadas por los factores de mayoración fijados en las normas aplicables al material utilizado, necesario para diseñar las secciones de los elementos y miembros estructurales en el estado límite de agotamiento resistente

Voladizo. Elemento con un extremo libre que sobresale de las paredes o fachadas. También se le conoce como "volado" o "cantilever"

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3. Consideraciones Generales

El marco metodológico de toda investigación representa el espacio donde se organizan y detallan los métodos y herramientas que se emplearan para desarrollar de manera exitosa la investigación. Bajo dicha premisa, el marco metodológico del presente estudio plantea la propuesta para el diseño de una chimenea de concreto reforzado como medida de reemplazo o reforzamiento para la SK 4601 ubicada en el complejo de refinación Amuay en Punto Fijo Estado Falcón.

En tal sentido, se aprecia a continuación el tipo de investigación a la cual se apegas el estudio propuesto, así como las técnicas e instrumentos empleados para la recopilación de la información inherente.

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación precisa de manera concisa el procedimiento metodológico que regirá el estudio, Acosta y otros (2001) afirman que “cada tipo de investigación tiene una estrategia diferente para su tratamiento metodológico. Se debe indicar, si es una investigación histórica, descriptiva o experimental y explicar por qué razón el problema se puede abordar con ese tipo de investigación” (p.28). A propósito de dicha acotación, la presente investigación se encuentra enmarcada en un estudio de corte descriptivo lo que indica que los aspectos inherentes al mismo serán descritos de manera ampliada y categórica con el fin de apreciar aquellos rasgos de verdadera relevancia.

Del mismo modo, es posible contrastar la idea anterior con las expuestas por Sabino (1992) quien ofrece una opinión importante acerca de la investigación descriptiva expresando que:

Su preocupación primordial radica en describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos. Las investigaciones descriptivas utilizan criterios sistemáticos que permiten poner de manifiesto la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando de ese modo información sistemática y comparable con la de otras fuentes. (p.47)

Por su parte, Hernández, Fernández y Baptista (2006) expresan acerca de los estudios descriptivos que los mismos “miden, evalúan o recolectan datos sobre diversos conceptos (variables), aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar” (p.81).

Así mismo, dentro del marco de engranaje de la presente investigación, es posible ubicar a la misma en el ámbito de las investigaciones enraizadas al proyecto factible, conociendo según lo expuesto en el Manual de Trabajos de Grado de Especialización, Maestrías y Tesis Doctorales de la UPEL (1998) que la misma:

Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales, puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o ambas modalidades (p. 7)

En tal sentido, se puede denotar la coherencia de dicho tipo de investigación con el estudio planteado, tomando en consideración que el mismo queda emplazado en el diseño de una propuesta para la reconstrucción de una nueva chimenea para mejorar a la SK4601 del complejo de refinación Amuay ubicado en Punto Fijo Estado Falcón; explica además Hurtado (1998) que “se pueden ubicar como *proyectivas*, todas aquellas investigaciones que conducen a inventos, a programas, a diseños o a creaciones dirigidas a cubrir una determinada necesidad, y basadas en conocimientos anteriores.” (p. 311)

3.2. Diseño de la Investigación

El planteamiento de los diferentes enfoques teóricos, necesita de un ámbito de aplicación que permita la conjunción entre lo bibliográfico y lo empírico; así, Sabino (1992) afirma que el diseño de investigación tiene por objeto “proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar hechos con teorías, y su forma es la de una estrategia o plan general que determina las operaciones necesarias para hacerlo” (67).

Bajo tal premisa, el presente trabajo de investigación se ajusta a un diseño no experimental del cual afirma Hernández, Fernández y Baptista (1998) es concebido como aquel en el cual “no se construye ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente por el investigador” (p. 184). Hecho que se corresponde con el estudio planteado, tomando en consideración que el escenario elegido como problema ya se encontraba establecido con antelación al trabajo investigativo, por lo que no hubo manipulación o influencia en el de ningún tipo.

Por otro parte, la presente investigación se corresponde con los estudios documentales, concebidos como aquellos mecanismos donde el investigador se nutre de fuentes bibliográficas para sustentar su estudio; al respecto Salinas (2010) señala que “Esta investigación como su nombre indica, se refiere a aquella que se basa en asuntos, datos u observaciones ya pasados y que el investigador toma y analiza, asumiendo la veracidad de los datos u observaciones” (p. 18)

3.3. Fases de la Investigación

Fase uno: la primera fase de la presente investigación, se orientó específicamente a la identificación de los elementos que comprometían a la chimenea SK4061 del complejo de Refinación Amuay, es decir, se escudriño a través de fuentes primarias el estado en el que se encontraba dicha chimenea y los daños ocasionados por el accidente acontecido en el bloque

29 del cual forma parte. Así mismo, se tomó en consideración la revisión y análisis del informe No. 312026 elaborado por los expertos en el área y quienes especificaron de forma detallada las diferentes deficiencias estructurales que posee el concreto de la chimenea.

Fase Dos: durante el desarrollo de esta fase, se dio lugar a la descripción de cada una de las etapas de análisis y evaluación realizadas al concreto de la Chimenea SK4601, esto equivale al cómo se llevó a cabo la extracción, las lecturas ultrasónicas realizadas y los ensayos elaborados, todo ello con apoyo en fuentes secundarias derivadas de los diferentes informes técnicos producto de un proceso previo llevado a cabo por expertos de PDVSA.

Fase Tres: la tercera fase contempla la determinación de los aspectos de riesgo y vulnerabilidad asociados al colapso de la Chimenea SK4601 del complejo de refinación de Amuay, con ello se pondría en evidencia la necesidad imperante de sustituirla o reforzarla con el fin de evitar posibles accidentes laborales que además acarreen grandes gastos económicos.

Fase Cuatro: es en dicha fase, donde se dió cabida al diseño de reforzamiento de la chimenea SK4601 con apoyo en el programa SAP2000, sujeta a los parámetros de ubicación, calidad de los materiales a utilizar, gases a evacuar. Todo ello con sustento en las normas Venezolanas aplicable de COVENIN y PDVSA, además del uso de la norma Americana ACI.

3.4. Técnica e Instrumento de Recolección de la Información

Durante la etapa de recolección de información, el proceso investigativo va tomando forma y se consolida como espacio para la construcción de nuevos conocimientos, Acosta y otros (2001) aseguran que “un aspecto muy importante en todo proceso de investigación es el que tiene relación con la recolección de la información, pues de ello depende la confiabilidad y validez del estudio” (p. 37). Además de lo anterior, los datos

recolectados pasan a ser los mecanismos a través del cual se responden a las preguntas de la investigación y los objetivos propuestos.

En este sentido, la observación directa se planteó como técnica para la recolección de información inherente para el presente estudio, por ello es pertinente traer a colación el planteamiento de Sabino (1992) quien afirma que:

La observación consiste en el uso sistemático de nuestros sentidos orientados a la captación de la realidad que queremos estudiar. Es por ello una técnica antiquísima, cuyos primeros aportes sería imposible rastrear. A través de sus sentidos el hombre capta la realidad que lo rodea, que luego organiza intelectualmente. (p. 110)

Bajo tal apreciación, es posible establecer que la observación fue una herramienta de gran valor en la presente investigación pues permitió tomar como fuente primaria los elementos verídicos que fueron necesarios para el estudio. Es de este modo, como la observación científica, en este caso particular en las instalaciones del complejo de refinación Amuay específicamente en el bloque 29 de dicha planta donde se encuentra la chimenea SK4601, permitió distinguir los aspectos puntuales necesarios para el establecimiento de la necesidad del diseño de reforzamiento de dicha chimenea. Para Sabino (1992) la observación científica

Puede definirse como el uso sistemático de nuestros sentidos en la búsqueda de los datos que se necesitan para resolver un problema de investigación. Dicho de otro modo, observar científicamente es percibir activamente la realidad exterior con el propósito de obtener los datos que, previamente, han sido definidos como de interés para la investigación. (p. 111)

En un mismo orden de ideas, también es posible advertir el empleo de la entrevista como técnica para la recopilación de información, concebida por Sabino (1992) como un procedimiento, de uso muy generalizado y de aplicaciones diversas (p. 110). Además el mismo autor explica que consiste

en una interacción entre dos personas, una de las cuales (el investigador) formula determinadas preguntas relativas al tema en investigación, mientras la otra (el investigado) proporciona verbalmente o por escrito la información que le es solicitada.

La entrevista no estructurada, por su parte es caracterizada por el margen de libertad que posee, de lo cual advierte Acosta y Otros (2004) que “no se guían por un cuestionario o modelo rígido, sino que discurren con cierto grado de espontaneidad, mayor o menor según el tipo concreto de entrevista que se realice” (p. 118).

Las fuentes secundarias de la presente investigación, se encuentran representadas por la revisión de derivados bibliográficos de interés, en tal sentido Acosta y Otros (2004) señalan que el análisis de documentos puede concebirse como una de las “técnicas basadas en fichas bibliográficas que tiene como propósito analizar material impreso” (p. 39).

3.5. Técnicas para el Análisis de la Información

El análisis es concebido como un proceso que permite descomponer de forma sistémica elementos de interés, Sabino (obt. Cit) opina que para desarrollar la tarea analítica hay que “tomar cada uno de los datos o conjuntos homogéneos de datos obtenidos, e interrogarnos acerca de su significado, explorándolos y examinándolos mediante todos los métodos conocidos, es un trabajo que para obtener los mejores frutos debe ser paciente y minucioso” (p. 142).

Tomando en consideración tales apreciaciones, el presente estudio se fundamentó en un análisis cualitativo de los datos recolectados, siendo inherente la postura de Hernández, Fernández y Baptista (2006) quienes afirman que “el enfoque cualitativo utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación” (p 8). Así mismo, se llevó a cabo una organización

y codificación de los datos que finalmente arrojaron las conclusiones pertinentes al estudio.

En función de lo anterior, el análisis de contenido de acuerdo con ideas de Sabino (obt. Cit) es considerada como “una técnica de investigación que se basa en el estudio cuantitativo del contenido manifiesto de la comunicación” (p.123) por lo anterior, se hizo uso de categorías que se correspondieran con la diferentes expresiones, pensamientos, o elementos expresivos que se reprodujeron de forma permanente en el proceso investigativo, y que fueron utilizados con apoyo en el programa SAP2000.

3.6. Operacionalización de los Objetivos

3.6.1. Objetivo General

Proponer el diseño de una chimenea de concreto reforzado de uso industrial en sustitución de la chimenea SK - 4601 del complejo de refinación Amuay Punto Fijo Estado Falcón.

Objetivo Especifico	Variables	Dimensión	Indicadores
Identificar la realidad del caso de la chimenea SK4601 a través de la revisión y análisis del informe técnico No. 312026	Estado actual de la chimenea SK4601	- Fuste de concreto - Grietas - Desprendimiento e hinchamiento - Puertas (nivel +28 y +41) - Anillo interno de ladrillos. - Linea de flexigas	- Fuego dentro de la chimenea - Grosor del fuste de concreto. - Entrada de humo y fuego. - Zonas de concreto y áreas circundantes. - Agrietamientos severos - Ladrillos antiácidos derrumbados. - Inexistente - Aberturas en la entrada
Describir las fases de evaluación de las extracciones y ensayos hechas al concreto de la	Evaluación del Concreto	Resistencia a la compresión	- Lecturas ultrasónicas indirectas y directas en campo. - Extracción de núcleos de

chimenea SK – 4601.	Reforzado de la Chimenea SK4601		concreto. - Ensayo de Fenolftaleína. - Ensayo de ultrasonido en núcleos de concreto. - Ensayos a compresión de núcleos de concreto.
Determinar los factores de riesgo y vulnerabilidad estructural que conllevan a establecer la necesidad de reconstrucción de la chimenea SK4601.	Factores de riesgo y vulnerabilidad estructural	- Solicitaciones del viento - Vulnerabilidad sísmica	- Estabilidad contra el volcamiento. - Estabilidad contra el deslizamiento. - Clasificación Grupo A (COVENIN 2003 – 89). - Localización. - Personas expuestas - Impacto ambiental - Perdidas económicas

Diseñar un nuevo modelo de Chimenea con apoyo en el programa SAP2000V19.	Modelo de Chimenea para sustituir a la SK4601	- Datos sobre los gases a evacuar - Datos sobre la zona de ubicación de la chimenea	- Temperaturas - Composición química. Gases contaminantes. - Viscosidad y calor específico. - Altitud - Temperaturas ambientales. - Solicitaciones de viento por velocidades - Solicitaciones de viento por estabilidad. - Velocidad básica del viento de diseño. - Coeficiente sísmico básico - Resistencias características - Pesos específicos - Conductividades térmicas.
---	--	--	--

		- Datos sobre los materiales a emplear	
--	--	--	--

Tabla N°5. *Operacionalización de los Objetivos.* **Fuente:** Valbuena, F (2017)

CAPÍTULO IV

PROYECTO DE DISEÑO DE SK – 4601

Diseñar representa una muestra de trabajo sistémico y estructurado, que amerita el desarrollo de etapas que conlleven al planteamiento adecuado de una propuesta que pueda ser desarrollada de forma viable y concisa. En tal sentido, el presente trabajo de investigación deja en evidencia un camino a seguir para el reforzamiento de la Chimenea SK – 4601 específicamente en el bloque 29 de la Refinería Amuay del Complejo de Refinación Paraguaná, propiedad de PDVSA, Municipio Los Taques Península de Paraguaná, Estado Falcón. A continuación, se presentan los datos de relevancia a ser considerados relacionados con las dimensiones de la chimenea y selección de los materiales necesarios con base en el diseño original de dicha chimenea.

4. Criterios Generales del Diseño

4.1. Breve Descripción del Diseño Original

La Chimenea SK – 4601 es la gemela de la chimenea SK-4602 ubicadas en el bloque 29 de la Refinería Amuay geográficamente localizada en el Municipio Los Taques del Estado Falcón, dichas chimeneas en concreto reforzado fueron instaladas en el año 1979 con el propósito fundamental de servir como puerta para el desahogo de los gases productos de la combustión provenientes de las cinco (05) calderas del bloque 29 y al mismo tiempo ventear el flujo excedente de flexigas proveniente de la unidad FKAY en los casos de arranque y de operación normal, entran en funcionamiento con una base de diseño original que incluyó:

- Fundación de las Chimeneas
- Estructura del Fuste
- Aislamiento Refractario
- Pieza de Coronación
- Escaleras y Plataformas en Chimeneas
- Sistema de Protección de Descargas Eléctricas y Atmosféricas
- Sistema de Luces y Señalización para Aviación
- Sistema de Iluminación de Plataformas y Escaleras

- Permisología ante Organismos Competentes

En los aspectos concernientes al diseño, es preciso destacar que para la fundación se usó un concreto de resistencia a los 28 días de $f'c = 210 \text{ k/cm}^2$ y para el fuste un concreto de resistencia a los 28 días de $f'c = 280 \text{ k/cm}^2$. La Altura de las chimeneas fue de 90m medidos desde el nivel de pavimento adyacente. El diámetro interno de las chimeneas en su tope superior es de 3,80m. Las chimeneas fueron diseñadas para permitir una descarga máxima de $685.820 \text{ m}^3/\text{Horas}$ de los gases provenientes de las calderas a una temperatura de entrada máxima aproximada de 177°C y una temperatura máxima de salida de 140°C .

La chimeneas fueron calculadas para una zona sísmica N°2 con un factor de importancia de $K=2$. Del mismo modo, las plataformas y escaleras fueron diseñadas con anclaje de acero inoxidable. En cuanto a la velocidad del viento máximo es de 85mph y velocidad media 40mph. El material refractario y los demás accesorios internos fueron considerados en función de la resistencia a los gases producto de la combustión de gas natural o maroil. Este último combustible contiene 2.2 a 2.5% en peso de azufre.

Las especificaciones anteriores, demuestran los requerimientos iniciales en el diseño de la chimenea objeto de estudio tomando como referencia los requerimientos aplicables de las normas que se mencionan a continuación:

BP- 4 – 5- 2	Reinforced concrete chimneys, Exxon Research and engineering company.
BP – 4 – 6 – 1	Reinforced concrete foundation Exxon Research and engineering company
BP – 4 – 1- 5	Wind desing loads, Exxon Research and engineering company
BP – 4 – 9 – 1	Site Preparation and earthwork
BP – 4 – 1 – 6	Earthquake desing loads, Exxon Research and engineering company
BP – 4 – 1 – 1	Concrete selection and desing criteria, Exxon Research and engineering company

DEP 34.24.27.31	Gen. Reinforced concrete stacks, Royal Dutch/shell group.
DEP 64.24.32.30	Gen. Insulation refractory concrete linings Royal Dutch/shell group.
ACI 307 – 79	Specification for the desing and construction of reinforced concrete chimneys.
NRC 3057/3058	Norma Refinería Cardón – Luces de Señalización
NRC 3049	Norma Refinería Cardón – Sistema de pararrayos en Chimeneas Industriales
NCR 3050	Norma Refinería Cardón – Protección contra Rayos Detalles
BP – 16 – 4 – 1	Grounding and overvoltage protection, Exxon Research and engineering company
Annex 14 – chapter 6	Convention of international civil aviation

Tabla 6. Normas Aplicables al Diseño Original de la Chimenea SK4602. **Fuente** Valbuena, F (2018)

4.2. Propuesta de Diseño para la Chimenea SK-4601

El trabajo investigativo, deja como resultado una serie de aspectos que permiten establecer finalmente qué elementos son necesarios modificar, mantener o considerar, en tal sentido, el presente trabajo de investigación deja la posibilidad, posterior a los estudios realizados al concreto de la Chimenea SK4601, de establecer la necesidad de reforzamiento debido a la baja resistencia del concreto que la constituye, tomando en cuenta y como ya ha sido ratificado a lo largo de la evolución del presente estudio que parte importante de la estructura soporte presenta fallas debido al evento ocurrido dentro del ducto. Es a partir de lo anterior, que a continuación se coloca en evidencia los elementos relevantes de dicho reforzamiento:

4.3. Bases de Diseño

En líneas generales, las chimeneas industriales poseen formas troncocónicas con pendientes que oscilan entre 1/50 a 1/100, siendo la que con

mayor frecuencia se usa la 1/75 con diámetros exteriores sujetos a variaciones lineales a lo largo de la chimenea con el fin de proporcionar una construcción más fácil.

En tal sentido, es necesario considerar los siguientes aspectos del caso específico de la Chimenea SK4601:

- Longitud de la Chimenea: 350 Ft
- Diámetro interno de la chimenea: 240 pulgadas
- Velocidad permitida de los gases de combustión a condiciones estándar: 66 Ft/s
- Temperatura de rocío del SO_x: 280 °F
- Casos de operación: Se preveen los siguientes escenarios de operación en las instalaciones del bloque 29 y FKAY que deben ser considerados en el diseño de la nueva chimenea. (Ver Tabla. 7)
 - **Caso I (Nominal):** Debe tomarse en cuenta la producción de gas de combustión proveniente de cinco calderas con su economizador en operación modo 85/15 Flexigas/gas de refinería con una producción de 471 Klb/h de vapor cada una y un venteo 10 MMPCSD de flexigas. Este caso es considerado como el más óptimo.
 - **Caso II (Economizadores desviados):** en dicho caso se considera la producción de gas de combustión proveniente de cinco calderas con su economizador desviado en operación modo 85/15 Flexigas/gas de refinería con una producción de 419 Klb/h de vapor cada una y un venteo 10 MMPCSD de flexigas. Este caso representa la más alta temperatura a la cual los gases de combustión entran a la chimenea.

A propósito de la temperatura, es preciso mencionar que la mayor frecuencia de la misma se observa en la parte inferior de la chimenea vista lado oeste por debajo de la plataforma metálica con 75 °C, mientras que la promedio esta entre 45 y 57 °C.

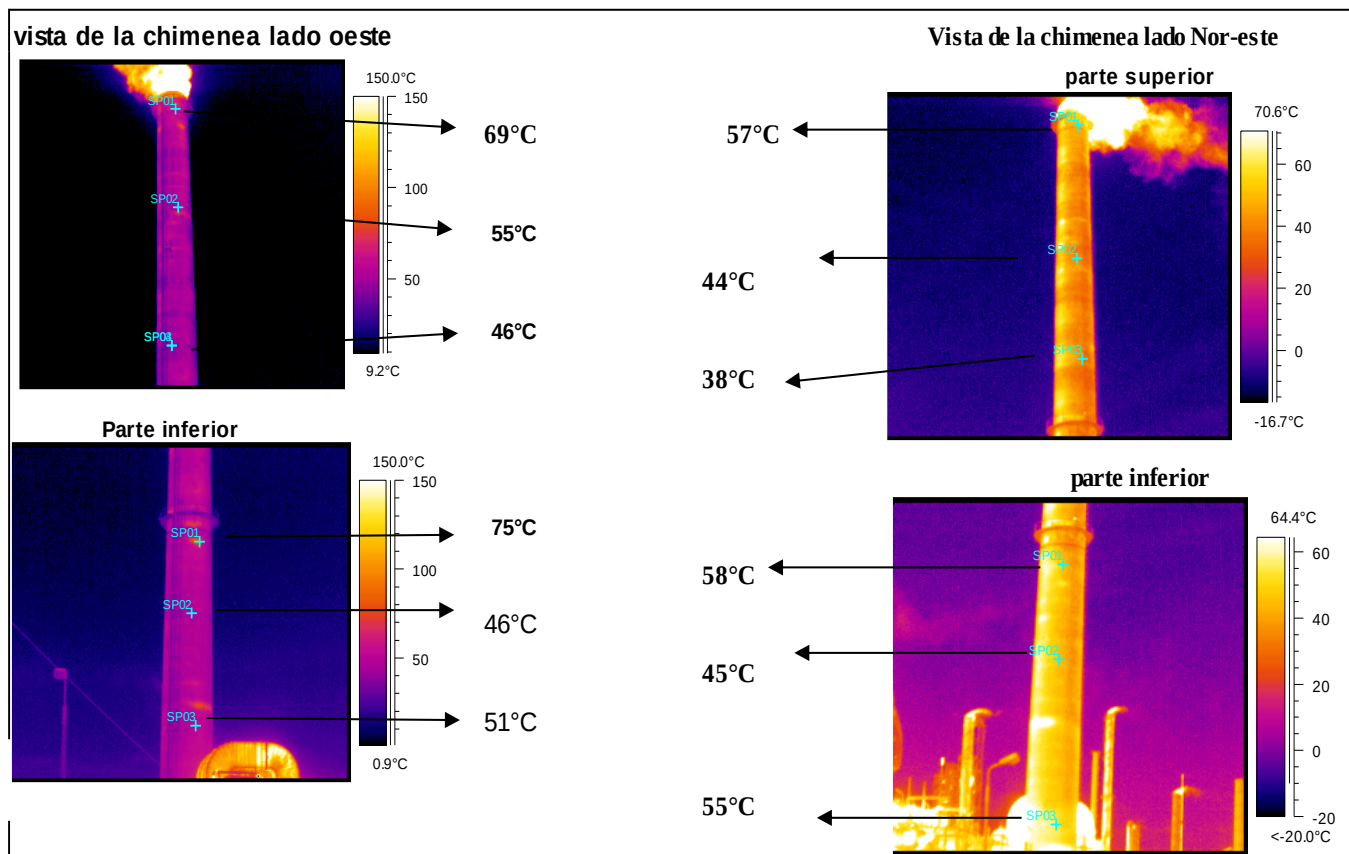


Figura 7. Inspección por Termografía. Fuente: Valbuena, F (2018)

- **Caso III (Arranque de FKAY):** Se toma en cuenta la producción de gas de combustión proveniente de cinco calderas con su economizador en servicio y en operación modo gas de refinería con una producción de 471 Klb/h de vapor cada una y un venteo de 490 MMPCSD de flexigas.
- **Caso IV (Mínimo flujo de gas):** en relación a este caso, se toma en cuenta la producción de gas de combustión proveniente de cuatro calderas con su economizador en servicio y en operación modo gas de refinería con una producción de 35 Klb/h de vapor sin venteo de flexigas.
- En relación al **caso I**, es necesario destacarle como el dominante para el diseño, sin embargo, las condiciones (circunstanciales) previstas en los

casos II, III y IV deben ser revisadas de manera que pueda asegurarse que el nuevo diseño pueda manejarlas sin alterar la filosofía del diseño seguro.

- Cada caso contempla el desalojo de los gases de combustión a través de una chimenea en servicio mientras que la otra se encuentra en reparación.
- El caso de máxima temperatura considera a los economizadores fuera de servicio y el de mínima temperatura considera a los economizadores en servicio (operación más óptima).
- La composición utilizada para el flexigas es considerando a LFAY fuera de servicio donde se esperan altas concentraciones de SO_x y H₂S.

		Caso I (Nominal): 5 calderas en servicio 85/15 FGX/GR + Venteo 10 MMPCSD FGX con Economizadores en Servicio			Caso II Temperatura máxima y flujo máximo 5 calderas en servicio 85/15 FGX/GR con Economizadores F/S + Venteo 10 MMPCSD FGX			Caso III: Temperatura mínima 5 calderas en servicio gas de refinería + Venteo 490 MMPCSD FGX			Caso IV: Flujo mínimo 4 calderas a 75 % solo gas de refinería con E/S sin venteo de FGX	
Variables	Unidades	FGX	GASCHIM	GASCALD	FGX	GASCHIM	GASCALD	FGX	GASCHIM	GASCALD	GASCHIM	GASCALD
Flujo Masico	Lb/h	27.138	4.155.592	4.128.454	27.138	4.155.592	4.128.454	1.332.422	3.739.848	2.407.427	1.697.562	1.697.562
Temperatura	F	125	391	393	125	658	662	136	280	359	346	346
Presión	PSIA	14,70	14,70	14,70	14,700	14,699	14,699	14,700	14,700	14,711	15	15
Peso Molecular		25	29	29	25	29	29	25	27	28	28	28
Flujo Volumétrico Actual	MMPCD	11	2154	2142	11	2831	2819	561	1792	1223	861	861
Flujo Volumétrico Estándar	MMPCSD	10	1316	1306	10	1316	1306	490	1267	777	556	556
CP	BTU/Lb-°F	0,2929	0,2689	0,2687	0,2929	0,2796	0,2796	0,2913	0,2794	0,2733	0,2708	0,2708
Densidad	Lb/Ft3	0,0579	0,0463	0,0462	0,0579	0,0352	0,0351	0,0570	0,0472	0,0501	0,0473	0,0473
Conductividad Térmica	BTU/h-Ft-°F	0,0220	0,0206	0,0206	0,0220	0,0267	0,0267	0,0231	0,0215	0,0198	0,0198	0,0198
Viscosidad	Lb/Ft-h	0,0428	0,0568	0,0569	0,0428	0,0700	0,0701	0,0441	0,0507	0,0545	0,0547	0,0547
Factor C			0,1814			0,19783659			0,0970966		0,1802	0,1802
HC (coeficiente de transf calor gas)	BTU/h Ft2 °F		4,5355			4,95			2,23		2,2007	2,2007
Velocidad condiciones actuales	Ft/s		79,3583			104,30			66,03		31,7221	31,7221
Velocidad condiciones estándar	Ft/s		48,4872			48,49			46,69		20,4663	20,4663
Presión del aire a la entrada del soplador	Pulg de H2O		-1,1				-1,1			-1,16		-0,65
Presión del aire a la salida del soplador	Pulg de H2O		17,2				18,27			11,73		6,57
Presión de entrada de gases a chimeneas	Pulg de H2O		0,08				0,31			0,09		0,06

Tabla 07. Casos de Operación previstos para la Chimenea SK-4601. Fuente: Manual de las Calderas del Bloque29

Es de hacer notar, que los casos propuestos señalan la construcción de la chimenea en concreto reforzado ya descrita, con un ducto interno de acero inoxidable según el modelo de chimenea tipo D de la especificación técnica DEP 34.24.27.31-Gen. El diseño que se requiere pretende el uso de las fundaciones circulares existentes de la antigua chimenea las cuales se encuentran en excelente estado.

Del mismo modo, es importante resaltar que la nueva chimenea no sufrirá modificaciones en cuanto a su elevación, diámetro o variables de proceso, sin embargo los datos referentes a ello son de vital relevancia para la propuesta del acero de refuerzo o reforzamiento de la chimenea. También es preciso advertir que el mayor deterioro de la chimenea se encuentra ubicado en el fuste de concreto. La principal modificación entonces, vendría a darse en el ducto interior el cual estaba construido con ladrillos refractarios.

4.4. Especificaciones

4.4.1. Fase de Diseño

- Empalme del fuste de concreto y nuevas estructuras con la fundación de concreto existente. Para ello es necesario contar con los planos de fundaciones existentes y los datos de los estudios de suelo existentes en la zona. A continuación, se presenta dicha información:

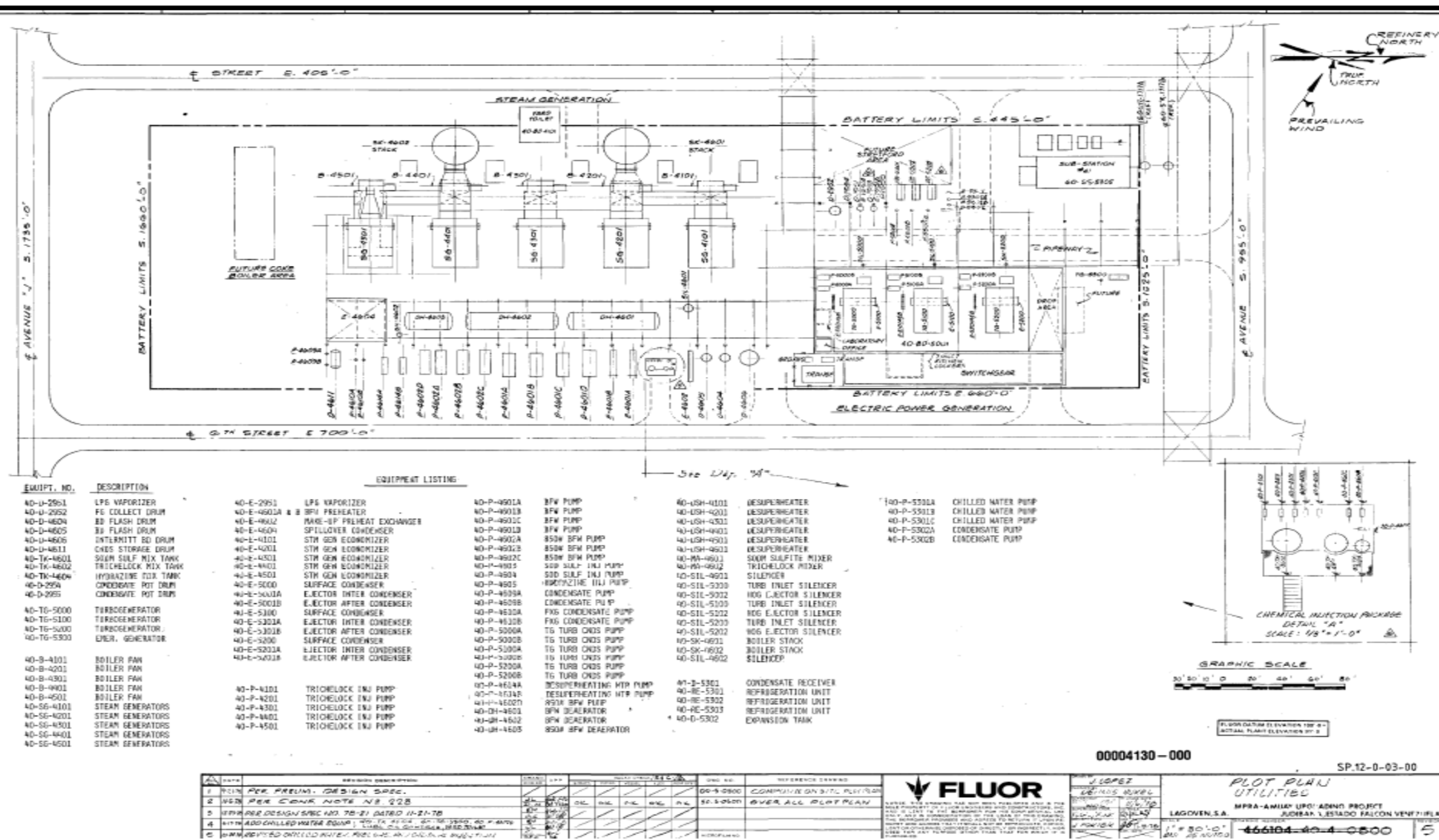


Figura 08. Planos del bloque 29. Fuente: Valbuena, F (2018)

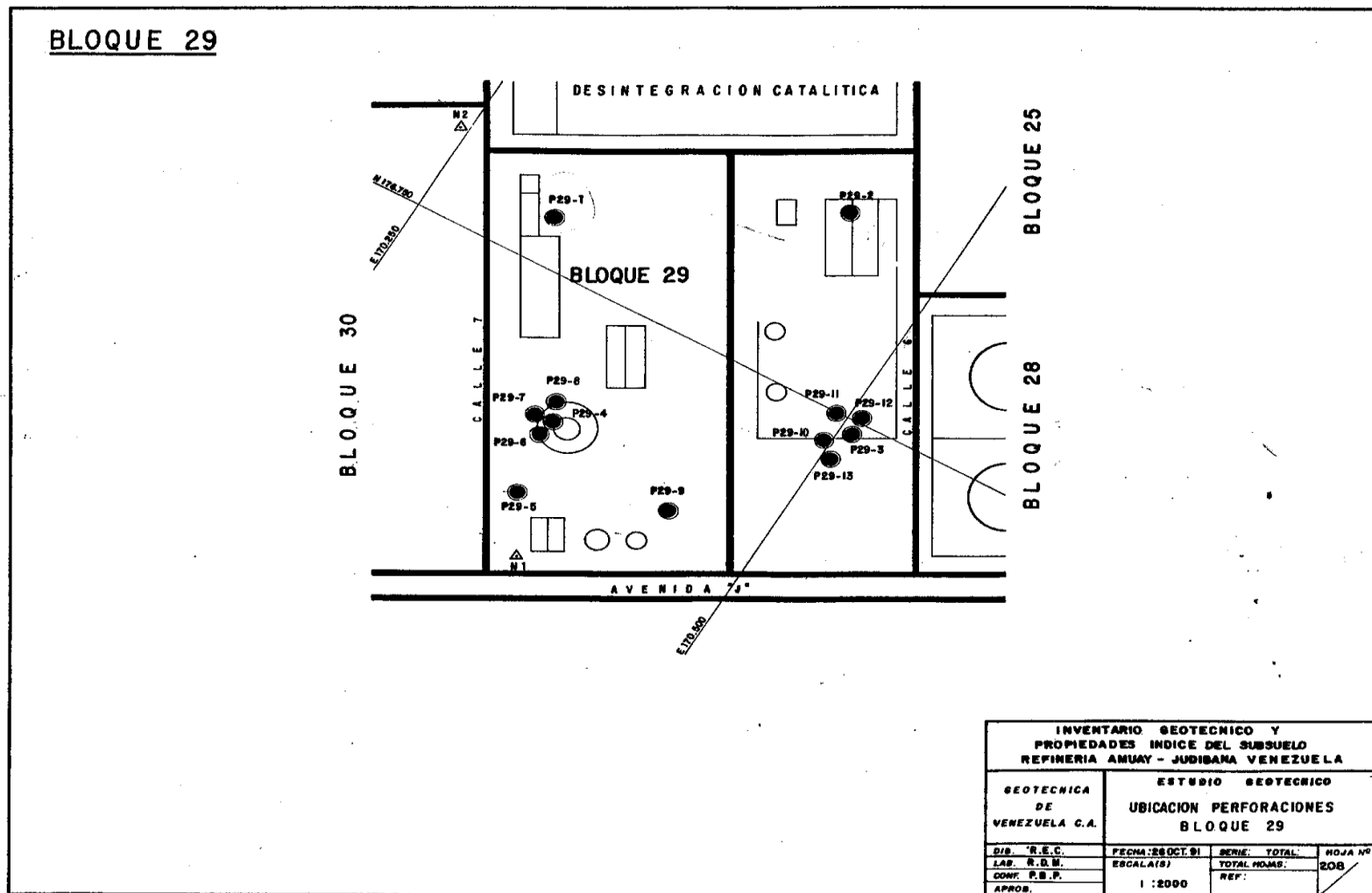


Figura 09. Ensayos de Suelo Bloque 29. Fuente: Valbuena, F (2018)

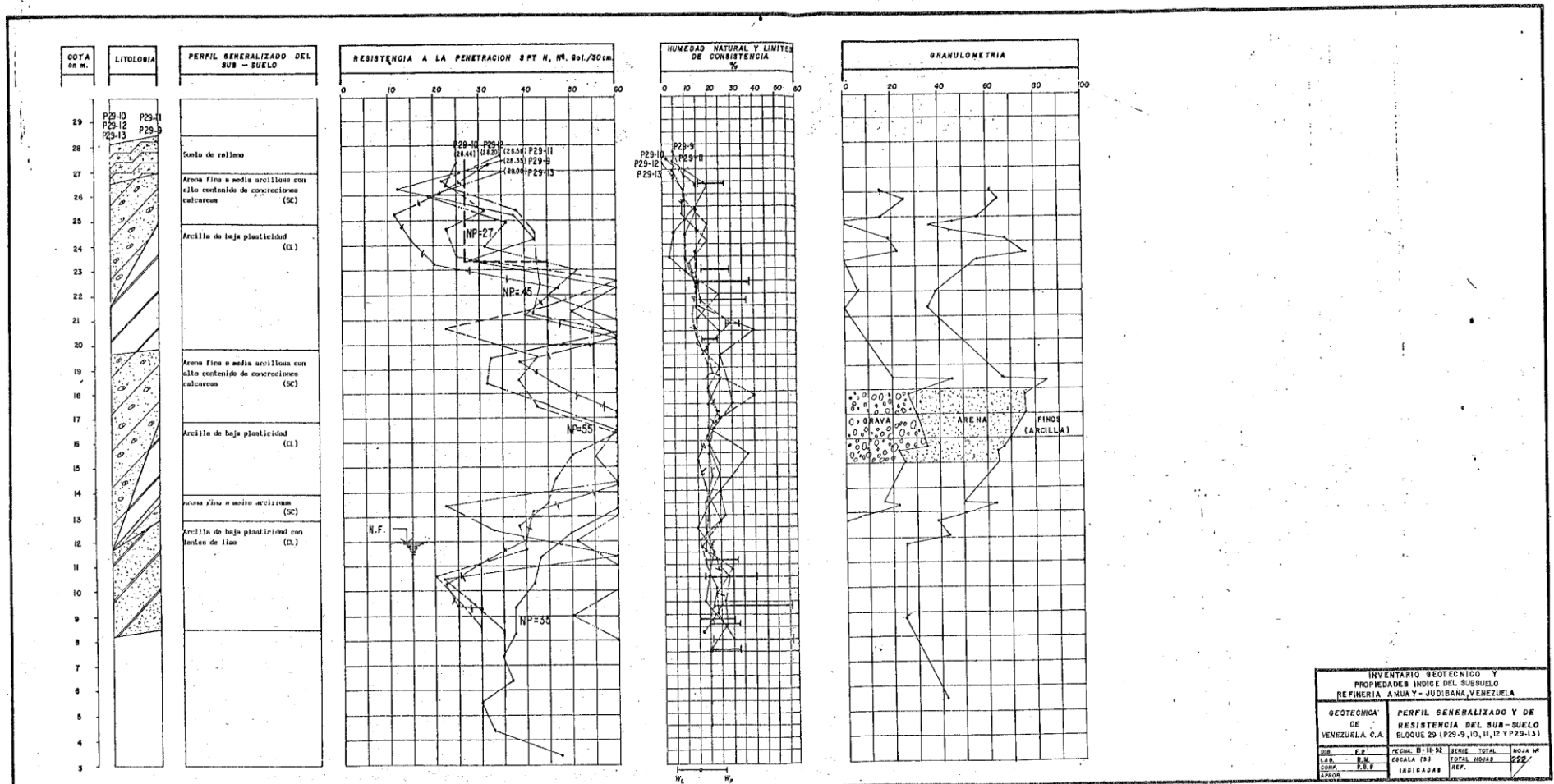


Figura 10. Ensayos de Suelo Bloque 29. Fuente: Valbuena, F (2018)

- Estructura del fuste
- Ductos internos de gases
- Aislamiento del ducto interno
- Pieza de coronación
- Escaleras y plataformas de acceso
- Sistema de protección de descargas eléctricas y atmosféricas
- Sistema de luces y señalización
- Iluminación de escaleras y plataformas

Para el desarrollo del diseño se deberán tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Altura de la Chimenea:

Se encuentra determinada por ciento seis metros (106m), medidos desde el nivel del suelo. (Descarga de gases a la atmosfera). Dicha altura corresponde al diseño original de la chimenea y es un aspecto que no requiere modificación.

2. Diámetro del fuste de concreto:

En cuanto a dicho aspecto, el diámetro externo constante es de nueve metros, sesenta centímetros (9,60m). El espesor del fuste puede variar de acuerdo con la altura de la chimenea. Es de hacer notar que el diámetro externo debe ser constante en toda la elevación.

El diámetro específico (9,60m) podrá ser aumentado o disminuido según requiera el diseño, siempre y cuando se tome en cuenta las consideraciones idóneas para la adaptación a los arranques del acero de refuerzo de la fundación ya existente la cual posee un diámetro igual al ya mencionado.

3. Diámetro del ducto

Corresponde a seis metros, diez centímetros (6,10m). Será necesario realizar un chequeo de dicho diámetro con el fin de cumplir con la norma propuesta en AMGI-15-1074, de ser necesario se modificará el diámetro inicialmente indicado según diseño.

4. Material del ducto interno

El ducto interno de la chimenea estará compuesto por siete secciones (troncos) conformados por ladrillos refractarios antiácidos preformados, bajo la Norma DIN-1057 Tipo S4. Estos deben ser fabricados a medida con un sistema de machihembrados. Estos cambios respecto del diseño original de las chimeneas, no deberán impedir ni entorpecer la instalación de los troncos de ladrillos refractarios.

Así mismo, los ladrillos estarán unidos entre sí con mortero antiácido de silicato de potasio y posteriormente serán recubiertos externamente con un sistema de refuerzo metálico, además de una capa de aislamiento térmico tipo manta de vidrio celular expandido (foam glass). Cada tronco de ladrillos será independiente uno del otro y descansará sobre una viga de concreto apoyada sobre mensuras de concreto prefabricadas, toda la parte superior de la viga estará cubierta con láminas de plomo de 2mm de espesor para proteger la estructura de concreto del ataque de los ácidos. Sobre las láminas de plomo se construirán los troncos de ladrillos refractarios antiácidos.

5. Juntas de expansión:

La unión entre cada sección de ladrillos (troncos), será sellada mediante juntas de dilatación o expansión. Las mismas estarán conformadas por:

- PTFE FLUO-LFP: Junta de expansión cónica, monocapa, de fluoropolímero (PTFE) según norma ASTM D-3293, reforzado con fibra de vidrio laminada internamente con MULTIDIRECTIONAL-LFP y externamente con impregnación fluoropolimérica.
- Dos (02) bandas de acero inoxidable AISI 316, de 50mm x5mm, en secciones para cubrir la totalidad de la circunferencia.
- Dos (02) Juntas de sellado de PTFE compresible.
- Anclajes de fijación mecánica de acero inoxidable de 1/4" de diámetro, tuercas y arandelas de fijación.

6. Sistema de refuerzo de secciones de ladrillos (truncos):

Se propone un sistema de refuerzo externo, para mantener comprimidas las secciones de ladrillos refractarios a fin de brindar un mejor comportamiento ante las sobrepresiones de los gases que eventualmente se han detectado en la chimenea en servicio. El sistema de refuerzo estará conformado por mallas electrosoldadas de acero tipo truckson de 150mmx150mmx6mm, $F_y=5000\text{Kg/cm}^2$, según ASTM A-185 o equivalente, instaladas en toda la superficie exterior de las secciones de ladrillos refractarios (truncos).

Estas mallas serán tensadas una vez completada su instalación con una fuerza de 3300Kg por cada metro de longitud del tronco de ladrillos (3300Kg/m). Para llevar a cabo el tensado de la malla de refuerzo y garantizar que la misma mantenga esta tensión durante los cambios de temperatura que la dilatan, conjuntamente con un sistema de cierre o unión de estas mallas que incorpore resortes de compresión y espárragos de unión. El diseño incluye los elementos de fijación de la malla a los sistemas de cierre de manera de garantizar la transmisión de esfuerzos de forma uniforme en la totalidad de las mallas. (Ver planos esquemáticos de refuerzo propuesto SK4601/2-M01 y SK4601/2-M02). La malla será colocada evitando uniones o solapes de las barras horizontales (un solo tramo).

Se permitirá el solape o unión de las mallas en sentido vertical. Para el refuerzo del tronco N°1, se deberán diseñar elementos especiales para las aberturas correspondientes a la línea de flexigas ($\varnothing 48''$) y la entrada del ducto de gases (10.380mm x 4180mm), donde la malla de refuerzo no podrá estar presente. Los elementos diseñados deberán transmitir la tensión de la malla al lado opuesto de la abertura, una vez ésta haya sido salvada. Estos elementos deberán diseñarse a partir de elementos estructurales de acero al carbono, livianos, de ser necesario dispuestos en forma reticulada. Previo a la instalación de las mallas, los elementos de acero para ajuste y cierre, y los demás elementos que conforman el sistema de refuerzo, deberán ser limpiadas y pintadas de acuerdo al sistema de pintura N°5 de la norma PDVSA O-201.

7. Drenaje superior:

Se deberá diseñar un drenaje para la captación y descarga de agua de lluvia desde el tope de la chimenea hasta el drenaje de aguas sucias de la planta a nivel de piso. Se tomará como intensidad de precipitación de diseño de 50.8mm/h. En la parte superior, el sistema de drenaje deberá poseer un canal de captación perimetral que impida el escurrimiento de agua de lluvia proveniente del tope por los laterales de la chimenea. Los materiales a usar en los canales y tuberías de este sistema deberán ser capaces de resistir el ataque ácido producido por los derivados de compuestos de azufre presentes; por lo que se sugiere usar acero inoxidable AISI 316 para los elementos externos y PVC de alto espesor para las tuberías internas.

8. Drenaje interior:

Se deberá diseñar un sistema de captación y disposición de los líquidos condensados dentro de la chimenea y el exceso de agua asociados al flexigas y gases de combustión de las calderas. Este debe ser conectado al Sistema de Tratamiento de Aguas Agrias de la Refinería de Amuay. Se deberá realizar una revisión completa del diseño original de éste sistema de drenaje a fin de realizar los cambios necesarios (Diámetro, configuración o principio de funcionamiento) a fin de evitar los taponamientos del drenaje producidos por el arrastre de sólidos en este sistema. Esto debido a que existen reportes de problemas de funcionamiento durante el tiempo de operación de las chimeneas originales.

El caudal en este sistema de drenaje y la cantidad de sólidos arrastrados necesarios para el diseño, serán calculados a partir de las variables operacionales emitidas por ingeniería de procesos en documento AMYGIP-16 - 0933, para el caso de operación más desfavorable.

9. Elementos de protección en tope de la chimenea (Capping o Ghizas):

Se propone el uso de material ASTM A- 532 Clase I Type C.

10.Aberturas de entrada:

Las propuestas de la nueva chimenea deberán poder adaptarse a los ductos de descarga, tanto de gases de caldera como de flexigas (Fx) existentes, cuyas dimensiones se especifican a continuación: ducto de gases de calderas 34'-1" x 13'-9" (10.380mm x 4180mm) y la línea de Ø 48" con servicio de flexigas.

11.Modificación ducto de descarga de flexigas (Fx):

Se modificará la configuración de la descarga en el interior de las chimeneas de las líneas de flexigas, extendiendo su punto de descarga hasta la elevación del ducto de gases de caldera. Para esto se tomará como referencia el plano "Línea de flexigas en la chimenea SK-4602" (anexo).

Se podrán realizar modificaciones a la configuración mostrada y su sistema de soporte, siempre que se logre el objetivo planteado. Se recomienda que este diseño sea aprobado por el departamento de Ingeniería de Plantas de la Refinería (GII-IP)

12.Facilidades para la toma de muestras de gases en las chimeneas del BQ.29:

Las facilidades, conexiones y equipos para la recolección de muestras de flexigas y gases de combustión de las calderas del BQ.29 que son descargadas a la atmosfera a través de las Chimeneas SK-4601 y SK-4602 respectivamente, será diseñadas conforme a lo establecido en las normas técnicas y en particular, a lo indicado en la Norma COVENIN 1649:1996 "Chimeneas y Ductos. Determinación de la ubicación y número mínimo de puntos de muestreo". El diseño no estará limitado a las conexiones únicamente, tampoco a los sistemas de apertura y cierre seguro.

13.Monitoreo de temperatura:

Se debe suministrar e instalar, un sistema de monitoreo de temperatura de la superficie interna del concreto armado de la chimenea (fuste), con la finalidad de alertar ante la eventual ruptura en alguna de las secciones del ducto de ladrillo refractario la cual puede elevar considerablemente la

temperatura de la superficie del concreto y provocar su degradación. Para esto se prevé instalar tres dispositivos para monitoreo de temperatura (termocuplas tipo “K”) de rango 0°C a 1000°C. Las termocuplas serán instaladas en termopozos bridados, que atraviesen el fuste de concreto, de forma tal que permitan medir la temperatura en la cara interna del concreto en los niveles 9 m, 25 m y 54 m. Este sistema deberá ser conectado al sistema de señales correspondiente para el monitoreo remoto de estas temperaturas.

14. Plataformas y Escaleras de Acceso

En relación a las plataformas y escaleras de accesos es necesario instalar escaleras metálicas de acceso para el interior y exterior de las chimeneas. Se procurará mantener la configuración y modelos de las plataformas de las chimeneas originales (Ver planos anexos), con la diferencia que deberán adicionarse plataformas y escaleras para acceder externamente a cada puerta de la chimenea, desde el nivel +54,00m al nivel +103,60m.

Todos los elementos que conforman las plataformas y escaleras serán de Acero al carbono A-36, galvanizados en caliente (900 Gr/m²) según ASTM A-153 y posteriormente pintados según sistema N° 11 de la Norma PDVSA O-201. Al igual que en el diseño original, se instalarán dos plataformas circulares externas de 360° cada una, ubicadas en el nivel +54,00m y en el nivel +103,60m de la chimenea. Estas plataformas contarán con un sistema de guía (riel) inferior que permita la instalación de una plataforma móvil colgante para ser utilizada en actividades de pintura y mantenimiento externo del fuste de concreto. Considerar una carga total mínima de diseño para la plataforma colgante de 2 Ton. Se deberá suministrar el Trolley y polipastos recomendados para instalar en esta plataforma.

El piso de las plataformas estará conformado por láminas estriadas de acero al carbono de ¼” de espesor, galvanizadas en caliente y posteriormente pintadas de acuerdo al sistema N°11 de la norma PDVSA O-201. Todas las láminas contarán con perforaciones para evitar la acumulación de agua en su superficie. Todas las plataformas y escaleras deberán poseer elementos de

anclaje embebidos en el concreto reforzado, compuesto por elementos de acero inoxidable AISI 316.

15. Sistema de señalización

Dicho diseño debe estar apegado a la normativa internacional vigente, con la necesaria duplicación de luminarias. También será necesaria la pintura de señalización también sujeta a la norma internacional.

16. Sistema de pararrayos

Requiere instalación, diseño y suministro completo, con excepción de los pozos de tierra.

17. Iluminación

Es necesario el diseño de un sistema de iluminación que se corresponda con la totalidad de las plataformas de acceso a la chimenea, para ello se hará necesario el empleo de dispositivos Clase 1, División 2.

18. Concreto estructural

En lo concerniente a la reconstrucción del fuste y demás elementos estructurales la resistencia del concreto será igual o superior a los $f'_c=300\text{Kg/cm}^2$ a los 28 días. Será necesario la incorporación de aditivos inhibidores de corrosión y microsilíce a toda mezcla de concreto.

19. Acero de refuerzo

Para la totalidad de los elementos estructurales de concreto armado, se usarán barras de acero con resaltes de $F_y= 4200 \text{ Kg/cm}^2$ (S-60).

20. Concreto

- El peso específico del concreto armado se considerará igual a $\gamma_c=2400 \text{ Kg/m}^3$.
- Módulo de Elasticidad: será determinado por $E_c = 15100 \sqrt{f'_c}$
- Para concreto de peso específico normal $W_c = 2500 \text{ Kg/m}^3$.
- Relación de Poisson = 0.15 - 0.20.

En un mismo orden de ideas, se presenta continuación la propuesta y configuración del acero de refuerzo en cada elemento Shell en función del momento generado M11 y M22 y acero mínimo, simulado en SAP2000:

Posición del acero de refuerzo	Designación de la cabilla	Espaciamiento	Tramo de la chimenea
As Interno Vertical	#4 ($\varnothing$ 1/2")	@ 7"	En toda la altura (106m)
As Externo Vertical	#8 ($\varnothing$ 1")	@ 8"	De 0,00m a 39,65m
	#5 ($\varnothing$ 5/8")	@ 8"	De 39,65m a 106,56m
As Interno / externo Horizontal	#4 ($\varnothing$ 1/2")	@ 4"	De 0,00m a 6,50m
	#4 ($\varnothing$ 1/2")	@ 6"	De 6,50m a 39,65m
	#3 ($\varnothing$ 3/8")	@ 6"	De 39,65m a 62,85m
	#3 ($\varnothing$ 3/8")	@ 8"	De 62,85m a 106,00m

Tabla N°08. Resumen de Acero de Refuerzo de la Chimenea. **Fuente:** Valbuena, F (2018) Elemento de Área tipo SHELL cargado en SAP2000.

Resistencia F'c de la propuesta (kgf/cm2)	Tramo de la chimenea	Elemento de Área shell
Variable, según ensayos de extracción de núcleos	De 0,00m a 6,5m	Shell 55cm
	De 6,5m a 10,00m	Shell 40cm
	De 10,00m a 39,00m	Shell 40cm
	De 39,00m a 62,00m	Shell 25cm
	De 62,00m a 106,00m	Shell 25cm

Tabla N°09. Resumen de Acero de Refuerzo de la Chimenea. **Fuente:** Valbuena, F (2018)

4.5. Diseño por Viento

De igual forma, el diseño para las acciones de viento es realizado según ASCE/SEI 7-10. Para una velocidad máxima de viento de 137Km/h.

- Clasificación según el uso: Grupo A.
- Factor de importancia eólica: $\alpha = 1,15$.
- Clasificación según las características de respuesta: Tipo III.
- Tipo de exposición: C.

WIND LOADING ANALYSIS - Chimneys, Stacks, and Vertical Tanks Per ASCE 7-02 Code for Cantilevered Structures Classified as Other Structures			
Job Name:	CHIMENEA SK4601	Subject:	TESIS DE GRADO
Job Number:		Originator:	Checker: FV

Input Data:

V =	85	mph (Wind Map, Figure 6-1)
Class. =	III	(Structure Classification from Table 1-1)
Exposure =	C	(Exposure Category from Sect. 6.5.6)
Kzt =	1.00	(Topographic Factor from Sect. 6.5.7)
h =	347.77	ft. (Height of Stack/Tank itself)
Hb =	0.00	ft. (Ht. of Stack/Tank Base Above Ground)
D =	31.43	ft. (Diameter or Width of Surface Normal to Wind)
Shape?	Round	(Round, Hexagonal, or Square)
β =	0.050	(Damping Ratio = 0.010-0.070)
Ct =	0.0180	(Period Coefficient = 0.020-0.035)
Kd =	0.95	(Direct. Factor, Table 6-4)

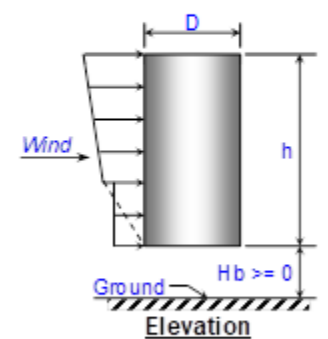


Figura 11. Hoja de cálculo de viento de Chimeneas. Fuente: Tomanovich,A (2001)

Net Design Wind Pressures (Sect. 6.5.13): $p = qz \cdot G \cdot Cf$ (psf)	50.00	1.09	22.10	11.98	376.46
	55.00	1.12	22.55	12.22	384.09
	60.00	1.14	22.97	12.45	391.19
	70.00	1.17	23.72	12.86	404.09
	80.00	1.21	24.40	13.22	415.62
	90.00	1.24	25.01	13.56	426.05
	100.00	1.27	25.57	13.86	435.61
	120.00	1.32	26.57	14.40	452.65
	140.00	1.36	27.45	14.88	467.58
	160.00	1.40	28.23	15.30	480.91
Net Design Wind Forces (Sect. 6.5.13, Eq. 6-25): $F = qz \cdot G \cdot Cf \cdot D$ (lb/ft)	180.00	1.43	28.94	15.69	492.99
	200.00	1.46	29.59	16.04	504.04
	250.00	1.53	31.02	16.81	528.29
	300.00	1.59	32.23	17.47	548.96
	347.77	1.65	33.25	18.02	566.30
Resulting Total Base Shear & Moment:					
$\Sigma V(\text{total}) =$	163.39	kips			
$\Sigma M(\text{total}) =$	30974.97	ft-kips			

Figura 12. Hoja de cálculo de viento de Chimeneas. Fuente: Tomanovich,A (2001)

Determination of Gust Effect Factor, G:

Flexible? $f < 1$ Hz.

1: Simplified Method for Rigid Structure

G =

Parameters Used in Both Item #2 and Item #3 Calculations (from Table 6-2):

α^h =	0.105
b^h =	1.00
$\alpha(\text{bar})$ =	0.154
$b(\text{bar})$ =	0.65
c =	0.20
l =	500 ft.
$e(\text{bar})$ =	0.200
$z(\text{min})$ =	15 ft.

Calculated Parameters Used in Both Rigid and/or Flexible Structure Calculations:

$z(\text{bar})$ =	208.66	= $0.6 \cdot h$, but not $< z(\text{min})$, ft.
$l_z(\text{bar})$ =	0.147	= $c \cdot (33/z(\text{bar}))^{1/6}$, Eq. 6-5
$L_z(\text{bar})$ =	723.03	= $l \cdot (z(\text{bar})/33)^{1/3} \cdot (e(\text{bar}))$, Eq. 6-7
gq =	3.4	(3.4, per Sect. 6.5.8.1)
gv =	3.4	(3.4, per Sect. 6.5.8.1)
gr =	4.100	= $(2 \cdot (\ln(3600 \cdot f)))^{1/2} + 0.577 / (2 \cdot \ln(3600 \cdot f))^{1/2}$, Eq. 6-9
Q =	0.839	= $(1 / (1 + 0.63 \cdot ((B+h)/L_z(\text{bar}))^{0.63}))^{1/2}$, Eq. 6-6

2: Calculation of G for Rigid Structure

G = = $0.925 \cdot ((1 + 1.7 \cdot gq \cdot l_z(\text{bar}) \cdot Q) / (1 + 1.7 \cdot gv \cdot l_z(\text{bar})))$, Eq. 6-4

Figura 13. Hoja de cálculo de viento de Chimeneas. Fuente: Tomanovich,A(2001)

3: Calculation of Gf for Flexible Structure

β =	0.050	Damping Ratio
C_t =	0.018	Period Coefficient
T =	1.448	= $C_t \cdot h^{3/4}$, sec. (Period)
f =	0.691	= $1/T$, Hz. (Natural Frequency)
$V(\text{fps})$ =	124.67	= $V(\text{mph}) \cdot (88/60)$, ft./sec.
$V(\text{bar}, z \text{ bar})$ =	107.62	= $b(\text{bar}) \cdot (z(\text{bar})/33)^{1/3} \cdot (\alpha(\text{bar})) \cdot V \cdot (88/60)$, ft./sec., Eq. 6-14
N_1 =	4.640	= $f \cdot L_z(\text{bar}) / (V(\text{bar}, z \text{ bar}))$, Eq. 6-12
R_n =	0.053	= $7.47 \cdot N_1 / (1 + 10.3 \cdot N_1^{5/3})$, Eq. 6-11
ηh =	10.266	= $4.6 \cdot f \cdot h / (V(\text{bar}, z \text{ bar}))$
R_h =	0.093	= $(1/\eta h) - 1 / (2 \cdot \eta h^2) \cdot (1 - e^{-(2 \cdot \eta h)})$ for $\eta h > 0$, or = 1 for $\eta h = 0$, Eq. 6-13a,b
ηB =	0.928	= $4.6 \cdot f \cdot b / (V(\text{bar}, z \text{ bar}))$
R_B =	0.588	= $(1/\eta B) - 1 / (2 \cdot \eta B^2) \cdot (1 - e^{-(2 \cdot \eta B)})$ for $\eta B > 0$, or = 1 for $\eta B = 0$, Eq. 6-13a,b
ηd =	3.106	= $15.4 \cdot f \cdot L / (V(\text{bar}, z \text{ bar}))$
R_L =	0.270	= $(1/\eta L) - 1 / (2 \cdot \eta L^2) \cdot (1 - e^{-(2 \cdot \eta L)})$ for $\eta L > 0$, or = 1 for $\eta L = 0$, Eq. 6-13a,b
R =	0.195	= $((1/\beta) \cdot R_n \cdot R_h \cdot R_B \cdot (0.53 + 0.47 \cdot R_L))^{1/2}$, Eq. 6-10
G_f =	0.870	= $0.925 \cdot (1 + 1.7 \cdot l_z(\text{bar}) \cdot (gq^2 \cdot Q^2 + gr^2 \cdot R^2)^{1/2}) / (1 + 1.7 \cdot gv \cdot l_z(\text{bar}))$, Eq. 6-8
Use: G =	0.870	

Figura N°14. Hoja de cálculo de viento de Chimeneas. Fuente: Tomanovich,A (2001)

4.6. Diseño Sísmico

En torno a este aspecto, se propone un diseño sísmoresistente de la chimenea utilizando como referencia la norma Venezolana de obligatorio cumplimiento (COVENIN 1756-01) y las normas internas de PDVSA (PDVSA Ja-221, Ja-222, 90615. 1. 013), las cuales se basan en normas internacionales tales como: ACI 307-79.

Según COVENIN 1756:2001	
Zonificación Sísmica	2
Coeficiente de Aceleración Horizontal	$A_0 = 0,15$
Clasificación según el Uso	Grupo A
Factor de Importancia	$\alpha = 1,30$ (Grupo A)
Clasificación según el Nivel de Diseño	ND3
Forma Espectral Tipificada del Terreno	S2
Velocidad Promedio de las Ondas de Corte	$V_{sp} = 250 - 400$
Factor de Corrección del Coeficiente de Aceleración Horizontal	$\varphi = 0,80$
Factor de Magnificación promedio	$\beta = 2,60$
Valores que definen el espectro	$p = 1,0$ $T^* = 0,70 \text{ s}$

Tabla 10. Requerimientos bajo norma COVENIN. Fuente: Valbuena (2018)

Según (PDVSA JA-221, JA-222)	
Aceleración característica de la amenaza sísmica en cada localidad.	25
Valor característico de la amenaza sísmica en cada localidad.	3,75
Clasificación de riesgo	D
Factor de Importancia	$\alpha = 1,30$
Clasificación según el Nivel de Diseño	ND3
Forma Espectral Tipificada del Terreno	S2
Velocidad Promedio de las Ondas de Corte	$V_{sp} > 400$
Factor de Corrección del Coeficiente de Aceleración Horizontal	$\varphi = 0,95$
Factor de Magnificación promedio	$\beta = 2,60$

Tabla 11. Requerimientos bajo norma PDVSA. Fuente: Valbuena (2018)

Spectrum Elástico		
Punto	T(seg) Period	Ad (gravity)
1	0	0.1839
2	0.2	0.4050
3	0.8	0.4050
4	3	0.1407
5	5	0.0481

Espectro de Diseño		
Punto	T(seg) Periodo	Ad (gravedades)
1	0	0.1839
2	0.2	0.4050
3	0.8	0.4050
4	3	0.1407
5	5	0.0481

Las premisas consideradas en el diseño estructural son las siguientes:

- Para determinar el grado de vulnerabilidad sísmica de la estructura de la chimenea se realizó un análisis dinámico, utilizando un espectro con un factor de reducción de respuesta igual a 2, según el capítulo 7.3.3.2 del Código CICIND 2001.
- El análisis estructural es realizado mediante dos (2) modelos de elementos finitos tipo Shell, utilizando SAP2000 (software integrado para el análisis estructural y diseño):
 - El primer modelo tridimensional de elementos finitos, sin incluir el acero de refuerzo.
 - El segundo modelo tridimensional de elementos finitos, incluyendo el acero de refuerzo tipo “shell layer”.
- El análisis preliminar se realizará idealizando una viga en cantiliver, para calibrar los modelos de elementos finitos, según lo establecido en el capítulo 5.3.1 del Código CICIND 2001. Este modelo complementario

mediante elementos lineales o tipo “frame” permite comparar y corroborar los resultados obtenidos con el modelo matemático de elementos finitos para los valores de momento, cortante y axial en la base de la chimenea. El uso de modelos matemáticos sencillos complementarios permite calibrar los resultados de los modelos más complejos de elementos finitos y ajustar el refinamiento del mallado hasta obtener resultados con niveles de precisión suficiente.

- Las propiedades mecánicas del concreto reforzado y acero utilizados en los modelos, son propuestos a partir de lo mencionado en este capítulo.
- Se evaluó la resistencia a la flexión de la sección según la distribución de acero de refuerzo propuesto, calculando la posición del eje neutro para las cuantías verticales suministradas en diferentes niveles, y obtener el valor de Momento nominal (M_n), para comparar contra el momento último causado por la combinación de carga más desfavorable. Referencia Capítulo 5.4.1 ACI 307-98.

- **Combinaciones de Cargas**

Las acciones o cargas deben ser combinadas para producir las sollicitaciones más críticas para el diseño estático y dinámico del cuerpo de la chimenea. Se combinarán aquellas cargas con alta probabilidad de ocurrencia.

Las combinaciones de cargas factorizadas para el diseño de las estructuras fueron consideradas según lo establecido en el capítulo 5 de la **ACI 307-98**, el cual relaciona las cargas permanentes o carga muerta D , la carga de viento W , la temperatura T y carga sísmica de la siguiente manera:

$$U = 1.4D \quad (\text{Combinación N}^\circ 1)$$

$$U = 1.1D + 1.4T + 1.3W^* \quad (\text{Combinación N}^\circ 2)$$

$$U = 0.9D + 1.4T + 1.3W^* \quad (\text{Combinación N}^\circ 3)$$

Notas:

* El factor de carga 1.3 se usará para las cargas a lo largo del viento.

Para cargas sísmicas o fuerzas S, las combinaciones de carga se aplicarán excepto que 1.1S será sustituido por W.

Fuerza circunferencial requerida U para resistir el viento, carga W y la carga de temperatura normal T serán: $U_c = 1.05T + 1.3W$ (Combinación N°4)

Donde:

D: Acciones Permanentes.

W: Acciones debido a las Fuerzas del Viento.

S: Acciones debido a las Fuerzas del Sismo.

T: Acción por temperatura.

Acciones Permanentes (CP)

- Peso del fuste de concreto.
- Peso del refractario interno de la Chimenea.
- Peso de las escaleras marineras exteriores.
- Peso de ménsulas internas.
- Peso de ductos internos y accesorios:

Cálculo de los esfuerzos térmicos verticales

Debido a la exposición térmica de la chimenea, la variación de la temperatura a través del muro, reduce la resistencia nominal de las secciones de la chimenea. Para la simulación de los esfuerzos de térmicos verticales, se utilizarán los siguientes datos:

Temperatura de rocío del SO_x: 280 °F (138°C)

Temperatura mínima del aire que rodea la chimenea (T_o) = 167°F (75°C).

Integración de cargas

Para el análisis y diseño de la chimenea, esta fue dividida en por lo menos 10 secciones, según el ACI 307. Sin embargo, debido a que la chimenea es cilíndrica y mantiene su diámetro en toda su longitud se calculó el peso con la sección de pared más desfavorable.

A continuación, se muestra el peso del fuste de concreto:

$$\begin{aligned}d_{\text{externo}} &:= 32 \text{ ft} & h &:= 450 \text{ ft} & \text{Altura Total de la Chimenea} \\d_{\text{interno}} &:= 28.33 \text{ ft} & \gamma_{\text{concreto}} &:= 150 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3} \\W_1 &:= \left(\left(\frac{\pi \cdot d_{\text{externo}}^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot d_{\text{interno}}^2}{4} \right) \right) \cdot h \cdot \gamma_{\text{concreto}} = 11737971.312 \text{ lbf} \\W_1 &= 5324.254 \text{ tonnef}\end{aligned}$$

A continuación se muestra el peso del refractario de la Chimenea:

$$\begin{aligned}d_{\text{externo_re}} &:= 13 \text{ ft} & \gamma_{\text{refractario}} &:= 160 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3} \\d_{\text{interno_re}} &:= 12 \text{ ft} \\W_2 &:= \left(\left(\frac{\pi \cdot d_{\text{externo_re}}^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot d_{\text{interno_re}}^2}{4} \right) \right) \cdot h \cdot \gamma_{\text{refractario}} = 1413716.694 \text{ lbf} \\W_2 &= 641.251 \text{ tonnef}\end{aligned}$$

A continuación, se muestra el peso de las escaleras marineras:

$$\begin{aligned}W_3 &:= 20 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \cdot h = 9000 \text{ lbf} \\W_3 &= 4.082 \text{ tonnef}\end{aligned}$$

Peso de ménsulas: Localizadas 5 ménsulas en 7 niveles a lo largo de la chimenea, para soportar la pared de ladrillo refractario.

$$W_4 := 1000 \text{ lbf} \cdot 5 \cdot 7 = 35000 \text{ lbf}$$

$$W_4 = 15.876 \text{ tonnef}$$

peso de ductos internos y accesorios:

$$W_5 := 10000 \text{ lbf}$$

Peso total de la chimenea:

$$W_T := W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 = 13205688.007 \text{ lbf}$$

$$W_T = 5989.999 \text{ tonnef}$$

Cálculo del período de vibración y corte basal

El período de una estructura es el tiempo que ésta toma en dar un ciclo completo cuando experimenta vibración no forzada. Para una chimenea industrial de concreto reforzado, el período se calcula mediante:

$$T = \frac{5 H^2}{d(b)} \frac{\rho_{ck}}{E_c} \frac{t(h)}{t(b)}^{0.3}$$

Donde:

T = período de vibración, en segundos

H = altura de la chimenea, en pies

$\bar{d}(b)$ = diámetro medio de la base, en pies

ρ_{ck} = densidad de masa del concreto, en $\text{kip-s}^2/\text{pie}^4$,
aproximadamente igual a $0.0046 \text{ kip-s}^2/\text{pie}^4$

E_c = módulo de elasticidad del concreto, en kip/pie^2

$t(h)$ = espesor de la pared del fuste en la punta, en pies

$t(b)$ = espesor de la pared del fuste en la base, en pies

$$\rho_{ck} := 0.0046 \frac{\text{kip} \cdot \text{s}^2}{\text{ft}^4} \quad th := 0.8 \text{ ft}$$

$$db := d_{\text{externo}} - d_{\text{interno}} = 3.67 \text{ ft} \quad tb := 1.83 \text{ ft}$$

$$Ec := 519119.5 \frac{\text{kip}}{\text{ft}^2} \quad T := 2.20 \text{ s}$$

El corte basal no deberá ser menor que:

$$C_A := 0.36 \quad I_E := 1.25$$

$$V := 0.56 \cdot C_A \cdot I_E \cdot W_T = 3327833.378 \text{ lbf}$$

$$V = 1509.48 \text{ tonnef}$$

Distribución vertical de fuerzas

Según el ACI 307-79, se debe considerar el 15% del corte basal, concentrado en la punta de la chimenea, mientras que el 85 por ciento restante deberán ser distribuidas verticalmente por lo menos en 10 secciones:

La fuerza en la sección inferior (a 45ft) será:

$$w1 := \left(\left(\frac{\pi \cdot d_{\text{externo}}^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot d_{\text{interno}}^2}{4} \right) \right) \cdot 45 \text{ ft} \cdot \gamma_{\text{concreto}} = 1173797.131 \text{ lbf}$$

$$w2 := \left(\left(\frac{\pi \cdot d_{\text{externo_re}}^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot d_{\text{interno_re}}^2}{4} \right) \right) \cdot 45 \text{ ft} \cdot \gamma_{\text{refractario}} = 141371.669 \text{ lbf}$$

$$w3 := 10 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \cdot 45 \text{ ft} = 450 \text{ lbf}$$

$$w4 := \frac{W_4}{10} = (3.5 \cdot 10^3) \text{ lbf}$$

$$w5 := \frac{W_5}{10} = (1 \cdot 10^3) \text{ lbf}$$

$$w_{\text{seccion_base}} := w1 + w2 + w3 + w4 + w5 = 1320118.801 \text{ lbf}$$

$$w_{\text{seccion_base}} = 598.796 \text{ tonnef}$$

$hx := 0 \text{ ft}$ Altura a la base de la sección

$hi := 22.5 \text{ ft}$ Altura al centro de la sección inferior

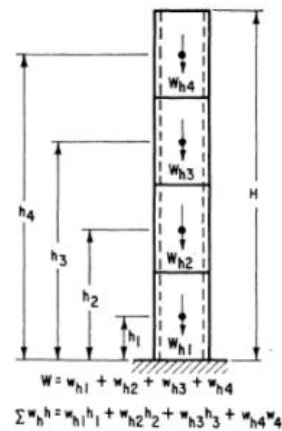
$$fh_{seccion_base} := \frac{0.85 \cdot V \cdot w_{seccion_base} \cdot hi}{W_T \cdot \frac{h}{10}} = 141384.724 \text{ lbf}$$

$$fh_{seccion_base} = 64.131 \text{ tonnef}$$

Cálculo de los momentos por sismo

Una vez calculada la fuerzas lateral por sismo en la sección más desfavorable, que actúan en la chimenea, se debe calcular el momento que ella producen. El ACI 307 indica que los momentos por sismo, se calculan mediante:

Análisis estático equivalente



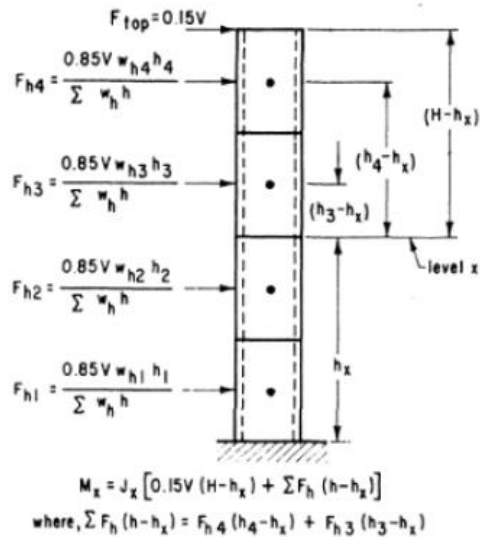
$$J := \frac{0.6}{\sqrt[3]{T}}$$

$$J := 0.46$$

$$J_x := J + (1 - J) \cdot \left(\frac{hx}{h} \right)^3 = 0.46$$

$$Mx_{45'} := (J_x \cdot 0.15 \cdot V \cdot (h - hx)) + (fh_{seccion_base} \cdot (hi - hx)) = 106510.383 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$Mx_{45'} = 14725588.095 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$



Donde:

M_x = momento en cualquier nivel "x", en libra-pie

J_x = coeficiente numérico para el momento en un nivel designado "x"

J = coeficiente numérico para el momento de la base

h_x = altura por encima de la base de la chimenea hasta la base de la sección "x", en pies

J no debe ser mayor a 1, ni menor a 0,45

Diseño del refuerzo vertical por flexo-compresión

Para llevar a cabo este diseño, es necesario conocer los momentos M por sismo (E) y las cargas verticales D por peso propio que soporta cada sección, así como el radio medio r de cada una.

La carga vertical D que soporta cada sección, viene siendo para una sección cualquiera, el peso de las secciones superiores a ella, más el peso de la propia sección. El radio medio de la sección es= 15,08 ft

A continuación se presentan un método para el diseño del refuerzo por peso propio y sismo (flexo-compresión) presentado por el Dr. Wadi S. Rumman:

$$M_n := 1 + 6 - 2 \left(\frac{P_u}{rtf'c} \right)^2 \cdot \frac{\rho_t \cdot \frac{f_y}{f'c}}{\frac{P_u}{rtf'c}} \cdot 1 - \frac{\beta^{1.15}}{200}$$

Donde:

M_n = momento nominal, en lb-pulg

P_u = carga vertical factorada, en lb

r = radio medio de la sección, en pulg

t = espesor del muro, en pulg

ρ_t = cuantía de acero vertical total

β = mitad del ángulo central formado por la abertura con una cuerda en el círculo de radio r , en grados

Pu es la carga vertical factorizada (multiplicada por 0,9) según la combinación de cargas:

$$P_u := W_T \cdot 0.90 = 11885119.206 \text{ lbf}$$

$$f_y := 60000 \text{ psi}$$

$$r := 180.96 \text{ in}$$

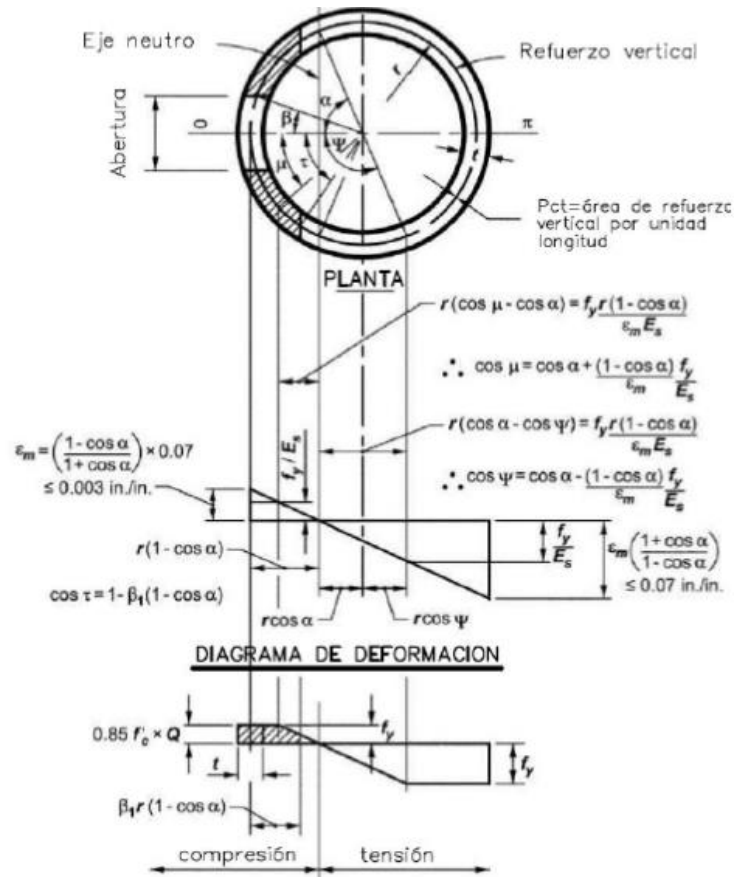
$$t := 21 \text{ in}$$

$$\rho_t := 0.011$$

$$\beta := 10^\circ$$

$$f_{h_{seccion_base}}$$

$$\phi := 0.80$$



$$M_n := \left(1 + (6) - 2 \left(\frac{P_u}{r \cdot t \cdot f'_c} \right)^2 \cdot \frac{\rho_t \cdot f_y}{f'_c} \cdot 1 - \frac{\beta^{1.15}}{200} \right) \cdot P_u \cdot r = 230372.203 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$\phi \cdot M_n = 25480078.776 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Como $\phi M_n > M_u$, la sección resiste el momento al que se ve sometido, por lo que el valor de la cuantía vertical $\rho_t = 0,011$ es adecuado.

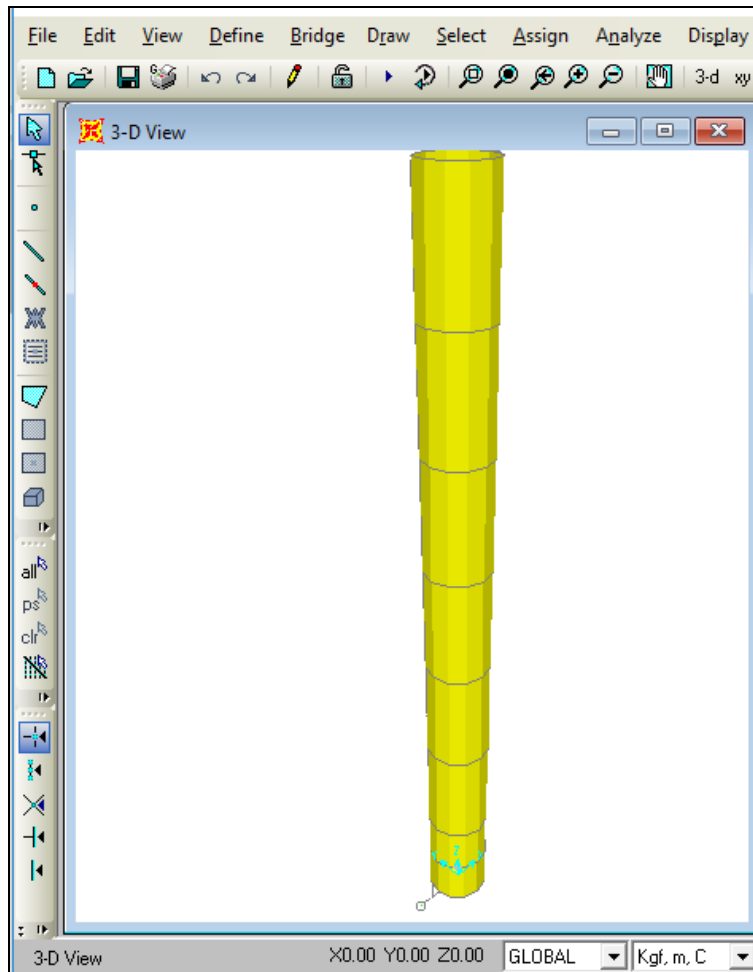


Figura 15. Modelo tipo frame SAP2000. **Fuente:** Valbuena, F (2018)

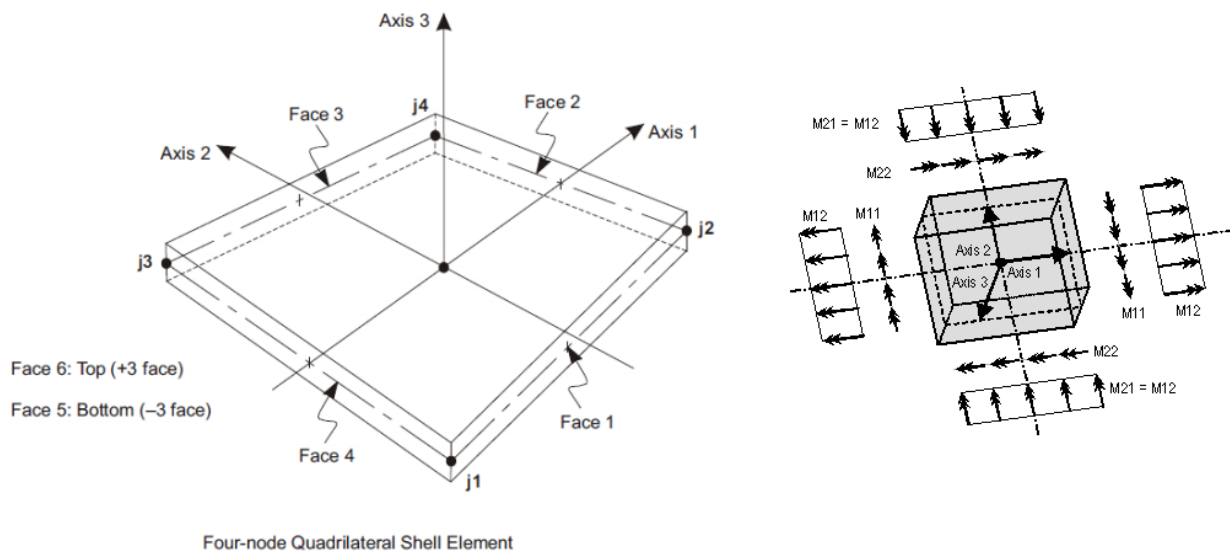


Figura 16. Momentos locales FEM. **Fuente:** Barrett, K (2018)

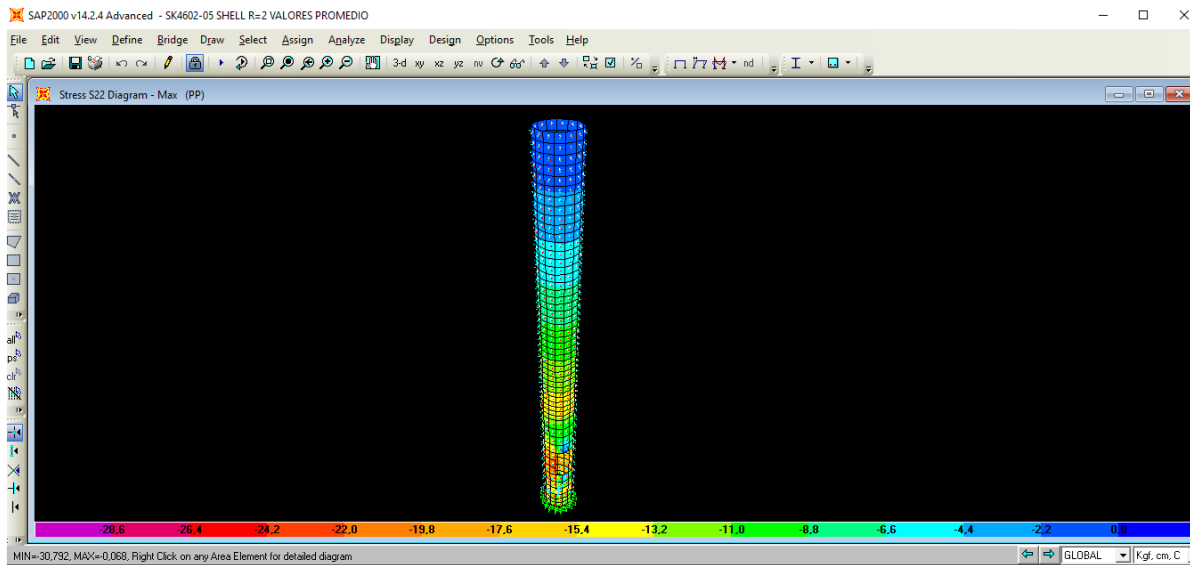


Figura 17. Esfuerzos a compresión por PP. Fuente: Valbuena, F (2018)

- Esfuerzo máximo a compresión originado por el peso propio es 30,792 kg/cm² < f'c mínima según informe No. 312026
f'c mínima según informe No. 312026= 69,00 kg/cm²
30,792 kg/cm² < 69,00 kg/cm² **OK**

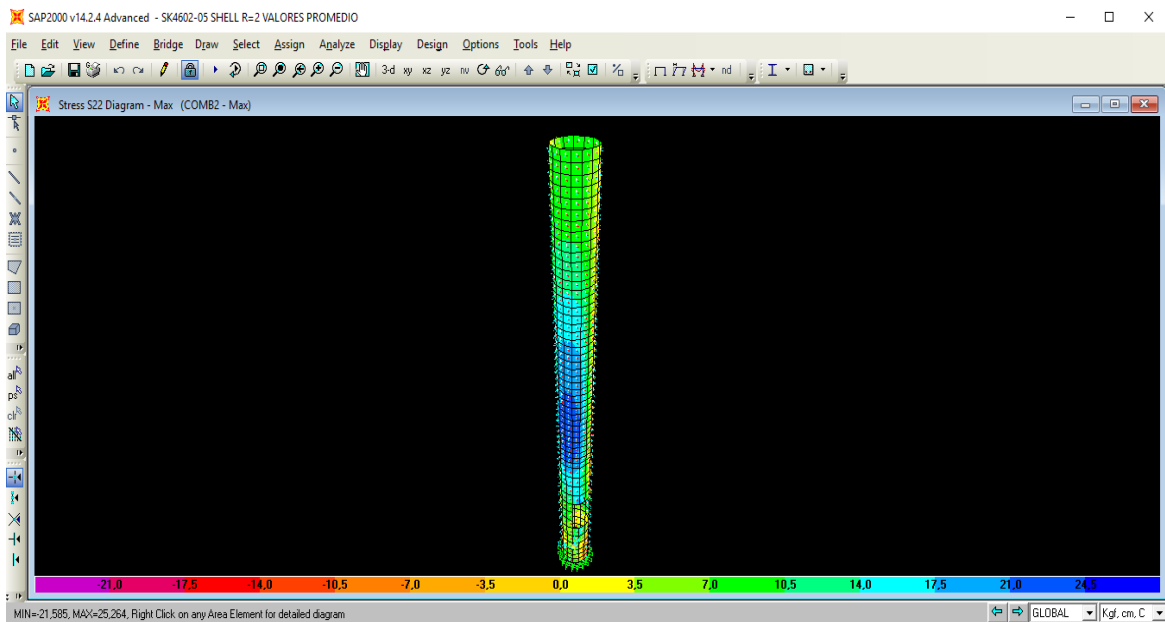


Figura 18. Momentos a compresión por PP+S+T. Fuente: Valbuena, F (2018)

- Esfuerzo máximo a compresión originado por el peso propio + sismo+ temperatura es 21,585 kg/cm² < 69,00 kg/cm² **OK**

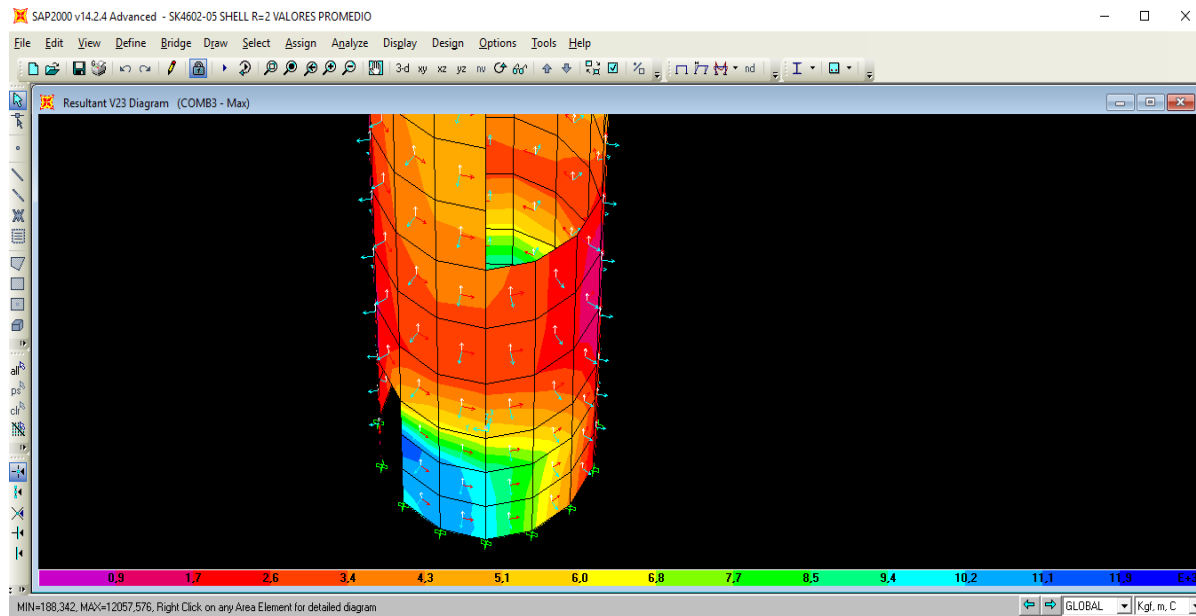


Figura 19. *Modelo con Acero de Refuerzo.* **Fuente:** Valbuena, F (2018)

- Esfuerzo máximo a tracción originado por el peso propio + sismo+ temperatura es 25,264kg/cm². Cortante máximo generado para la combinación (PP+Sismo+T)= 12057.58 kg/m, no supera el admisible:

$$V_U = (V_{\max}) / (0.85 \times d \times b)$$

$$V_U = (12057.58 \text{ kg/m}) / (0.85 \times 55 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}) = 2.58 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_c = 0.53 \times \text{SQR}(F'c)$$

$$V_c = 0.53 \times \text{SQR}(300 \text{ kg/cm}^2) = 9.18 \text{ kg/cm}^2,$$

$$V_U < V_c \quad \text{OK!!}$$

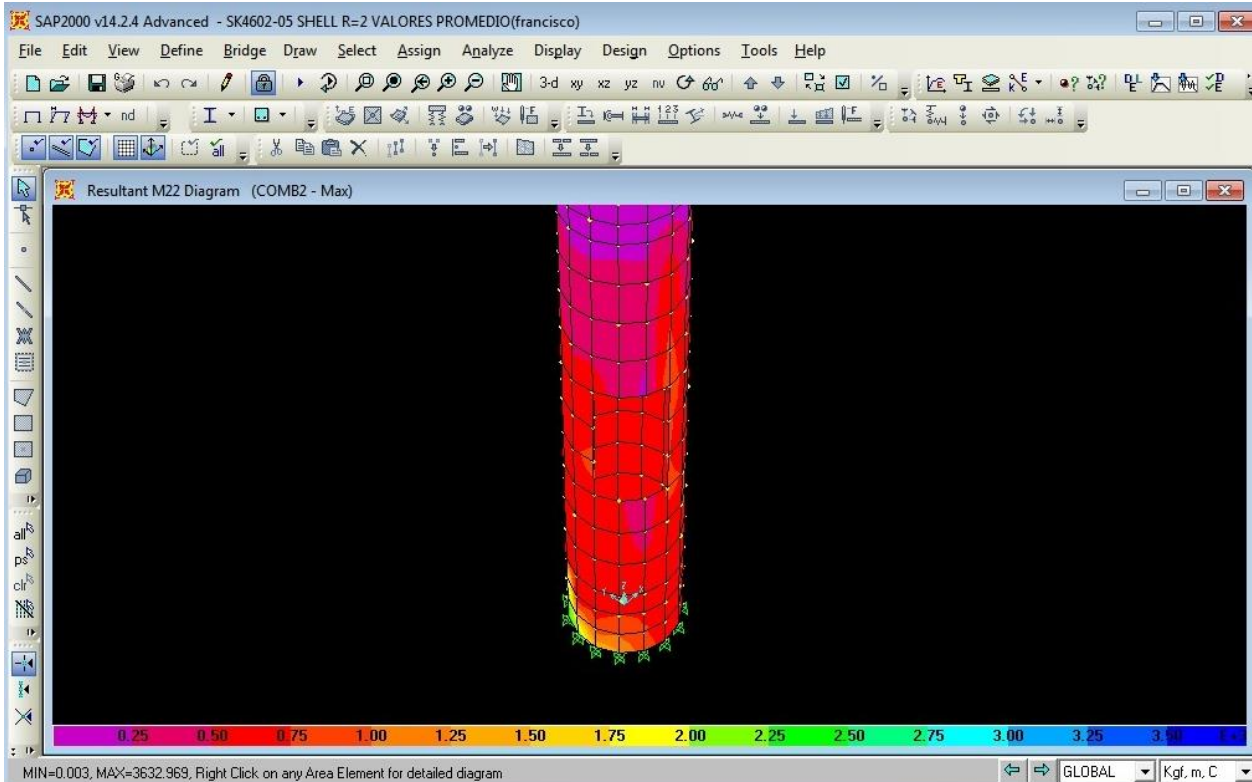


Figura 20. Modelo con Acero de Refuerzo. Fuente: Valbuena, F (2018)

Momento máximo(M22), por efecto de peso propio + sismo+T es:

3632,97 kg.m/ml

4.7. Fase de Construcción

4.7.1. Trabajos de Campo

Ahondando en un escenario de aprobación de diseño generado por el contratista por parte de la representación técnica de PDVSA, se podrá llegar a ejecución de las siguientes tareas (pueden aparecer otras).

- La correcta adecuación de arranques que ya existan en la fundación de la antigua chimenea para empalme con nuevo acero de refuerzo en el fuste.
- Llevar a cabo el suministro e instalación de encofrados y acero de refuerzo, vaciado de concreto, curado del fuste de chimenea de acuerdo tomando en consideración los documentos aprobados por PDVSA.

- Suministro, fabricación e instalación del ducto interno en acero inoxidable. Incluye la conexión a los ductos de alimentación que ya existen y su coronación.
- Suministro e instalación de plataformas metálicas que dan acceso a la chimenea de acuerdo a las especificaciones previamente aprobadas.
- Suministro e instalación de un sistema de protección contra descargas atmosféricas, incluyendo su puesta a tierra mediante aterramientos existentes, según especificaciones y normas correspondientes.
- Suministro e instalación de sistema de iluminación general y sistema de señalización para el tráfico aéreo, ello incluye puesta a tierra y dispositivo de control.
- Por último, la generación de los planos como construido (As Built), con la evidente incorporación de los cambios ejecutados en obra a los diseños originales. Dicha información deberá ser entregada en físico y digital.

4.8. Condiciones Generales

4.8.1. Calidad del Trabajo

Un aspecto de relevancia lo merece el acabo de los trabajos realizados por el contratista, el cual debe estar caracterizado por la calidad y optimización de la Chimenea SK4601 siendo PDVSA el encargado de verificar y comprobar la pertinencia de los mismos. El contratista deberá estar sujeto a cualquier corrección, reemplazo y remoción que puedan ser rechazadas por PDVSA.

Es el contratista quien deberá llevar a cabo las diferentes pruebas que se hagan necesarias para la correcta verificación de los resultados especificados en la fase de diseño a satisfacción de PDVSA.

4.8.2. Programa de Trabajo y Fase de Ejecución

Es necesario que el contratista presente ante PDVSA aunado a la oferta económica, el tiempo estimado para la ejecución de los trabajos, así como el plan de actividades general.

Previamente al inicio de los trabajos, el contratista deberá facilitar el programa de ejecución de las actividades, en forma de red de actividades lógicamente concatenadas, atendiendo al diagrama de Gantt. En dicho cronograma deberá estar explícito los recursos de mano de obra y maquinarias necesarias requeridas para la ejecución del proyecto, así como los materiales que se necesitaran. Todos los recursos deberán tener una asociación con los costos correspondiente con la finalidad de plantear el presupuesto mensual de inversión, mientras dure la ejecución del mismo.

4.8.3. Condiciones Generales

Calificación del contratista:

Debido a la naturaleza del trabajo a ejecutar, se requiere que la empresa contratista que se seleccione para la ejecución de los trabajos, posea experiencia en la construcción de chimeneas de concreto y ladrillos refractarios, de alturas iguales ó superiores a las de las chimeneas SK-4601/02 de la refinería Amuay (106m). Es necesario que la empresa seleccionada sea especialista en la ejecución de este tipo de trabajos y posea registro comprobable de trabajos similares ejecutados previamente.

Equipos requeridos:

El contratista seleccionado para la ejecución de los trabajos deberá poseer entre sus equipos de construcción:

Sistema de encofrado deslizante (Slip-Form), para la construcción de estructuras cilíndricas de 9,6m de diámetro externo, con espesor variable. El encofrado deslizante deberá incluir incorporados sistemas de elevación de cargas para los materiales y los vaciados en altura. Además de las plataformas de trabajo requeridas para la actividad.

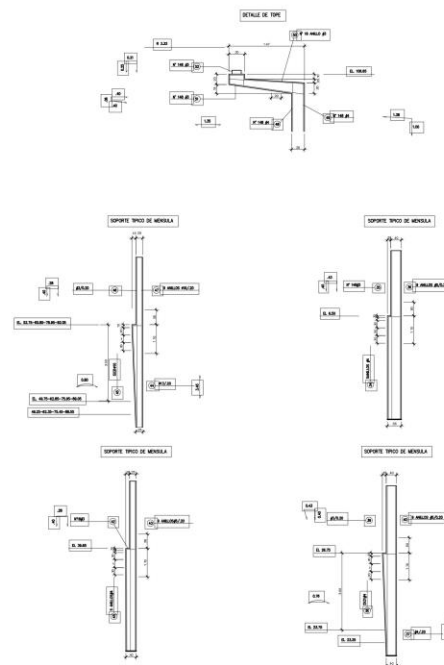
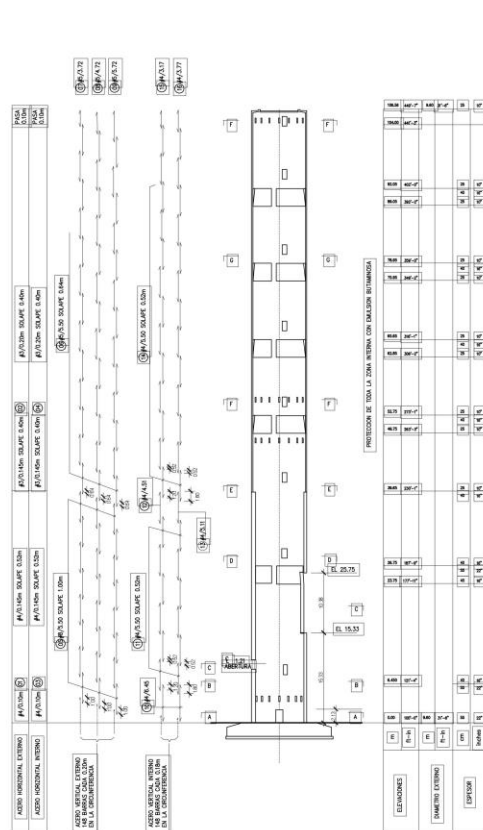
Silos y planta para mezclado de concreto, a fin de evitar la dependencia de terceros y garantizar la continuidad de los trabajos durante las 24 horas del día. Grúas auxiliares, para el movimiento de cargas y la ejecución de los trabajos en la parte baja de la chimenea.

Camión Bomba de concreto, o equipo similar para el vaciado de concreto en los tramos inferiores de la chimenea.

Plataformas de trabajo en suspensión móviles, adaptable a las dimensiones del ducto interno 6,10m, para la construcción del ducto de ladrillos refractarios y juntas de dilatación. Esta plataforma deberá poseer equipos para su elevación y descenso, así como facilidades para el transporte de personas y materiales desde los niveles inferiores de las chimeneas.

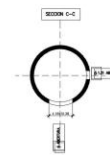
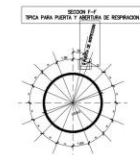
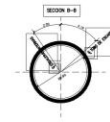
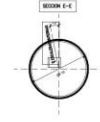
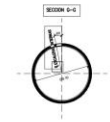
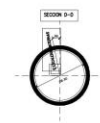
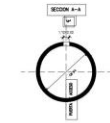
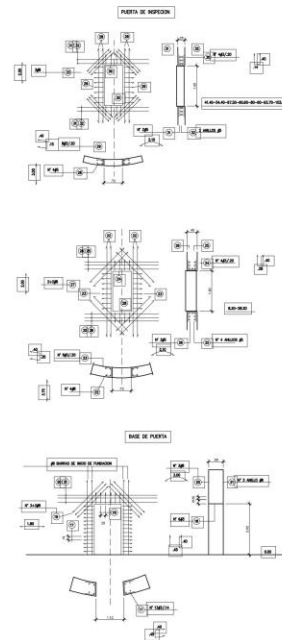
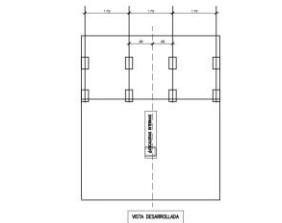
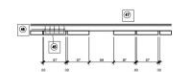
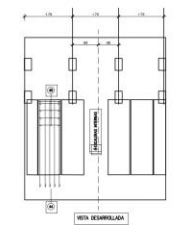
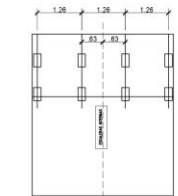
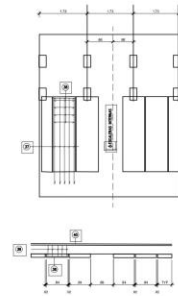
Equipo compresor de agua para hidrodemolición, con capacidad 40000psi de presión o superior. El equipo debe contar con herramientas y boquillas especiales para la demolición de concreto, así como los trajes y elementos de protección personal de los operadores.

Equipos menores para acarreo y transporte de material, como mini shovel, cargadores frontales, correas transportadoras, monta cargas, camiones, entre otros.



APROBADO PARA CONSTRUCCION		APROBACIONES	
Ingeniero	FRANCISCO VALBUENA	Insp. equipo	
Verificador	ORLANDO GUERRERO	Corr. y Mod.	
		Insp. Proceso	
		Insp. Relativo	
Dib. por:	FRANCISCO VALBUENA	Fecha:	NOVIEMBRE 2018
		Escala:	1/20
		Hoja:	01 de 02
		Archivo No.	
		Rev.	1





APROBADO PARA CONSTRUCCION			APROBACIONES		 PDVSA INGENIERIA DE INSTALACIONES INSPECCION DE EQUIPOS (ING. CIVIL) Refinería Amuay Amuay-Venezuela			
Ingeniero	FRANCISCO VALBUENA		Insp. equipo					
			Corr. y Mat.					
Verificador	ORLANDO GUERRERO		Ing. Proceso					
			Ing. Rotativo					
Dib. por	FRANCISCO VALBUENA	Fecha	NOVIEMBRE 2018	Escala	1:20	Hoja	01 de 02	Archivo No.
								Rev.
								1

4.8.4. Principales Normas de Diseño

El trabajo realizado por el contratista, necesariamente debe apegarse a los requerimientos aplicables de las siguientes normas:

- COVENIN 1756-01 Edificaciones Sismorresistentes.
- COVENIN 1753-06 Proyecto y construcción de Obras en Concreto Estructural.
- PDVSA JA-221 Diseño Sismorresistente de Instalaciones Industriales.
- PDVSA JA-222 Diseño Sismorresistente de Recipientes y Estructuras.
- PDVSA 90615.1.012 Cargas de Viento Sobre Recipientes Verticales Autosoportables.
- PDVSA 90615.1.013 Carga sísmica de Recipientes Verticales, Chimeneas y Torres.
- PDVSA 90619.1.091 Puesta a Tierra y Protección Contra Sobretensiones.
- CICIND 2001 Model Code for Concrete Chimneys,
- DEP 34.24.27.31-Gen. Reinforced Concrete Stacks.
- ACI 307-08 Code Requirements for Reinforced Concrete Chimneys.
- ASCE/SEI 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
- ACI 318 Building Code Requirements For Structural Concrete.
- ANNEX 14-C6 Convention of International Civil Aviation.
- AC 70/7460-1K Obstruction Marking and Lighting

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En atención a todos los elementos descritos a lo largo del presente trabajo de investigación, es posible distinguir las siguientes conclusiones:

1. La chimenea SK4601 ubicada en el Centro De Refinación Paraguaná presenta signos de deterioro, ello se confirmó con la revisión exhaustiva del informe técnico N°312026 a través del cual se hizo posible conocer la realidad de la chimenea en estudio y la necesaria puesta en marcha de acciones que llevaran a la reconstrucción o reforzamiento de dicha estructura.
2. Por otro lado, se concluye que las fases de evaluación de las extracciones y ensayos ejecutados al concreto de la Chimenea SK4601 sirvieron de puente para establecer los daños permanentes a la estructura de la chimenea siendo el fuste y los ductos internos los espacios que mayormente se encuentran afectados, por lo que la estructura de la chimenea en líneas generales cumple con los requerimientos normativos nacionales e internacionales, sin embargo es evidente la necesidad de reforzamiento y no de reconstrucción en atención a lo siguiente:
 - La estructura de la chimenea sometida a cargas permanentes, no supera el esfuerzo a la compresión límite.
 - La estructura de la chimenea sometida a las cargas de servicio incluyendo sismo, cargas de viento, temperatura y sobre cargas, el esfuerzo a la compresión originado no supera el valor de 69 kg/cm² menor valor reportado en el informe y el esfuerzo a tracción es adsorbido por el acero de refuerzo existente.
 - La estructura de la chimenea sometida a las cargas mayoradas incluyendo el sismo, el esfuerzo a la compresión originado no supera el valor de 69 kg/cm² menor valor reportado en el informe y el esfuerzo a tracción es adsorbido por el acero de refuerzo existente.

3. Seguidamente, en relación a los factores de riesgo y vulnerabilidad estructural es necesario advertir que la chimenea se encuentra anclada a la zona sísmica n°2 con necesario cumplimiento de las normas vigentes (COVENIN 1756-01) y las normas internas de PDVSA para tal fin (PDVSA Ja-221, Ja-222, 90615.1.013). Así mismo, para las solicitaciones de viento se establece el ajuste según ASCE/SEI 7-10. Para una velocidad máxima de viento de 116Km/h.
4. Finalmente, el diseño de la nueva SK4601 queda expresado en la propuesta de reconstrucción de la misma tomando en consideración los siguientes elementos: altura de la chimenea, diámetro del fuste de concreto, diámetro del ducto interno, concreto estructural, material ducto interno, aberturas de entrada, diseño sísmico, diseño por viento, plataformas y escaleras de acceso, sistema de señalización, sistema de pararrayos, iluminación, siendo EL CONTRATISTA el encargado de generar la memoria descriptiva, la memoria de cálculo, los cálculos métricos, entre otros aspectos de igual relevancia.

Dichas apreciaciones, permiten concluir que la chimenea cumple con los requerimientos normativos y puede trabajarse la reconstrucción de las áreas afectada tomando como base el diseño original de la misma.

RECOMENDACIONES

En aras de contribuir con el fortalecimiento de los espacios estructurales del Complejo de Refinación Paraguaná, Amuay ubicado en el Municipio Los Taques del Estado Falcón, se ofrecen las siguientes recomendaciones:

1. Es necesario, realizar inspecciones periódicas que permitan verificar el buen estado y óptimo funcionamiento de la planta en general.
2. También se debe llevar a cabo labores de mantenimiento permanentes, con el fin de evitar daños a largo plazo a la planta física.
3. Finalmente, es necesario tomar en consideración el presente trabajo de investigación de manera que pueda servir de base para la recuperación efectiva de la Chimenea SK4601.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, C. (2011) *Estudio del comportamiento estructural y consideraciones de diseño de la chimenea metálica veab de la planta sandvik II en växjö, sur de Suecia*. Universidad austral de chile. Valdivia – chile
- Acosta R, Ojeda V Y Arellano W (2001) *Guía Metodológica Para El Diseño y Desarrollo Del Trabajo De Grado*. Tecnológica De Bolívar. Dirección De Investigaciones. Cartagena - Colombia.
- Barrero, R (2014) *Diseño De Chimeneas Industriales En Concreto Reforzado, Con Base En El Código ACI 307*. Universidad De San Carlos Guatemala-Guatemala
- Barret, K (2018) Formula Universal de Barret. Recuperado el 23 de agosto de 2018 en <https://www.facoelche.com/utilidades/barrett-universal-ii-formula-iol-calculator/>
- Cedron, M. (2013) *Chimeneas Industriales. Diseño de Chimeneas Industriales*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2017 en www.todocalderas.com.ar/
- Colina, J y Ramírez H (1999) *La Ingeniera Estructural*. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México.
- DEP 34.24.27.31-Gen (1999) TECHNICAL SPECIFICATION. REINFORCED CONCRETE STACKS. DESIGN AND ENGINEERING PRACTICE
- García, N y Muñoz H (2010) *Comportamiento estructural de chimeneas de concreto reforzado: el caso de la chimenea de Termotasajero S.A.* ISSN 2011-3188. Bogotá – Colombia
- Guía de ingeniería. N° 90615.1.013. *Cargas Sísmicas En Recipientes Verticales, Chimeneas Y Torres*
- Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad Refinación De Petróleo (2007).
- Manual de Trabajos de Grado de Especialización, Maestrías y Tesis Doctorales de la UPEL (1998). Caracas – Venezuela.
- Hernández R, Fernández C y Baptista P (2006). *Metodología de la Investigación*. Editorial McGraw-Hill 4ta Edición. México – México.

- Marinilli, A, (2015) Informe Técnico No. 312026. Universidad Central de Venezuela. Instituto de materiales y modelos estructurales facultad de ingeniería apartado 50.361 - caracas 1050 – Venezuela.
- Nilson, A (1999) *Diseño De Estructuras De Concreto*. Duodécima edición. Copyright interamericana S.A. Santafé de Bogotá - Colombia
- NORMA COVENIN 338. “Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto”.
- NORMA COVENIN (2003 – 89) *Acciones Del Viento Sobre Las Construcciones*. Ministerio Del Desarrollo Urbano. Dirección General Sectorial De Edificaciones. Norma Venezolana
- Norma venezolana 1753-2006. *Proyecto Y Construcción De Obras En Concreto Estructural*. Caracas- Venezuela
- PDVSA (2016) Ref. SIRA AMYGIIP – 16-1528
- PDVSA. (1983) *Manual de ingeniería de diseño*. Volumen 18–i.
- PDVSA (1990) *Alcance de Diseño y de la obra para el contrato de construccion de dos chimeneas a ubicar en el bloque 29 de la refineria*. Consorcio Tejas
- Sabino C (1992) *El Proceso De Investigación*. Ediciones Panapo. Caracas – Venezuela. Publicado también por Ed. Panamericana, Bogotá, y Ed. Lumen, Buenos Aires
- Salinas P (2010) *Metodología De La Investigación Científica*. Universidad de Los Andes Mérida. Venezuela
- Tomanovich, A (2001) *Química Analítica Cuantitativa*. R.A. Day y A.L. Underwood 5ª Ed. Prentice Hall.
- Villon, H y Peña, J (2011) *Análisis De Integridad Estructural De Una Chimenea En Una Planta Cementera*. Escuela superior politécnica del litoral (ESPOL) Guayaquil ecuador.