



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Rehabilitación general de los  
calentadores a fuego directo  
BA-101 A, BA-101 B y BA-  
201, de la planta Combinada  
No.1, de la Refinería Tula**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Civil**

**P R E S E N T A**

Miguel Angel Flores Meléndez

**ASESOR DE INFORME**

Dr. Luis Antonio García Villanueva



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024**

# ÍNDICE

PORTADA

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	3
OBJETIVOS .....	3
1.- CALENTADORES A FUEGO DIRECTO.....	4
1.1 INTRODUCCIÓN A LOS CALENTADORES A FUEGO DIRECTO .....	4
1.2 CLASIFICACIÓN .....	6
1.2.1 DE ACUERDO CON EL TAMAÑO .....	6
1.2.2 DE ACUERDO CON EL SERVICIO .....	6
1.2.3 DE ACUERDO CON LA COLOCACIÓN DEL SERPENTIN DE CALENTAMIENTO EN LA SECCIÓN DE RADIACIÓN .....	7
1.2.4 DE ACUERDO CON EL SUMINISTRO DE AIRE Y ELIMINACIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN .....	11
2.- CONCRETOS REFRACTARIOS .....	12
2.1 INTRODUCCIÓN A LOS CONCRETOS REFRACTARIOS .....	12
2.2.- PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS REFRACTARIOS .....	13
3.- INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE ANCLAJE Y FRONTERIZACIÓN .....	15
3.1 ALCANCES DEL PROYECTO .....	15
3.2 DEMOLICIÓN DE CONCRETO REFRACTARIO EXISTENTE .....	22
3.3 ACTIVIDADES PREVIAS AL LANZADO DE REFRACTARIO.....	24
3.3.1 TRAZO Y DISTRIBUCIÓN DE ANCLAS.....	24
3.3.2 MAPEO DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN .....	29
3.3.3 PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES.....	32
4.- INSTALACIÓN DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE.....	34
4.1 PROCEDIMIENTO DE LANZADO .....	34
4.2 PRUEBAS EN CAMPO A LOS INSTALADORES DE REFRACTARIO .....	35
4.3 MAQUINARIA EMPLEADA.....	38
4.4 MÉTODO DE INSTALACIÓN .....	39
4.4.1 INSTALACIÓN DE REFRACTARIO LANZADO EN PAREDES CON TUBERIA DE RADIACIÓN ..	40
4.4.2 INSTALACIÓN DE REFRACTARIO LANZADO EN PAREDES CON TUBERÍA DE CONVECCIÓN	41
4.4.3 INSTALACIÓN DE REFRACTARIO LANZADO EN TECHOS.....	42

4.4.4 INSTALACIÓN DE REFRACTARIO LANZADO EN PISOS .....	42
4.4.5 INSTALACIÓN DE REFRACTARIO LANZADO EN CHIMENEAS .....	43
4.4.6 INSTALACIÓN DE REFRACTARIO LANZADO EN TAPAS DE CABEZALES.....	44
4.4.7 INSTALACIÓN DE LADRILLO REFRACTARIO EN VENTANAS DE EXPLOSIÓN Y ENTRADAS HOMBRE.....	45
4.5 CURADO.....	45
4.6 SECADO .....	46
5.- INSPECCIONES Y PRUEBAS DE LABORATORIO .....	47
5.1 HAMMER TEST.....	47
5.2 PRUEBAS DE LABORATORIO .....	47
6.- CONCLUSIONES .....	48
7.- BIBLIOGRAFÍA.....	49

# INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo describe las actividades profesionales en el área de la Ingeniería Civil, las cuales fueron realizadas en el proyecto de mantenimiento a los calentadores a fuego directo de la planta Combinada No.1 de la Refinería Tula Hidalgo.

México es un país con una historia reciente envuelta en la industria petrolera, durante el siglo XX se construyeron 6 refinerías dentro del territorio, con lo cual se desarrollaron varias regiones importantes del país, entre las que se encuentran: Minatitlán, Ciudad Madero, Cadereyta, Salamanca, Tula de Allende y Salina Cruz. Debido al proceso de transformación industrial al que se somete el petróleo es necesario la construcción y posterior mantenimiento de hornos para altas temperaturas dentro de las plantas de proceso de una refinería, o en este caso, calentadores a fuego directo.

En el primer capítulo de este informe se describe de manera breve una introducción a los calentadores a fuego directo, los cuales utilizan el principio de transferencia de calor y sus 3 formas, radiación, convección y conducción, para calentar la superficie de tubos por los cuales atravesará el producto a refinar.

En el segundo capítulo se mencionan los tipos de refractario que se utilizan dentro de la industria petrolera y sus características principales, entre las que se encuentran su densidad, su conductividad, sus componentes químicos y sus propiedades mecánicas una vez instaladas.

Para el tercer capítulo se describen todos los pasos previos al proceso de instalación del concreto refractario tipo aislante en los calentadores de la planta Combinada No. 1, desde el trazo, colocación y soldadura de las anclas, hasta la limpieza mecánica por medio de san blast con arena sílica.

En el cuarto capítulo se presentan todos los pasos a seguir de acuerdo con el procedimiento de instalación y la norma API 936 para una correcta instalación de concreto refractario, describiendo punto por punto todas las recomendaciones necesarias para el lanzamiento de concreto.

Para finalizar en el quinto capítulo se mencionan todas las pruebas de laboratorio necesarias para garantizar la calidad del producto y de la instalación, además de las revisiones en campo. Posteriormente, el último capítulo presenta las conclusiones sobre este proyecto.

## OBJETIVOS

Proporcionar los conocimientos y la información necesaria para la correcta preparación, instalación e inspección de concretos refractarios para los calentadores a fuego directo de la planta combinada 1 de la refinería de tula.

## 1.- CALENTADORES A FUEGO DIRECTO

De acuerdo con Valiente (2013) un calentador a fuego directo, u horno, es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimiento cerrado. La energía calorífica utilizada para alimentar a un horno puede obtenerse directamente por combustión. Los hornos de proceso utilizados en la industria petroquímica son calentadores a fuego directo que utilizan cargas térmicas muy grandes y tienen la función de suministrar una cantidad de calor a un fluido que se va a calentar a niveles elevados de temperatura que no pueden alcanzarse con vapor de agua. Son equipos que utilizan las tres formas de transferencia de calor, radiación, convección y conducción. En la figura 1.1 se presentan 2 ejemplos de calentadores a fuego directo.



*Figura 1.1 Calentadores atmosféricos en la planta Combinada No. 1 (Izquierda) y calentador de la planta Hidrodesulfuradora No. 2 (derecha). Fuente: Propia*

### 1.1 INTRODUCCIÓN A LOS CALENTADORES A FUEGO DIRECTO

Estos equipos son conocidos también como calentadores de proceso u hornos de proceso. El diseño de un calentador a fuego directo requiere de un amplio conocimiento y experiencia que involucran problemas de transferencia de calor, combustión, flujo de fluidos, así como problemas mecánicos y estructurales, por lo que es importante especificar correctamente los calentadores y asegurarse que todos los elementos esenciales han sido considerados. Un calentador a fuego directo es una maravilla de la ingeniería utilizada para calentar fluidos y gases en diversas aplicaciones industriales, con un enfoque particular en la industria del petróleo y el gas.

La figura 1.2 presenta el diagrama de un calentador a fuego directo típico. Consiste en una cámara de combustión o sección de radiación, una sección de convección, un colector del gas de combustión frío (transición) y finalmente una chimenea para eliminar el gas y proporcionar tiro.

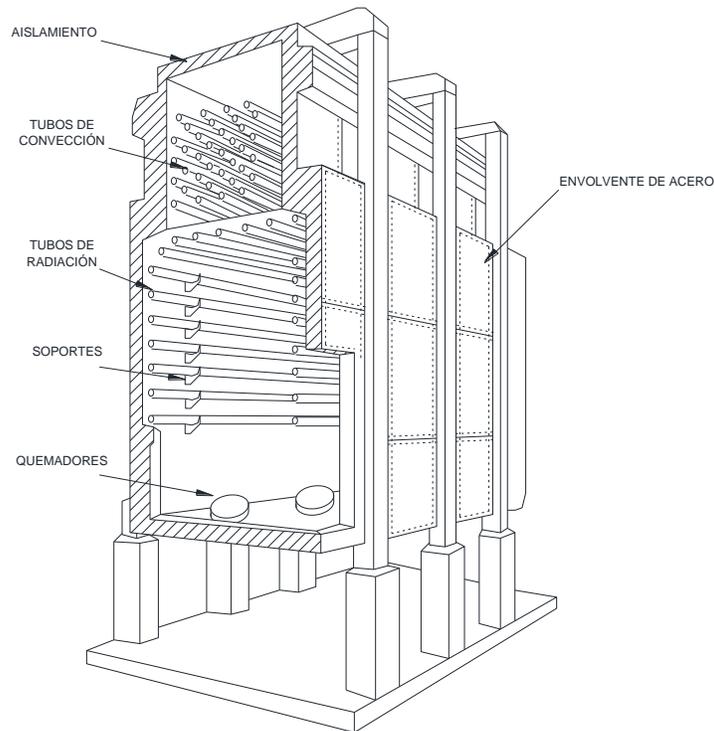


Figura 1.2 Diagrama típico de un calentador a fuego directo.  
Fuente: Berman H. L. (1978) "Fired Heaters I"

**Sección de radiación:** Es la mayor parte que utiliza el calor radiante de los quemadores. Aunque en algunos calentadores el calor de la llama de los quemadores se dirige hacia un muro cerámico el cual irradia calor a los tubos, normalmente los tubos reciben el calor directamente de los quemadores.

**Sección de convección:** Es la sección de transferencia de calor directamente localizado debajo de la chimenea, utilizando el calor ascendente de los gases calientes de la combustión. En esta zona los tubos están en forma horizontal tanto para calentadores verticales como horizontales. En esta sección se recupera calor adicional del gas de combustión, en un nivel de temperatura menor del cual se puede obtener económicamente en la sección de radiación. Aquí los tubos se arreglan para obtener en el gas altas velocidades de flujo y turbulencia, así como para obtener buena transferencia por convección.

**Quemadores:** Es la parte del calentador el cual quema el combustible gas líquido, en ocasiones ambos, produciendo una flama de calor intenso. Los quemadores son normalmente instalados al piso de los calentadores. Sin embargo, algunos calentadores horizontales pueden tener los quemadores montados lateralmente. El número y tamaño de quemadores son determinados por el proveedor de acuerdo con el uso del calentador.

**Chimenea:** Es la parte cilíndrica usada para transportar los gases de combustión a la atmósfera, y al mismo tiempo produce un tiro a los quemadores. La altura de la chimenea es determinada por el tiro requerido y demandas ecológicas (el quemar gas es relativamente limpio, ya que el combustible líquido produce humos). Las chimeneas pueden ser montadas sobre la parte superior del calentador o pueden montarse al piso con ductos grandes para dirigir los gases de combustión hacia ellas.

## 1.2 CLASIFICACIÓN

Para clasificar a los calentadores se toman en cuenta varias condiciones como lo son su tamaño, el servicio al que se aplican, la colocación del serpentín de calentamiento de la sección de radiación y de acuerdo con el suministro de aire y remoción de los gases de combustión.

### 1.2.1 DE ACUERDO CON EL TAMAÑO

Según Berman (1978) el tamaño de un calentador a fuego directo se define en términos de su capacidad de absorción de calor de diseño, o carga térmica. La carga térmica varía desde medio millón de BTU/Hr para unidades especiales pequeñas hasta mil millones de BTU/Hr para instalaciones en proyectos gigantes, tales como los calentadores-reformadores de vapores de hidrocarburos. Pero la mayoría de las instalaciones de calentadores a fuego directo están en el rango de 10 a 350 millones de BTU/Hr. En la figura 1.3 se muestran algunos ejemplos de calentadores a fuego directo de carga térmica media.

Aunque, de acuerdo con la compañía



*Figura 1.3 Calentadores de carga térmica media. Planta de Alto Vacío en Salina Cruz (izquierda) y Calentadores de la planta Hidrodesulfuradora II en Tula. Fuente: Propia*

### 1.2.2 DE ACUERDO CON EL SERVICIO

Los requerimientos de la industria de proceso para calentadores a fuego directo se dividen en seis categorías generales de servicio. Estas categorías son las siguientes:

- Rehervidores de columna
- Precalentadores de alimentación a columnas fraccionadoras
- Precalentadores de alimentación a reactores

- Calentadores de fluidos de transferencia de calor
- Calentadores de fluidos viscosos

### 1.2.3 DE ACUERDO CON LA COLOCACIÓN DEL SERPENTIN DE CALENTAMIENTO EN LA SECCIÓN DE RADIACIÓN

La clasificación más importante de los calentadores a fuego directo se refiere a la colocación del serpentín de calentamiento, es decir, si los tubos están colocados horizontalmente. Los arreglos verticales y horizontales se muestran en la figura 1.2.

Las principales variables que determinan el tipo de un calentador y la colocación del serpentín son:

- Longitud de los tubos del serpentín: Con base a experiencias y para evitar problemas de mantenimiento se recomienda usar como máximo una longitud límite de tubos, siendo esta de 80 pies cuando se colocan horizontalmente y de 60 pies cuando se colocan verticalmente, aunque se recomienda también se acerque la longitud a medidas estándares de tubería para evitar desperdicios o fabricación especial.
- Características del fluido de proceso: De las características del fluido de proceso que son importantes para seleccionar el tipo de calentador se encuentran el ensuciamiento, la tendencia a la coquización y la incrustación.
- Carga térmica: La carga térmica del horno determina las dimensiones del calentador y tomando en cuenta lo dicho en los puntos anteriores se puede seguir el siguiente criterio;
  1. Menores de 30 Millones BTU/Hr. Cilíndrico con tubos verticales, rectangular con tubos horizontales o a fuego directo.
  2. Mayores a 30 millones BTU/Hr. Cilíndrico con tubos verticales, para determinados casos y todos los demás con tubos horizontales

Esta división de los calentadores representa el criterio más general de clasificación de éstos debido a que tanto los verticales como los horizontales cubren un amplio rango de cargas térmicas.

- Espacio para colocación del equipo: Cuando se tiene poco espacio para colocar un calentador, se opta por usar uno vertical siempre y cuando los problemas de mantenimiento que se prevean sean mínimos.

A continuación, se presentan las configuraciones más importantes nombrando algunas de sus características:

- Cilíndrico vertical todo radiante: En este caso el serpentín de tubos esta colocado verticalmente a lo largo de las paredes de la cámara de combustión. El calentamiento también es vertical desde el piso del calentador. Las cargas térmicas típicas varían de 0.5 a 20 millones de BTU/Hr. Figura 1.4.
- Cilíndrico vertical serpentín helicoidal: En estas unidades, el serpentín esta colocado helicoidalmente a lo largo de paredes de la cámara de combustión y el calentamiento es vertical desde el piso. Aunque estos calentadores se agrupan con otros de tubos verticales, las características internas de los tubos se asemejan a aquellas de los calentadores con tubos horizontales. Las cargas térmicas varían también de 0.5 a 20 millones de BTU/Hr. Figura 1.5.

- Cilíndrico vertical con convección cruzada: Estos calentadores que generalmente usan los quemadores instalados en posición vertical en el piso, poseen secciones de radiación y convección. Las cargas típicas varían de 10 a 200 millones de BTU/Hr. Figura 1.6.
- Cilíndrico vertical con convección integrada: Como en los casos anteriores, este diseño utiliza los quemadores en posición vertical en el piso, con su serpentín colocado en un arreglo vertical a lo largo de las paredes. La característica distintiva de este tipo de calentadores es el uso de superficie de intercambio adicional en la parte superior de cada tubo para aprovechar el calentamiento por convección. Las cargas típicas para este diseño varían de 10 a 100 millones de BTU/Hr. Figura 1.7.
- De arco: Este es un diseño especial en el cual la superficie de calentamiento radiante es proporcionada por tubos en U conectando los cabezales de entrada y salida. Generalmente se calienta verticalmente desde el piso u horizontalmente entre las partes ascendentes de los tubos en U. Este tipo de calentadores puede ampliarse para acomodar varios serpentines en arco. Las cargas térmicas para cada serpentín son de 50 a 100 millones de BTU/Hr. Figura 1.8.
- Tubos verticales doble calentamiento: En estas unidades, los tubos verticales de radiación están acomodados en una sola hilera en cada cámara de combustión y son calentados de ambos lados de la hilera. La carga térmica para cada cámara varía de 20 hasta 125 millones de BTU/Hr. Figura 1.9.
- Tubos horizontales tipo cabaña: Los serpentines de estos calentadores están acomodados horizontalmente de manera que se alinean con las paredes laterales de la cámara de combustión y el techo inclinado u “hombro” del horno. El serpentín de la sección de convección está colocado como un banco horizontal de tubos arriba de la cámara de combustión. Normalmente se usan quemadores verticales instalados en el piso. Las cargas térmicas varían de 10 a 100 millones de BTU/Hr. Figura 1.10.
- Tubos horizontales tipo caja con doble celda: En este caso el serpentín de la sección de radiación se coloca en un arreglo horizontal a lo largo de las paredes y techo de las dos cámaras de combustión. El serpentín de la sección de convección es un banco de tubos horizontales colocados entre las cámaras de combustión. Se calienta verticalmente desde el piso y sus cargas varían de 100 a 250 millones de BTU/Hr. Figura 1.11.
- Tubos horizontales tipo cabaña con pared divisoria: De nuevo el serpentín de la sección de radiación se coloca horizontalmente a lo largo de las paredes laterales de la cámara de combustión y a lo largo del “hombro”. El serpentín de la sección de convección toma la forma de un banco de tubos horizontales colocados arriba de la cámara de combustión. La pared divisoria entre las cámaras permite un control de calentamiento individual para cada celda de la cámara de combustión. Existen opciones de calentamiento horizontal o vertical. La carga típica para este diseño varía de 20 a 100 millones de BTU/Hr. Figura 1.12.
- Tubos horizontales tipo caja con calentamiento al extremo: El serpentín de la sección de radiación esta dispuesto en un arreglo horizontal a lo largo de las paredes laterales y techo de la cámara de combustión. El serpentín de la sección de convección es un banco de tubos horizontales colocados arriba de la cámara de combustión. Estos calentadores calientan horizontalmente con quemadores colocados en las paredes extremas. Las cargas típicas varían de 5 a 50 millones de BTU/Hr. Figura 1.13.

- Tubos horizontales tipo caja con calentamiento al extremo y sección de convección lateral: Aquí el serpentín de la sección de radiación se coloca horizontalmente a lo largo de las paredes laterales y techo de la cámara de combustión. El serpentín de la sección de convección es un banco de tubos horizontales colocados a un lado de la cámara. Se calienta la unidad horizontalmente con quemadores colocados en la pared extrema. Las cargas varían de 50 a 200 millones de BTU/Hr. Figura 1.14.
- Tubos horizontales doble calentamiento: Los tubos horizontales de la sección de radiación están acomodados en una sola hilera y son calentados de ambos lados. Estos calentadores normalmente usan quemadores verticales instalados en el piso. La carga térmica típica para cada cámara de este diseño es de entre 20 y 50 millones de BTU/Hr. Figura 1.15.

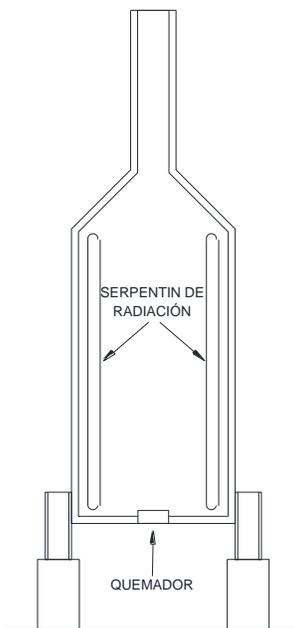


Figura 1.4. Cilíndrico vertical radiante. Fuente: Berman (1978)

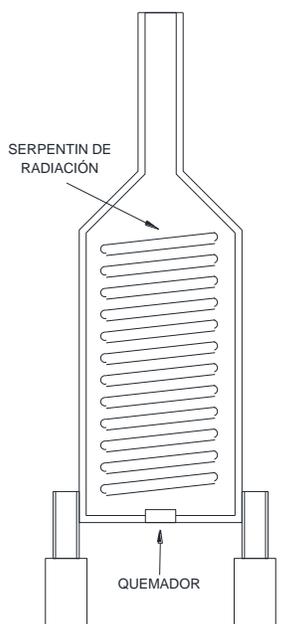


Figura 1.5. Cilíndrico vertical serpentín helicoidal. Fuente: Berman (1978)

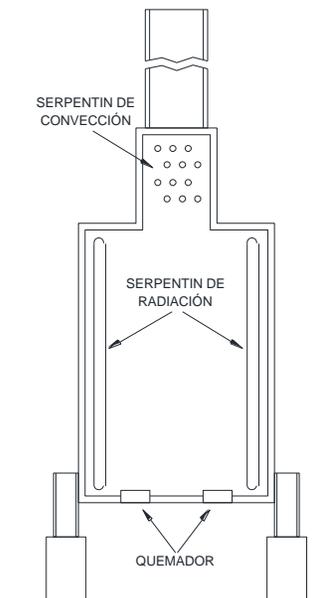


Figura 1.6. Cilíndrico vertical con sección de convección cruzada. Fuente: Berman (1978)

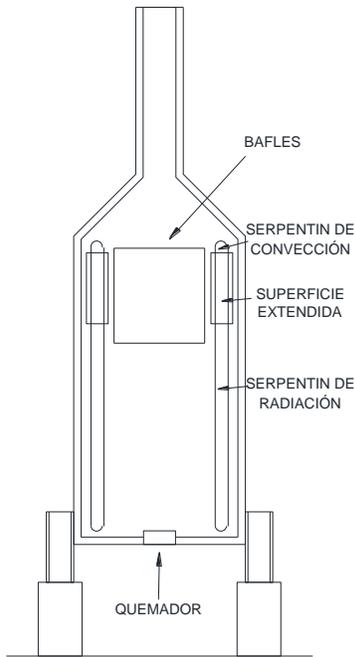


Figura 1.7. Cilíndrico vertical con convección integrada. Fuente (Berman 1978)

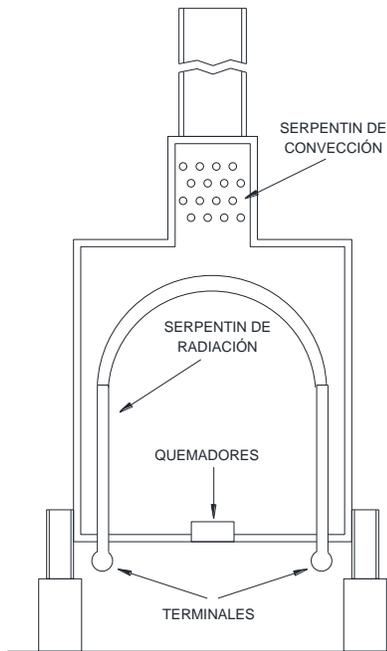


Figura 1.8. De arco. Fuente: Berman (1978)

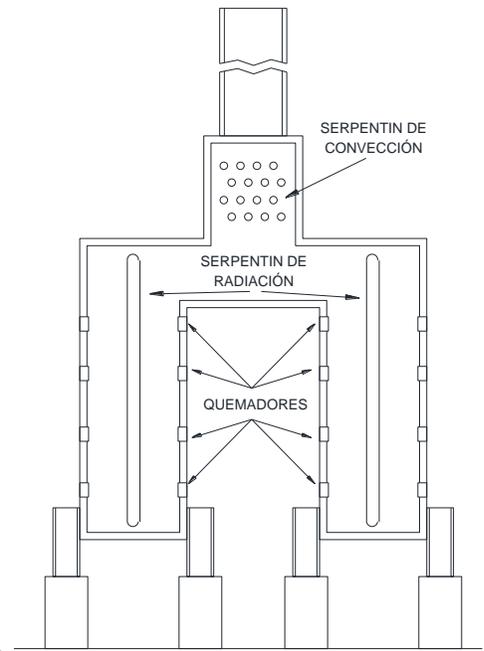


Figura 1.9. Tubos verticales calentamiento doble. Fuente: Berman (1978)

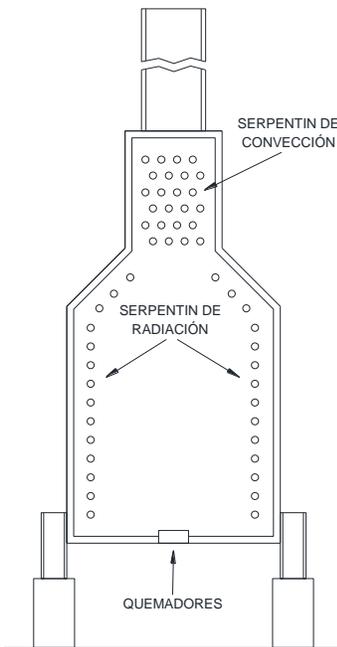


Figura 1.10. Cabaña. Fuente: Berman (1978)

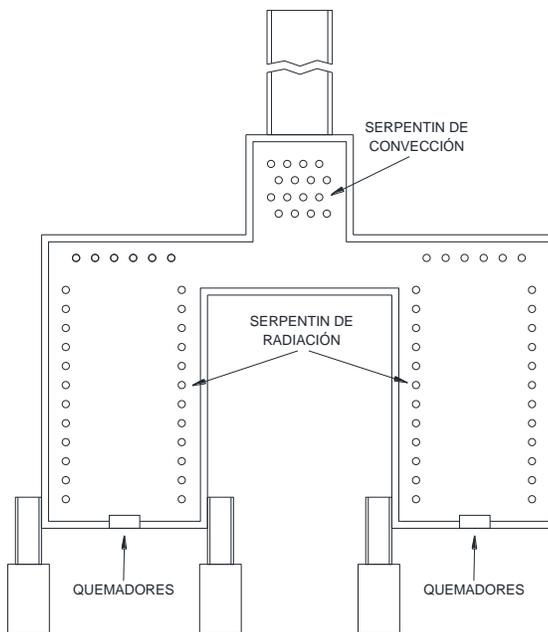


Figura 1.11. Caja doble compartimiento. Fuente: Berman (1978)

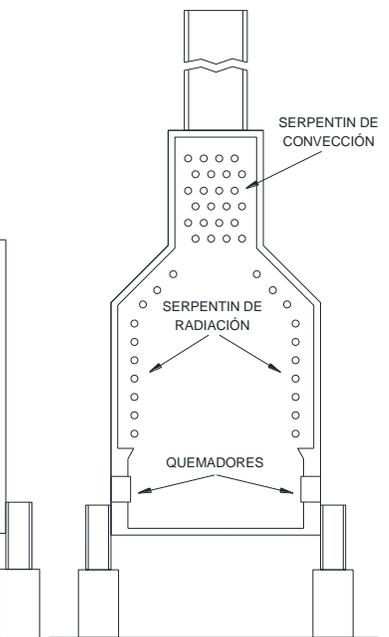


Figura 1.12. Cabaña con pared divisoria. Fuente: Berman (1978)

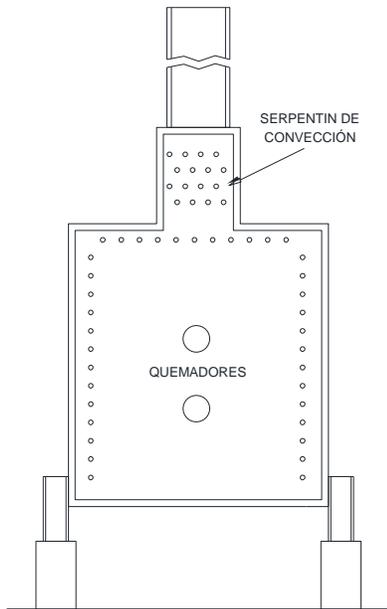


Figura 1.13. Caja con calentamiento al extremo.  
Fuente: Berman (1978)

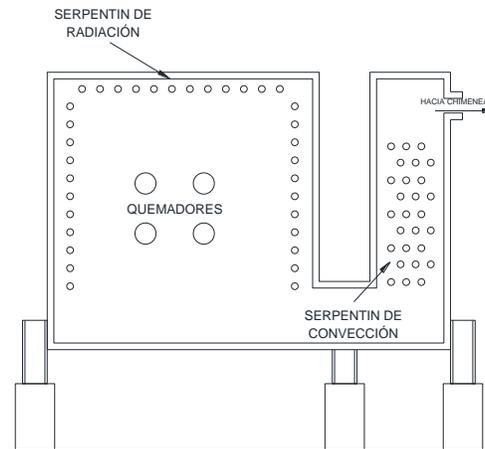


Figura 1.14. Caja con calentamiento al extremo y sección de convección lateral. Fuente: Berman (1978)

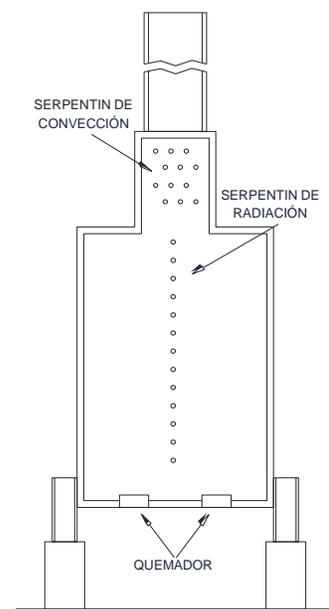


Figura 1.15. Tubos horizontales doble calentamiento. Fuente: Berman (1978)

#### 1.2.4 DE ACUERDO CON EL SUMINISTRO DE AIRE Y ELIMINACIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

De acuerdo con la compañía OGS (2023), los calentadores a fuego directo también se pueden clasificar de acuerdo al tipo de tiro que necesita el equipo para expulsar los gases producidos por los quemadores, y estos se pueden catalogar de la siguiente manera: tiro natural, tiro forzado, tiro inducido y tiro balanceado.

- Tiro natural: El tiro se mantiene gracias al flujo natural ascendente de gases calientes. El aire frío ingresa a los quemadores para reemplazar los gases de combustión que salen de la chimenea. El tiro se controla ajustando la posición de la compuerta en la chimenea. Los otros tipos de hornos dependen de ventiladores para ayudar a mantener el tiro.
- Tiro forzado: El ventilador suministra aire de combustión a los quemadores. El tiro forzado permite un control constante del aire en los quemadores.
- Tiro inducido: Es un tiro que se produce al descargar los gases de combustión fuera del horno con un ventilador ubicado entre la sección de convección y la chimenea.
- El horno utiliza dos ventiladores. Un ventilador suministra aire a los quemadores mientras que el otro descarga los gases de combustión del horno. El uso de dos ventiladores permite un mayor control sobre los factores que afectan a una combustión completa y eficiente.

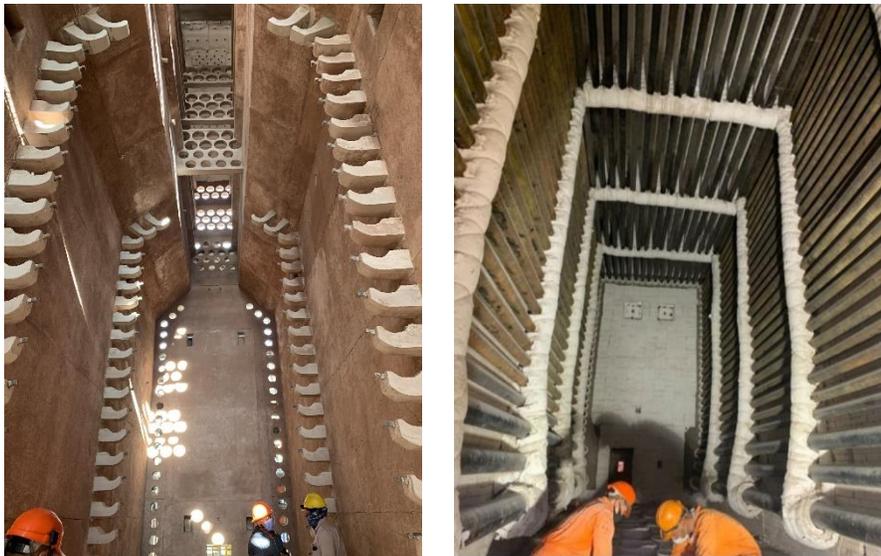
## 2.- CONCRETOS REFRACTARIOS

Los concretos refractarios son aquellos materiales cuyas propiedades permiten que pueda soportar temperaturas muy elevadas, sin embargo, estos deben soportar una temperatura en específico sin sufrir ningún tipo de alteración o deterioro en sus propiedades internas, por ejemplo, la corrosión. Esta condición permite que estos materiales sean utilizados en todos los hornos de proceso, ya sea en las refinerías, industria química, metalurgia, industrias de vidrio y cerámica.

### 2.1 INTRODUCCIÓN A LOS CONCRETOS REFRACTARIOS

Según Arredondo (2012) los materiales refractarios comenzaron a emplearse desde el desarrollo primitivo de las primeras cerámicas conocidas, utilizadas por el ser humano, al construir los hornos de cocción con los mismos materiales arcillosos con los que se hace la cerámica. Con el desarrollo de la metalurgia del hierro, fue necesario buscar materiales mas resistentes para la fundición de este.

Los materiales refractarios constituyen un conjunto de productos intermedios indispensables en un país desarrollado, ya que sin ellos se detendría toda la actividad industrial en la que se dan condiciones de operación severas (ataque químico, tensiones mecánicas, etc.) y en la que, casi siempre, se requiere la utilización de temperaturas elevadas. Procesos como la cocción, fusión, afinado de cualquier tipo de material, la calcinación, así como otros muchos, no pueden desarrollarse si los productos o los equipos de producción (hornos) no están protegidos por materiales refractarios. En la figura 2.1 se muestran materiales refractarios (concretos y morteros) ya instalados al interior de hornos de proceso (calentadores a fuego directo) en refinerías de proceso.



*Figura 2.1 Materiales refractarios en interior de calentadores. Fuente: Propia*

Los principales sectores de aplicación de los materiales refractarios, así como el tipo de instalación en la que se usan pueden verse en la tabla 2.1. En ella también se presenta la temperatura del proceso y tipo o tipos de refractario utilizados.

Tabla 2.1 Refractarios utilizados en la industria.

SECTOR	INSTALACION	TEMPERATURA DE PROCESO (°C)	REFRACTARIOS
INDUSTRIA PETROQUIMICA	CRACKING	900-1200	Monolíticos, aislantes
	HORNOS	1650	Ladrillos: silimanita, mullita
QUIMICA	HORNOS NEGROS DE HUMO	1600	Ladrillos: corindón aislantes
	CARBON ACTIVO	1400	Monolíticos sin hierro
	REACTIRES OBTENCION DE FOSFORO	1550	Ladrillos monolíticos de carbono sin hierro
ACERO	HORNOS DE COQUE PREPARACION	900-1200	Ladrillos: silicioso, silicoaluminoso, monoliticos
	MATERIAS PRIMAS HORNO ALTO	1700	Ladrillos: carbono, semigrafito, SiC, mulliticos silicoaluminosos
	ESTUFAS	1800	Ladrillos: silicoaluminosos, sílice, magnesita
	CUCHARAS TORPEDO	1500	Ladrillos: silicoaluminosos alta calidad
	CONVERTIDORES	1600-1700	Ladrillos básicos: magnesita, dolomita
	CUCHARAS TRANSPORTE ACERO	1600	Monoliticos y ladrillos, siliceos, dolomita, bauxita
	HORNO TRATAMIENTO TERMICO	900-1100	Monolíticos, ladrillos, mullita, corindon
CEMENTO	HORNOS ROTATORIOS	800-1600	Ladrillo: silicoaluminoso, mulliticos, magnesita, monolíticos
	PRECALENTADORES	800-1100	Monolíticos, resistentes a la abrasión

Fuente: Arredondo (2012).

## 2.2.- PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS REFRACTARIOS

Las propiedades que estos materiales presentan están en función de su composición química. De acuerdo con Arredondo (2012) la relación alúmina-sílice y los contenidos de impurezas, tales como los óxidos de hierro y los álcalis presentes ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ) van a determinar las temperaturas de fusión y la resistencia al ataque químico de los gases de combustión, especialmente en presencia de monóxido de carbono, libre y derivados de la combustión del azufre. Las principales propiedades de los materiales refractarios, de acuerdo con la norma API 936, son:

- Densidad aparente “*bulk density*” (ASTM C 134): Es la relación que hay entre el peso de refractario y el volumen, se expresa en libras por pie cúbico (pcf) o kilogramos por metro cúbico (Kg/m<sup>3</sup>). Es una medida indirecta de su capacidad calorífica o su habilidad de acumular calor.
- Porosidad aparente “*Apparent Porosity*” (ASTM C 830): Es la medida de los poros que están interconectados en la estructura del refractario. Tiene efecto directo en la habilidad del refractario de resistir la penetración de metales, escorias, gases y vapores. Por otra parte, a mayor porosidad, mayor efecto aislante del refractario ASTM C 704.
- Resistencia a la compresión en frío “*Cold Crushing Strenght*” (ASTM C 133): Es una característica que presenta el material refractario que está en estrecha relación con la compacidad, grado de vitrificación interna, granulometría y porosidad, así como con las demás características mecánicas. Normalmente puede repercutir sobre la resistencia a la abrasión y al choque, y sobre la posibilidad de rotura de aristas y esquinas en el manejo y almacenamiento del material. Se expresa generalmente en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado (Kg/cm<sup>2</sup>).
- Módulo de Ruptura (ASTM C 133): Es una variable importante en la caracterización de los materiales refractarios. La determinación de la carga máxima bajo altas temperaturas es una propiedad, que junto con las propiedades termofísicas, proporciona un parámetro importante para el control de calidad y el desarrollo de revestimientos de horno. Se define como la tensión máxima que un espécimen de prueba rectangular puede soportar en una prueba de flexión de 3 puntos hasta que se rompe, expresado en N/mm<sup>2</sup> o MPa.
- Cambio lineal permanente “*Permanent Linear Change*” (ASTM C113): Es la expansión o contracción que permanece en un producto refractario conformado que se calienta a una temperatura específica durante un tiempo específico y luego se enfría a temperatura ambiente.

Las pruebas más importantes para determinar la calidad del refractario son las pruebas de resistencia mecánica de módulo de ruptura y resistencia a la compresión. Son representativas de la liga cerámica, y de la buena calidad de los materiales utilizados en su fabricación, especialmente de los cementos refractarios. Ambas pruebas están ampliamente normadas por ASTM y NOM, ASTM C 133-84 y NMX-0-015-1988.

### 3.- INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE ANCLAJE Y FRONTERIZACIÓN

Previamente a la instalación del concreto refractario se debe preparar la superficie dentro del calentador donde será lanzado, en este capítulo abordaré los requisitos de acuerdo con la norma API 936 para liberar las áreas en conjunto con el cliente y un inspector certificado API 936.

#### 3.1 ALCANCES DEL PROYECTO

Debido a que el proyecto de la rehabilitación de los calentadores era demasiado extenso y abarcaba 4 áreas de mantenimiento como lo es la parte mecánica, civil, eléctrica e instrumentista, a continuación se mencionan los conceptos y los alcances referentes únicamente a la instalación del concreto refractario, dejando a un lado trabajos del área civil como lo son: aislamiento térmico en tubería de servicio y de proceso al exterior de los calentadores, protección anticorrosiva en envolvente, estructuras y tuberías de servicio al exterior de los calentadores, y el aislamiento térmico de accesorios al interior de los calentadores, como lo son los soportes de tuberías de proceso. En la tabla 3.1 se describen los alcances del proyecto en cuestión de aislamiento.

*Tabla 3.1 Alcances del proyecto para la instalación del concreto refractario en los calentadores.*

No.	CONCEPTOS	ALCANCES	UNIDAD
413	INSTALACIÓN DE CONCRETO REFRACTARIO AISLANTE EN PISO, LOCALIZADO EN EL ÁREA DE QUEMADORES DE LA ZONA DE RADIACION, CELDAS A Y B. DE 6" DE ESPESOR	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL SUMINISTRO DE:               <ol style="list-style-type: none"> <li>A. CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE, L:H:V 1:2:4</li> <li>B. COLCHA DE FIBRA CERÁMICA, DE 24" DE ANCHO, LONGITUD EN PIES 25', ESPESOR EN PULGADAS 1", ALÚMINA (%) 50, SILICE (%) 56, TEMP. MÁXIMA DE SERVICIO (°C) 1315°, DENSIDAD (LB/PIE<sup>3</sup>) # 8.</li> <li>C. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL SUMINISTRO DE MATERIALES CONSUMIBLES REQUERIDOS PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS AMPARADOS POR CONCEPTO DE OBRA.</li> </ol> </li> <li>2. ANTES DE LA DEMOLICIÓN EL CONTRATISTA DEBERÁ MARCAR CON UN DIBUJO LA SEPARACIÓN DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN EN PISO, LOCALIZADO EN EL AREA DE QUEMADORES DE LA ZONA DE RADIACIÓN PARA SU COLOCACIÓN, QUE SERÁN REVISADAS Y AVALADAS POR EL SUPERVISOR DE PEMEX.</li> <li>3. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE DEMOLICIÓN DEL PISO DAÑADO, LOCALIZADO EN EL ÁREA DE QUEMADORES DE LA ZONA DE RADIACIÓN, CELDAS A, B COMPUESTO DE CONCRETO REFRACTARIO AISLANTE DE 6" DE ESPESOR.</li> <li>4. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE CARGA, ACARREO, DESCARGA Y DISPOSICIÓN FINAL DEL ESCOMBRO PRODUCTO DE LA DEMOLICIÓN, EL LICITANTE MANDARÁ A DISPOSICIÓN FINAL LOS RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL EN LOS SITIOS AUTORIZADOS POR SEMARNAT Y ENTREGARÁ LOS MANIFIESTOS ORIGINALES.</li> <li>5. EL CONTRATISTA REALIZARÁ LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EN EL PISO, ELIMINANDO CONCRETO SUELTO, POLVO Y TODO LO QUE OBSTRUYA.</li> <li>6. EL CONTRATISTA REALIZARÁ LA COLOCACIÓN DE HILOS, REGLAS Y NIVELES PARA VERIFICAR HORIZONTALIDAD Y VERTICALIDAD DEL SISTEMA DE PISO POR INSTALAR</li> </ol>	M <sup>2</sup>

Tabla 3.1 Alcances del proyecto para la instalación del concreto refractario en los calentadores.

No.	CONCEPTOS	ALCANCES	UNIDAD
		<p>7. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE APLICACIÓN DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE L:H:V: 1:2:4, PARA NIVELACIÓN DE LA SUPERFICIE, DE 6" DE ESPESOR PROMEDIO.</p> <p>8. EL CONTRATISTA DEBE CONSIDERAR LA COLOCACIÓN DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN CON COLCHA DE FIBRA CERÁMICA, ANCHO EN PULGAAS 24", LONGITUD EN PIES 25', ESPESOR EN PULGADAS 1", ALUMINA (%) 50, SÍLICA (%) 56, TEMP. MÁXIMA DE SERVICIO (°C) 1315°, DENSIDAD (LB/PIE3) #8, DE ACUERDO CON EL DIBUJO PREVIO A LA DEMOLICIÓN, REVISADOS Y AVALADOS POR EL SUPERVISOR DE PEMEX.</p>	
414	COLOCACIÓN DE CONCRETO REFRACTARIO AISLANTE EN MURO LOCALIZADO EN LA ZONA DE RADIACIÓN, CELDAS A, B, COMPUESTO DE; 5" DE ESPESOR DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE	<p>1. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL SUMINISTRO DE:</p> <p>A. CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE, L:H:V 1:2:4</p> <p>B. ANCLA "V" RA-42 DE ACUERDO CON EL CATALOGO PAT, DE 4 ½" DE ALTURA, DE ¼" DE DIAMETRO.</p> <p>C. COLCHA DE FIBRA CERÁMICA, DE 24" DE ANCHO, LONGITUD EN PIES 25', ESPESOR EN PULGADAS 1", ALÚMINA (%) 50, SÍLICE (%) 56, TEMP. MÁXIMA DE SERVICIO (°C) 1315°, DENSIDAD (LB/PIE3) # 8.</p> <p>2. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL SUMINISTRO DE:</p> <p>A. MATERIALES DE APORTE DE SOLDADURA Y CONSUMIBLES REQUERIDOS PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS AMPARADOS POR EL CONCEPTO DE OBRA.</p> <p>3. ANTES DE LA DEMOLICIÓN, EL CONTRATISTA DEBERÁ MARCAR CON UN DIBUJO LA SEPARACIÓN DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN EN MURO, LOCALIZADO EN LA ZONA DE RADIACIÓN, CELDAS, PARA SU COLOCACIÓN, QUE SERÁN REVISADAS Y AVALADAS POR EL SUPERVISOR DE PEMEX.</p> <p>4. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE DEMOLICIÓN DE REFRACTARIO A NIVEL DE PISO EN PLACA DE MUROS DAÑADOS, LOCALIZADO EN EL ÁREA DE LA ZONA DE RADIACIÓN, CELDAS A, B, PAREDES; NORTE, SUR, ORIENTE Y PONIENTE, COMPUESTO DE; 5" DE ESPESOR DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE.</p> <p>5. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL RETIRO DEL SISTEMA DE ANCLAJE DAÑADO, DE MUROS DE LA ZONA DE RADIACIÓN, CELDAS A, B, PAREDES; NORTE, SUR, ORIENTE Y PONIENTE.</p> <p>6. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE CARGA, ACARREO, DESCARGA Y DISPOSICIÓN FINAL DEL ESCOMBRO PRODUCTO DE LA DEMOLICIÓN, EL LICITANTE MANDARÁ A DISPOSICIÓN FINAL LOS RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL EN LOS SITIOS AUTORIZADOS POR SEMARNAT Y ENTREGARÁ LOS MANIFIESTOS ORIGINALES.</p> <p>7. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE LIMPIEZA CON CHORRO DE ARENA SÍLICA (SP-7 LIMPIEZA RÁFAGA) PARA LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE, GRADO: METAL COMERCIAL, LIBRE DE CONTAMINACIÓN VISIBLE, TAL COMO ÓXIDO, CASCARILLA DE LAMINACIÓN, PINTURA EN MAL ESTADO, GRASAS, ACEITES O CUALQUIER MATERIAL EXTRAÑO, HASTA UN 95% DE LA SUPERFICIE Y EL 5% RESTANTE CONTENIENDO SOLAMENTE LIGERAS MANCHAS DISPERSAS DE ÓXIDO, PINTURA Y MATERIAL EXTRAÑO.</p> <p>8. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE, ELIMINANDO CONCRETO SUELTO, POLVO Y TODO LO QUE INTERIFERA EN LA REALIZACION DEL TRABAJO.</p> <p>9. LIMPIEZA Y RETIRO DE ARENA SILICA DEL INTERIOR DEL CALENTADOR</p>	M <sup>2</sup>

Tabla 3.1 Alcances del proyecto para la instalación del concreto refractario en los calentadores.

No.	CONCEPTOS	ALCANCES	UNIDAD
		<ol style="list-style-type: none"> <li>10. COLOCACIÓN DE HILOS, REGLAS Y NIVELES PARA VERIFICAR HORIZONTALIDAD Y VERTICALIDAD DEL MURO.</li> <li>11. COLOCACIÓN DE ANCLAS COMO SE INDICA EN PLANO.</li> <li>12. APLICACIÓN DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE L:H:V 1:2:4 A NIVEL DE PISO EN PLACA DE MUROS.</li> <li>13. EL CONTRATISTA DEBE CONSIDERAR LA COLOCACIÓN DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN CON COLCHA DE FIBRA CERÁMICA, ANCHO EN PULGADAS 24", LONGITUD EN PIES 25', ESPESOR EN PULGADAS 1", ALUMINA (%) 50, SÍLICA (%) 56, TEMP. MÁXIMA DE SERVICIO (°C) 1315°, DENSIDAD (LB/PIE3) # 8, DE ACUERDO CON EL DIBUJO PREVIO A LA DEMOLICIÓN, REVISADOS Y AVALADOS POR EL SUPERVISOR DE PEMEX.</li> <li>14. EL CONTRATISTA DEBE CONSIDERAR UN INSPECTOR API-936 CERTIFICADO VIGENTE PARA LA CORRECTA INSTALACIÓN DEL CONCRETO REFRACTARIO. INCLUYE PRUEBAS DE LABORATORIO DERTIFICADO Y CALIFICACIÓN DEL PERSONAL</li> </ol>	
415	COLOCACIÓN DE CONCRETO REFRACTARIO AISLANTE EN TECHO, LOCALIZADO EN LA ZONA DE RADIACIÓN, CELDAS A, B COMPUESTO DE; 6" DE ESPESOR DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. EL CONTRATISTA REALIZARA EL SUMINISTRO DE: <ol style="list-style-type: none"> <li>A. CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE, L:H:V 1:2:4</li> <li>B. ANCLA "V" RA-42 DE ACUERDO CON EL CATALOGO PAT, DE 4 ½" DE ALTURA, DE ¼" DE DIAMETRO.</li> <li>C. COLCHA DE FIBRA CERÁMICA, DE 24" DE ANCHO, LONGITUD EN PIES 25', ESPESOR EN PULGADAS 1", ALÚMINA (%) 50, SÍLICE (%) 56, TEMP. MÁXIMA DE SERVICIO (°C) 1315°, DENSIDAD (LB/PIE3) # 8.</li> </ol> </li> <li>2. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL SUMINISTRO DE: <ol style="list-style-type: none"> <li>A. MATERIALES DE APORTE DE SOLDADURA Y CONSUMIBLES REQUERIDOS PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS AMPARADOS POR EL CONCEPTO DE OBRA.</li> </ol> </li> <li>3. ANTES DE LA DEMOLICIÓN, EL CONTRATISTA DEBERÁ MARCAR CON UN DIBUJO LA SEPARACIÓN DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN EN TECHO, LOCALIZADO EN LA ZONA DE RADIACIÓN CELDAS A. B, PARA SU COLOCACIÓN, QUE SERÁN REVISADAS Y AVALADAS POR EL SUPERVISOR DE PEMEX.</li> <li>4. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE DEMOLICIÓN DE REFRACTARIO A NIVEL DE PISO EN PLACA DE TECHO, LOCALIZADO EN EL ÁREA DE LA ZONA DE RADIACIÓN, CELDAS A, B, COMPUESTO DE; 6" DE ESPESOR DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE.</li> <li>5. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL RETIRO DEL SISTEMA DE ANCLAJE DAÑADO, DE MUROS DE LA ZONA DE RADIACIÓN, CELDAS A, B, PAREDES; NORTE, SUR, ORIENTE Y PONIENTE.</li> <li>6. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE CARGA, ACARREO, DESCARGA Y DISPOSICIÓN FINAL DEL ESCOMBRO PRODUCTO DE LA DEMOLICIÓN, EL LICITANTE MANDARÁ A DISPOSICIÓN FINAL LOS RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL EN LOS SITIOS AUTORIZADOS POR SEMARNAT Y ENTREGARÁ LOS MANIFIESTOS ORIGINALES.</li> <li>7. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE LIMPIEZA CON CHORRO DE ARENA SÍLICA (SP-7 LIMPIEZA RÁFAGA) PARA LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE), GRADO: METAL COMERCIAL, LIBRE DE CONTAMINACIÓN VISIBLE, TAL COMO ÓXIDO, CASCARILLA DE LAMINACIÓN, PINTURA EN MAL ESTADO, GRASAS, ACEITES O CUALQUIER MATERIAL EXTRAÑO, HASTA UN 95% DE LA SUPERFICIE Y EL 5% RESTANTE CONTENIENDO SOLAMENTE LIGERAS MANCHAS DISPERSAS DE ÓXIDO, PINTURA Y MATERIAL EXTRAÑO.</li> </ol>	M <sup>2</sup>

Tabla 3.1 Alcances del proyecto para la instalación del concreto refractario en los calentadores.

No.	CONCEPTOS	ALCANCES	UNIDAD
		<ol style="list-style-type: none"> <li>8. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE, ELIMINANDO CONCRETO SUELTO, POLVO Y TODO LO QUE INTERIFERA EN LA REALIZACIÓN DEL TRABAJO.</li> <li>9. COLOCACIÓN DE ANCLAS COMO SE INDICA EN PLANO.</li> <li>10. APLICACIÓN DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE L:H:V 1:2:4 A NIVEL DE PISO EN PLACA DE MUROS.</li> <li>11. EL CONTRATISTA DEBE CONSIDERAR LA COLOCACIÓN DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN CON COLCHA DE FIBRA CERÁMICA, ANCHO EN PULGADAS 24", LONGITUD EN PIES 25', ESPESOR EN PULGADAS 1", ALUMINA (%) 50, SILICA (%) 56, TEMP. MÁXIMA DE SERVICIO (°C) 1315°, DENSIDAD (LB/PIE3) # 8, DE ACUERDO CON EL DIBUJO PREVIO A LA DEMOLICIÓN, REVISADOS Y AVALADOS POR EL SUPERVISOR DE PEMEX.</li> <li>12. EL CONTRATISTA DEBE CONSIDERAR UN INSPECTOR API-936 CERTIFICADO VIGENTE PARA LA CORRECTA INSTALACIÓN DEL CONCRETO REFRACTARIO. INCLUYE PRUEBAS DE LABORATORIO CERTIFICADO Y CALIFICACIÓN DEL PERSONAL.</li> </ol>	
416	<p>CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA REFRACTARIO EN PISOS, DE LOS DUCTOS DE GASES DE COMBUSTIÓN, QUE COMUNICAN LA ZONA DE RADIACIÓN CELDAS A, B, CON LAS ZONAS DE CONVECCIÓN. COMPUESTO DE; 6" DE ESPESOR DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL SUMINISTRO DE:               <ol style="list-style-type: none"> <li>A. CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE, L:H:V 1:2:4</li> <li>B. ANCLA "V" RA-42 DE ACUERDO CON EL CATALOGO PAT, DE 4 ½" DE ALTURA, DE ¼" DE DIAMETRO.</li> <li>C. COLCHA DE FIBRA CERÁMICA, DE 24" DE ANCHO, LONGITUD EN PIES 25', ESPESOR EN PULGADAS 1", ALÚMINA (%) 50, SÍLICE (%) 56, TEMP. MÁXIMA DE SERVICIO (°C) 1315°, DENSIDAD (LB/PIE3) # 8.</li> </ol> </li> <li>2. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL SUMINISTRO DE:               <ol style="list-style-type: none"> <li>A. MATERIALES DE APORTE DE SOLDADURA.</li> <li>B. TRIPLAY Y MADERAS PARA CIMBRAS (FRONTERAS).</li> <li>C. CONSUMIBLES REQUERIDOS PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS AMPARADOS POR EL CONCEPTO DE OBRA.</li> </ol> </li> <li>3. ANTES DE LA DEMOLICIÓN, EL CONTRATISTA DEBERÁ MARCAR CON UN DIBUJO LA SEPARACIÓN DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN EN PISOS, PAREDES Y TECHOS, DE LOS DUCTOS DE GASES DE COMBUSTIÓN QUE COMUNICAN LA ZONA DE RADIACIÓN PARA SU COLOCACIÓN, QUE SERÁN REVISADAS Y AVALADAS POR EL SUPERVISOR DE PEMEX.</li> <li>4. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE DEMOLICIÓN DE PISO DAÑADO, LOCALIZADO EN EL AREA DE PISO DE CONVECCIÓN COMPUESTO DE CONCRETO REFRACTARIO AISLANTE DE 6" DE ESPESOR.</li> <li>5. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL RETIRO DEL SISTEMA DE ANCLAJE DAÑADO</li> <li>6. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE CARGA, ACARREO, DESCARGA Y DISPOSICIÓN FINAL DEL ESCOMBRO PRODUCTO DE LA DEMOLICIÓN, EL LICITANTE MANDARÁ A DISPOSICIÓN FINAL LOS RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL EN LOS SITIOS AUTORIZADOS POR SEMARNAT Y ENTREGARÁ LOS MANIFIESTOS ORIGINALES.</li> <li>7. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE REALIZANDO LIMPIEZA CON CHORRO DE ARENA (SAND BLAS), ANTES DE INSTALAR EL REFRACTARIO, EN LA PLACA BASE DE LA PARED.</li> <li>8. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE LIMPIEZA CON CHORRO DE ARENA SÍLICA (SP-7 LIMPIEZA RAFAGA) PARA LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE, GRADO: METAL COMERCIAL, LIBRE DE CONTAMINACIÓN VISIBLE, TAL COMO</li> </ol>	M <sup>2</sup>

Tabla 3.1 Alcances del proyecto para la instalación del concreto refractario en los calentadores.

No.	CONCEPTOS	ALCANCES	UNIDAD
		<p>ÓXIDO, CASCARILLA DE LAMINACIÓN, PINTURA EN MAL ESTADO, GRASAS, ACEITES O CUALQUIER OTRO MATERIAL EXTRAÑO, HASTA UN 95% DE LA SUPERFICIE Y EL 5% RESTANTE CONTENIEDO SOLAMENTE LIGERAS MANCHAS DISPERSAS DE ÓXIDO, PINTURA Y MATERIAL EXTRAÑO.</p> <p>9. INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE ANCLAJE; ANCLA "V" TIPO RA-42, DE ACUERDO CON EL CATÁLOGO PAT, DE 4 ½" DE ALTURA, DE ¼" DE DIAMETRO. EL ARREGLO SERÁ A CADA 6" DE ESPACIAMIENTO, EN TRESBOLILLO. APLICACIÓN DE CORDÓN DE SOLDADURA DE ¼" DE ESPESOR X 1" DE LONGITUD, PARA FIJAR EL ANCLA A LA BASE DE LA PARED</p> <p>10. HABILITADO, COLOCACIÓN Y POSTERIORMENTE EL RETIRO DE CIMBRAS DE TRIPLAY Y MADERAS, (FRONTERAS).</p> <p>11. INSTALACIÓN DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE L:H:V 1:2:4 (PARA APLICACIÓN GUNEADO). EN PISO.</p> <p>12. EL CONTRATISTA DEBE CONSIDERAR LA COLOCACIÓN DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN CON COLCHA DE FIBRA CERÁMICA, ANCHO EN PULGADAS 24", LONGITUD EN PIES 25', ESPESOR EN PULGADAS 1", ALÚMINA (%) 50, SÍLICA (%) 56, TEMP. MÁXIMA DE SERVICIO (°C) 1315°, DENSIDAD (LB/PIE3) # 8, DE ACUERDO CON EL DIBUJO PREVIO A LA DEMOLICIÓN, REVISADOS Y AVALADOS POR EL SUPERVISOR DE PEMEX.</p> <p>13. EL CONTRATISTA DEBE CONSIDERAR UN INSPECTOR API-936 CERTIFICADO VIGENTE PARA LA CORRECTA PREPARACIÓN E INSTALACIÓN DEL CONCRETO REFRACTARIO. INCLUYE PRUEBAS DE LABORATORIO, CERTIFICADO Y CALIFICACIÓN DEL PERSONAL.</p>	
417	COLOCACIÓN DE REFRACTARIO EN PAREDES DE LAS ZONAS DE CONVECCIÓN, COMPUESTO DE; 6" DE ESPESOR Y EN PARED NORTE Y SUR DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE	<p>1. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL SUMINISTRO DE:</p> <p>A. CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE, L:H:V 1:2:4</p> <p>B. ANCLA "V" RA-42 DE ACUERDO CON EL CATÁLOGO PAT, DE 4 ½" DE ALTURA, DE ¼" DE DIÁMETRO, MATERIAL ACERO INOXIDABLE, ESPECIFICACIÓN ASTM A-276 T-304.</p> <p>C. COLCHA DE FIBRA CERÁMICA, DE 24" DE ANCHO, LONGITUD EN PIES 25', ESPESOR EN PULGADAS 1", ALUMINA (%) 50, SILICE (%) 56, TEMP. MÁXIMA DE SERVICIO (°C) 1315°, DENSIDAD (LB/PIE3) # 8.</p> <p>2. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL SUMINISTRO DE:</p> <p>A. MATERIALES DE APORTE DE SOLDADURA.</p> <p>B. TRIPLAY Y MADERAS PARA CIMBRAS (FRONTERAS).</p> <p>C. CONSUMIBLES REQUERIDOS PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS AMPARADOS POR EL CONCEPTO DE OBRA.</p> <p>3. ANTES DE LA DEMOLICIÓN, EL CONTRATISTA DEBERÁ MARCAR CON UN DIBUJO LA SEPARACIÓN DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN EN PISOS, PAREDES Y TECHOS, DE LOS DUCTOS DE GASES DE COMBUSTIÓN QUE COMUNICAN LA ZONA DE RADIACIÓN PARA SU COLOCACIÓN, QUE SERAN REVISADAS Y AVALADAS POR EL SUPERVISOR DE PEMEX.</p> <p>4. INCLUYE LOS TRABAJOS DE DEMOLICIÓN DE REFRACTARIO DAÑADO A NIVEL DE PISO EN PLACA DE PAREDES DE LA ZONA DE CONVECCIÓN.</p> <p>5. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL RETIRO DEL SISTEMA DE ANCLAJE DAÑADO</p> <p>6. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE CARGA, ACARREO, DESCARGA Y DISPOSICIÓN FINAL DEL ESCOMBRO PRODUCTO DE LA DEMOLICIÓN, EL LICITANTE MANDARÁ A DISPOSICIÓN FINAL LOS RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL EN</p>	M <sup>2</sup>

Tabla 3.1 Alcances del proyecto para la instalación del concreto refractario en los calentadores.

No.	CONCEPTOS	ALCANCES	UNIDAD
		<p>LOS SITIOS AUTORIZADOS POR SEMARNAT Y ENTREGARÁ LOS MANIFIESTOS ORIGINALES.</p> <p>7. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE REALIZANDO LIMPIEZA CON CHORRO DE ARENA (SAND BLAS), ANTES DE INSTALAR EL REFRACTARIO, EN LA PLACA BASE DE LA PARED.</p> <p>8. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE LIMPIEZA CON CHORRO DE ARENA SÍLICA (SP-7 LIMPIEZA RAFAGA) PARA LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE, GRADO: METAL COMERCIAL, LIBRE DE CONTAMINACIÓN VISIBLE, TAL COMO ÓXIDO, CASCARILLA DE LAMINACIÓN, PINTURA EN MAL ESTADO, GRASAS, ACEITES O CUALQUIER OTRO MATERIAL EXTRAÑO, HASTA UN 95% DE LA SUPERFICIE Y EL 5% RESTANTE CONTENIEDO SOLAMENTE LIGERAS MANCHAS DISPERSAS DE ÓXIDO, PINTURA Y MATERIAL EXTRAÑO.</p> <p>9. INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE ANCLAJE; ANCLA "V" TIPO RA-42, DE ACUERDO CON EL CATÁLOGO PAT, DE 4 ½" DE ALTURA, DE ¼" DE DIÁMETRO. EL ARREGLO SERÁ A CADA 6" DE ESPACIAMIENTO, EN TRESBOLILLO. APLICACIÓN DE CORDON DE SOLDADURA DE ¼" DE ESPESOR X 1" DE LONGITUD, PARA FIJAR EL ANCLA A LA BASE DE LA PARED</p> <p>10. HABILITADO, COLOCACIÓN Y POSTERIORMENTE EL RETIRO DE CIMBRAS DE TRIPLAY Y MADERAS, (FRONTERAS).</p> <p>11. INSTALACIÓN DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE L:H:V 1:2:4 (PARA APLICACIÓN GUNEADO). EN PISO.</p> <p>12. EL CONTRATISTA DEBE CONSIDERAR LA COLOCACION DE LAS JUNTAS DE EXPANSION CON COLCHA DE FIBRA CERÁMICA, ANCHO EN PULGADAS 24", LONGITUD EN PIES 25', ESPESOR EN PULGADAS 1", ALÚMINA (%) 50, SÍLICA (%) 56, TEMP. MÁXIMA DE SERVICIO (°C) 1315°, DENSIDAD (LB/PIE3) # 8, DE ACUERDO CON EL DIBUJO PREVIO A LA DEMOLICIÓN, REVISADOS Y AVALADOS POR EL SUPERVISOR DE PEMEX.</p> <p>13. EL CONTRATISTA DEBE CONSIDERAR UN INSPECTOR API-936 CERTIFICADO VIGENTE PARA LA CORRECTA PREPARACIÓN E INSTALACIÓN DEL CONCRETO REFRACTARIO. INCLUYE PRUEBAS DE LABORATORIO, CERTIFICADO Y CALIFICACIÓN DEL PERSONAL.</p>	
418	CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA REFRACTARIO EN PAREDES DE LAS CHIMENEAS, COMPUESTO DE 2" DE ESPESOR DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE. ELEVACIONES; HASTA 60 M.	<p>1. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL SUMINISTRO DE:</p> <p>A. CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE, L:H 1:4</p> <p>B. ANCLA REFRACTARIA (TIPO RA-18), MATERIAL ACERO INOXIDABLE, ESPECIFICACIÓN ASTM A-276 T-304, TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVICIO 760 °C, LONGITUD (PULG) 1 3/8", FORMA ANCLA EN "G" PARA MALLA.</p> <p>C. MALLA DE ACERO INOXIDABLE ESPECIFICACIÓN ASTM A-276 T-304, CALIBRE 11, MEDIDA DEL ROMBO 2" X 2", ANCHO/ALTO 2.00 M.</p> <p>D. COLCHA DE FIBRA CERÁMICA, DE 24" DE ANCHO, LONGITUD EN PIES 25', ESPESOR EN PULGADAS 1", ALUMINA (%) 50, SILICE (%) 56, TEMP. MÁXIMA DE SERVICIO (°C) 1315°, DENSIDAD (LB/PIE3) # 8.</p> <p>2. EL CONTRATISTA REALIZARÁ EL SUMINISTRO DE:</p> <p>A. MATERIALES DE APORTE DE SOLDADURA.</p> <p>B. TRIPLAY Y MADERAS PARA CIMBRAS (FRONTERAS).</p> <p>C. ALAMBRE DE ACERO INOXIDABLE, AISI TIPO 304, CALIBRE 18, 1.25 MM</p> <p>D. CONSUMIBLES REQUERIDOS PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS AMPARADOS POR EL CONCEPTO DE OBRA.</p>	M <sup>2</sup>

Tabla 3.1 Alcances del proyecto para la instalación del concreto refractario en los calentadores.

No.	CONCEPTOS	ALCANCES	UNIDAD
		<ol style="list-style-type: none"> <li>3. RETIRO DE SISTEMA DE ANCLAJE DAÑADO</li> <li>4. TRABAJOS DE CARGA, ACARREO, DESCARGA Y DISPOSICIÓN FINAL DEL ESCOMBRO PRODUCTO DE LA DEMOLICIÓN, EL LICITANTE MANDARÁ A DISPOSICIÓN FINAL LOS RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL EN LOS SITIOS AUTORIZADOS POR SEMARNAT Y ENTREGARÁ LOS MANIFIESTOS ORIGINALES.</li> <li>5. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE REALIZANDO LIMPIEZA CON CHORRO DE ARENA (SAND BLAS), ANTES DE INSTALAR EL REFRACTARIO, EN LA PLACA BASE DE LA PARED.</li> <li>6. EL CONTRATISTA REALIZARÁ TRABAJOS DE LIMPIEZA CON CHORRO DE ARENA SÍLICA (SP-7 LIMPIEZA RAFAGA) PARA LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE, GRADO: METAL COMERCIAL, LIBRE DE CONTAMINACIÓN VISIBLE, TAL COMO ÓXIDO, CASCARILLA DE LAMINACIÓN, PINTURA EN MAL ESTADO, GRASAS, ACEITES O CUALQUIER OTRO MATERIAL EXTRAÑO, HASTA UN 95% DE LA SUPERFICIE Y EL 5% RESTANTE CONTENIENDO SOLAMENTE LIGERAS MANCHAS DISPERSAS DE ÓXIDO, PINTURA Y MATERIAL EXTRAÑO.</li> <li>7. INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE ANCLAJE.</li> <li>8. ANCLA REFRACTARIA (TIPO RA-18), MATERIAL ACERO INOXIDABLE, ESPECIFICACIÓN ASTM A-276 T-304, TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVICIO 760 °C, LONGITUD (PULG) 1 3/8", ESPESOR (PULG) 1/8", ANCHO (PULG) 3/8", FORMA ANCLA EN "G" PARA MALLA. EL ARREGLO DE LA COLOCACIÓN DEL ANCLAJE SERÁ A CADA 6" DE ESPACIAMIENTO, EN TRESBOLILLO. APLICACIÓN DE 2 CORDONES DE SOLDADURA DE ¼" DE ESPESOR X 3/8" DE LONGITUD PARA FIJAR EL ANCLA A LA PLACA BASE DE LA PARED.</li> <li>9. HABILITADO E INSTALACIÓN DE MALLA DE ACERO INOXIDABLE, ESPECIFICACIÓN ASTM A-276 T-304, CALIBRE 11, MEDIDA DEL ROMBO 2" X 2", ANCHO/ALTO 2.00 M.</li> <li>10. HABILITADO, COLOCACIÓN Y POSTERIORMENTE EL RETIRO DE CIMBRAS DE TRIPLAY Y MADERAS, (FRONTERAS).</li> <li>11. INSTALACIÓN DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE L:H: 1:2: (PARA APLICACIÓN GUNEADO).</li> <li>12. EL CONTRATISTA DEBE CONSIDERAR LA COLOCACIÓN DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN CON COLCHA DE FIBRA CERÁMICA, ANCHO EN PULGADAS 24", LONGITUD EN PIES 25', ESPESOR EN PULGADAS 1", ALÚMINA (%) 50, SÍLICA (%) 56, TEMP. MÁXIMA DE SERVICIO (°C) 1315°, DENSIDAD (LB/PIE3) # 8, DE ACUERDO CON EL DIBUJO PREVIO A LA DEMOLICIÓN, REVISADOS Y AVALADOS POR EL SUPERVISOR DE PEMEX.</li> <li>13. EL CONTRATISTA DEBE CONSIDERAR UN INSPECTOR API-936 CERTIFICADO VIGENTE PARA LA CORRECTA PREPARACIÓN E INSTALACIÓN DEL CONCRETO REFRACTARIO. INCLUYE PRUEBAS DE LABORATORIO, CERTIFICADO Y CALIFICACIÓN DEL PERSONAL.</li> </ol>	

Fuente: PEMEX Concursos Abiertos (2022).

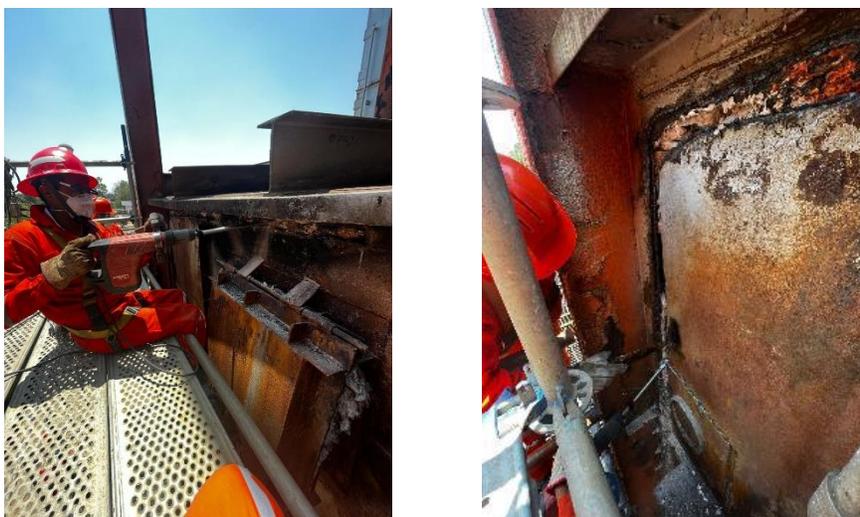
Estos son los conceptos y alcances referentes a la instalación de concreto para un calentador, pero debido a que las especificaciones de anclas y espesores es la misma para los 3, simplemente con mencionar los alcances de uno de los 3 es suficiente para explicar el proceso de instalación, desde la demolición del concreto existente, hasta las pruebas de laboratorio.

### 3.2 DEMOLICIÓN DE CONCRETO REFRACTARIO EXISTENTE

Previo a todos los trabajos de trazado e instalación de anclas, mapeos, fronterización e instalación de concreto refractario, se debe comenzar con el procedimiento de demolición de concreto existente tanto en espacios confinados, como en altura y en sitios autorizados a nivel de piso. Debido al tamaño de los calentadores y al corto tiempo de ejecución, se optó por demoler unas secciones delgadas de concreto para dismantelar la placa aun con concreto y terminar de demolerlo a nivel de piso, como se explica a continuación.

Se debe verificar siempre antes del inicio de alguna actividad que se cuente con el permiso de trabajo y el análisis de seguridad en el trabajo. Se debe identificar el tipo de concreto a demoler e inspeccionar el área por posibles riesgos latentes de seguridad.

Se comienza con el corte de la envolvente en secciones de aproximadamente 2.00 m x 2.00 m con un ancho de 2 a 3 pulgadas, como se muestra en la figura 3.1, para que de esta manera sea posible realizar la demolición del concreto sin que exista alguna obstrucción. Se dejan secciones sin cortar (candados) de 30.00 cm para que sirvan de soporte a la sección hasta el momento en que sea sujeta por la grúa.



*Figura 3.1 Demolición de concreto en envolvente. Fuente: Propia.*

Una vez demolido el concreto, se requiere cortar el excedente, partes pequeñas de concreto refractario o ladrillo, según sea el caso que no hayan sido removidas por los equipos mecánicos o eléctricos, se deben retirar de forma manual utilizando martillo, marro, cincel, según aplique. Parcialmente se ubicará el material producto de la demolición (escombros) en un área aledaña a la

intervenida. Los ayudantes de obra civil, por medio de herramientas menores como palas y carretillas, como se muestra en la figura 3.2, recogerán el material demolido y lo depositarán en el área debidamente señalada como acopio provsional del escombros.

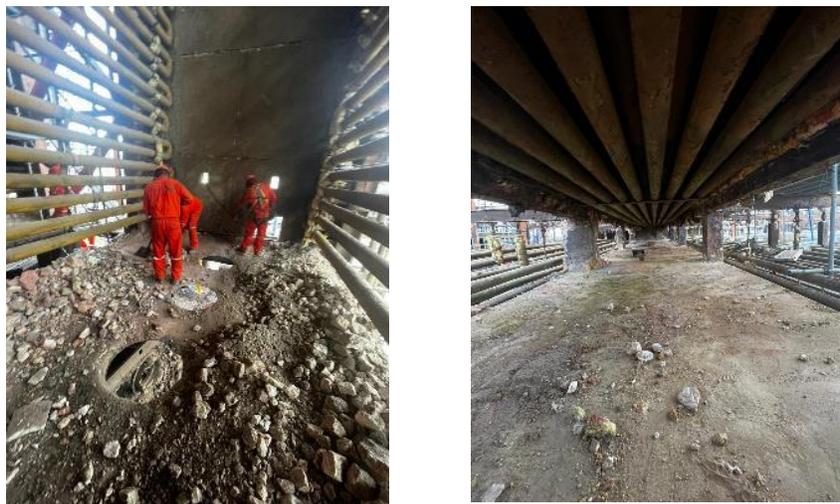


Figura 3.2. Limpieza de escombros. Fuente: Propia.

Posterior a la limpieza en las áreas contiguas a los calentadores se recoge todo el escombros posible por medio de retroexcavadora y volteo, como se muestra en la figura 3.3, y es llevado a un sitio autorizado por Pemex para continuar con la demolición de las placas con concreto. La demolición finaliza con la disposición final de los residuos a sitios autorizados por SEMARNAT. Debido a que el concreto refractario se considera como residuo solido impregnado con hidrocarburo se maneja de acuerdo con la NOM-161-SEMARNAT-2011. Hay que tener en cuenta que la demolición y posterior instalación de nuevo concreto refractario se realiza en gran parte del calentador aproximadamente cada 8 años, que es cada 2 paros de planta para mantenimiento, ya que el mantenimiento general a las plantas se realiza cada 4 años, aunque de ser necesario se realizan mantenimientos menores cuando se requiere.

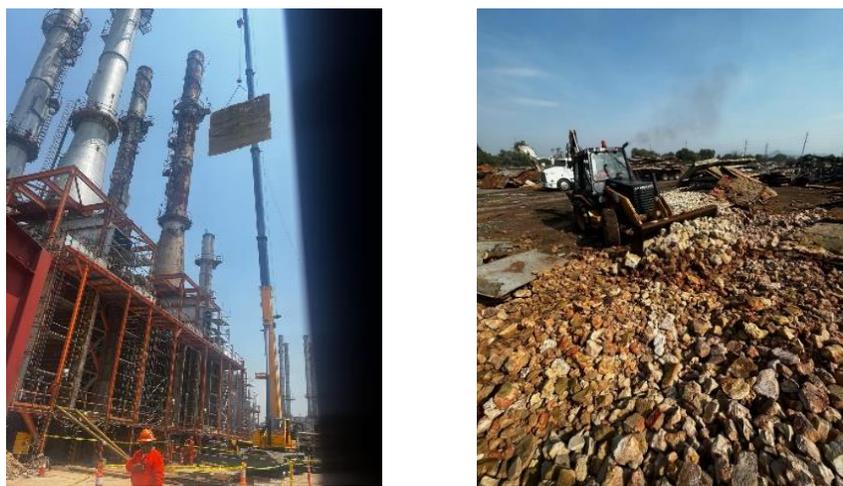


Figura 3.3. Recolección y demolición de concreto restante en placas de la envoltura del calentador. Fuente: Propia.

### 3.3 ACTIVIDADES PREVIAS AL LANZADO DE REFRACTARIO

Previo a la instalación del refractario la envolvente ya debe estar fabricada y soldada a la estructura principal del calentador, además de las juntas de soldadura de la tubería de proceso y sus respectivos relevados de esfuerzo. Esto con el fin de evitar obstrucciones entre cuadrillas de trabajo de la fase mecánica, de pruebas y la fase civil.

#### 3.3.1 TRAZO Y DISTRIBUCIÓN DE ANCLAS

Se debe marcar con gis o tiza industrial la ubicación de las anclas, estas deben de tener la separación marcada en planos originales de diseño. Pudiendo tomar como referencia los puntos donde se retiran las anclas existentes si el equipo no es nuevo.

La soldadura de estos elementos debe realizarse después de haber completado cualquier radiografía u otro examen no destructivo en las soldaduras de unión de los paneles o láminas del equipo, pero antes del tratamiento térmico posterior a la soldadura. No soldar los anclajes encima de las costuras de soldadura de la envolvente, cuando en la marcación sean coincidentes encima de los cordones de la soldadura se deben soldar a una pulgada al lado del cordón de la soldadura. Así que los anclajes deben colocarse en lados alternos a una pulgada de la costura. Se debe pulir toda la soldadura y escoria de soldadura que interferirá con la colocación de anclajes, barras y collares en el caso de equipos donde se hayan demolido concreto viejo. La distribución de las anclas debe de ser en forma diamante y la separación entre ellas no debe ser mayor al doble del espesor del concreto refractario aislante para paredes verticales, en techos, áreas cóncavas sobre cabezas debe guiarse de acuerdo con la tabla 3.3.1 adjunta o debe instalarse como lo que recomiende el fabricante o licenciador del equipo mostrado en los planos y/o especificaciones técnicas. La orientación de las anclas debe ser variada para evitar tener desprendimientos en la cara.

- Anclas en paredes verticales para 5" y 6" de espesor.

El sistema de anclaje está formado por anclas tipo "V" RA-42 de acuerdo con el catalogo PAT (Productos para Alta Temperatura), de 4 ½" de altura y de ¼" de diámetro, las cuales se colocaron en formato de "tresbolillo" (triángulo equilátero) a una distancia del doble del espesor del concreto de acuerdo con los planos de fabricación y a los alcances del proyecto. Figura 3.4 y Tabla 3.1

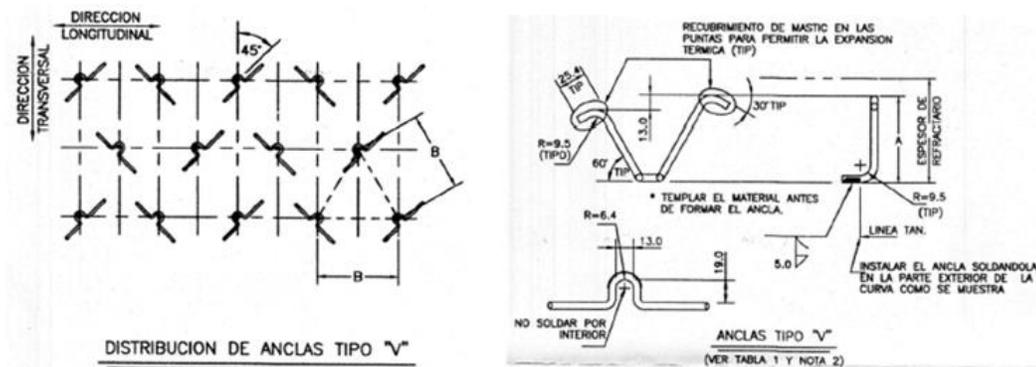


Figura 3.4. Distribución de anclas en paredes verticales. Fuente: Planos del proyecto.

Tabla 3.1. Distribución de anclas en paredes verticales.

ANCLA TIPO "V"				
ESP.	A	B	No. ANCLAS POR M2	PESO (KG)
38.0	25			
51.0	38.0	127.0	56	
76.0				
127.0	102.0	254.0	20	
152.0	127.0	305.0	12	

Fuente: Planos del proyecto.

Esta distribución de anclas y el tipo de ancla misma se utilizó en la mayor parte de los calentadores, tanto paredes norte, sur, oriente y poniente, como se muestra en la figura 3.5.



Figura 3.5. Anclas instaladas en paredes verticales. Fuente: Propia.

- Anclas en techos para 6" de espesor

El sistema de anclaje está formado por anclas tipo "V" RA-42 de acuerdo con el catálogo PAT (Productos para Alta Temperatura), de 4 ½" de altura y de ¼" de diámetro, las cuales se colocaron en formato de "tresbolillo" (triángulo equilátero) a una distancia del 1.5 veces el espesor del concreto de acuerdo con los planos de fabricación y a los alcances del proyecto. Figura 3.6

PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DE ANCLAS PARA EL TECHO DE LA ZONA DE RADIACIÓN CELDAS A Y B DEL CALENTADOR BA-101 A

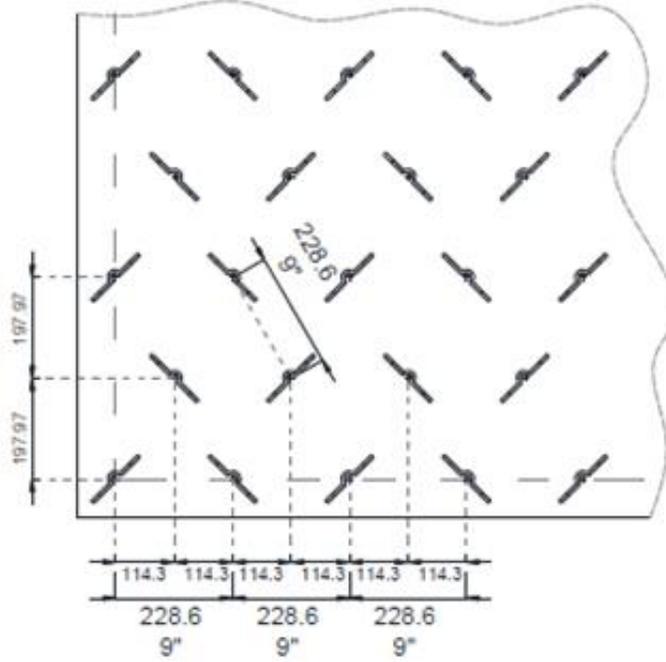


Figura 3.6. Distribución de anclas en techo. Fuente: Planos del proyecto

Esta distribución de anclas se utilizó para los techos de las 6 zonas de radiación de los 3 calentadores. Figura 3.7

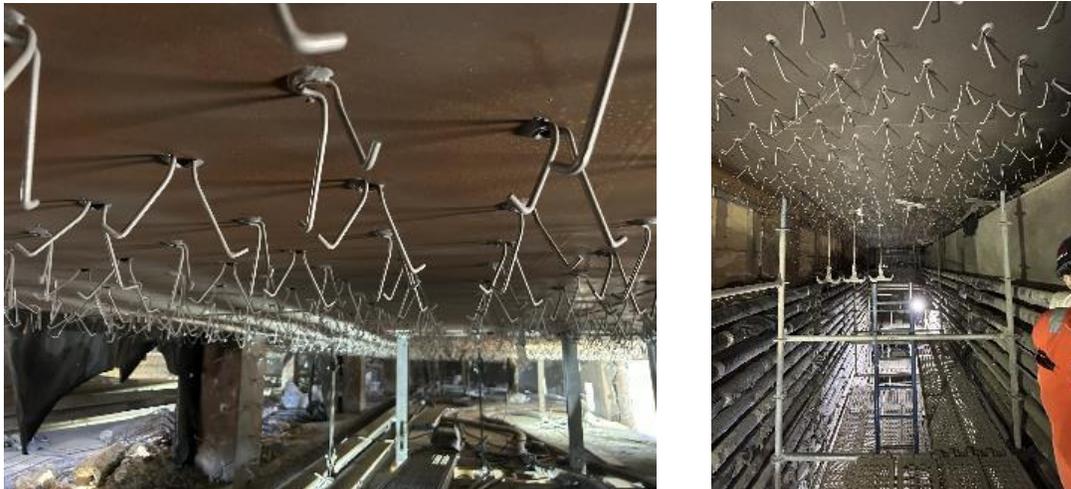


Figura 3.7. Anclas instaladas en techos. Fuente: Propia.

- Anclas y malla de acero inoxidable en chimeneas para un espesor de 2".

El sistema de anclaje esta formado por anclas tipo "G" de 1 3/8" de largo, 5/8" de ancho y 1/8" de espesor, las cuales se colocaron en forma de triangulo isósceles de 12" x 10". Además de la malla de acero inoxidable calibre 11 con una medida de rombo de 2" x 2", de acuerdo con los planos de fabricación y los alcances del proyecto. Figura 3.8 y 3.9.

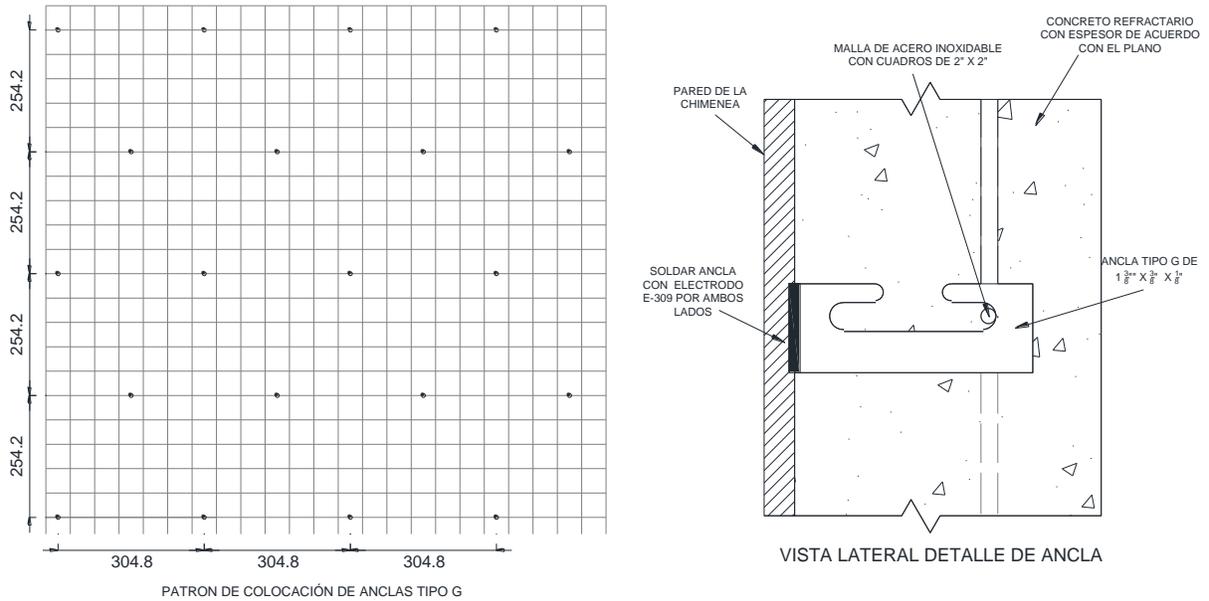


Figura 3.8. Distribución de anclas tipo "G" en chimenea. Fuente: Planos del proyecto.

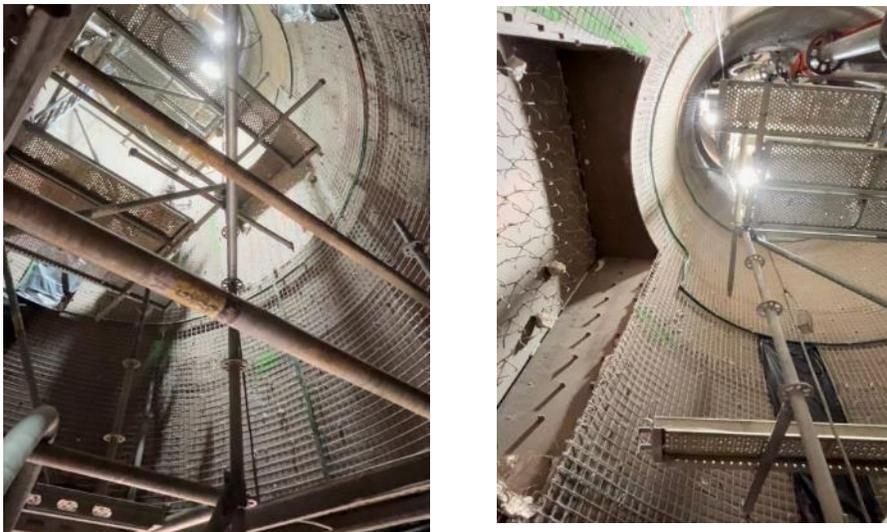


Figura 3.9. Anclas y malla en chimeneas. Fuente: Propia.

- Soldadura en anclas

Deberá verificarse la compatibilidad de los electrodos utilizados teniendo en consideración que se van a soldar anclas en acero inoxidable 304 contra las paredes de acero al carbón del calentador. La soldadura instalada en las anclas no debe impedir el movimiento de dilatación de esta para evitar esfuerzos anormales en el refractario. Se verificará la correcta instalación de las anclas, ancla por ancla. Realizándose las correcciones que resulten con anomalías. Ver figura 3.10 y 3.11.

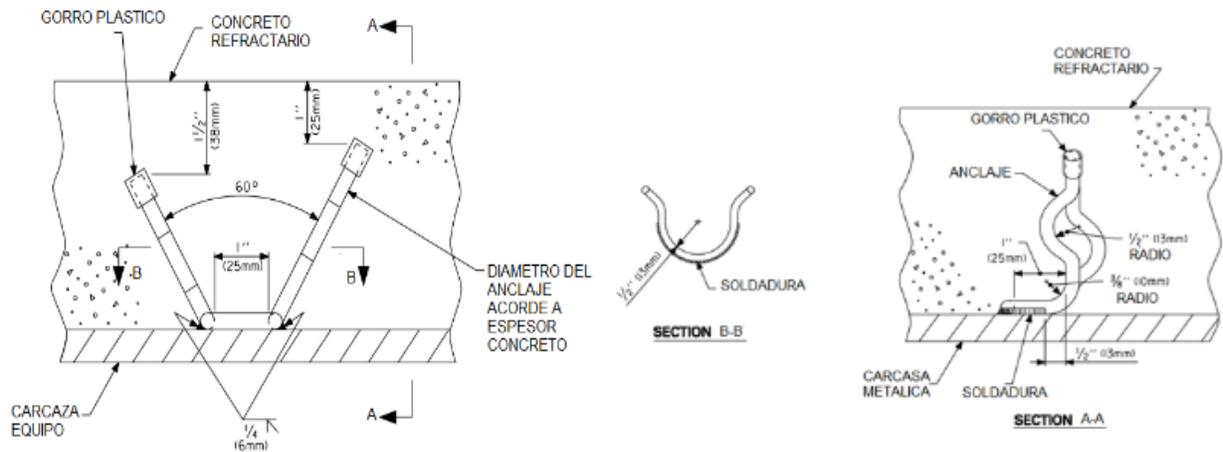


Figura 3.10. Aplicación de soldadura en anclas. Fuente: Planos del proyecto.

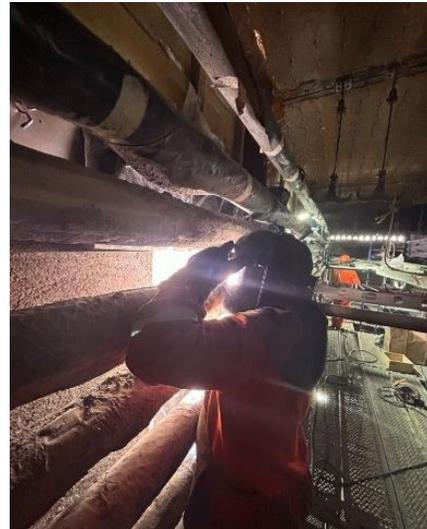
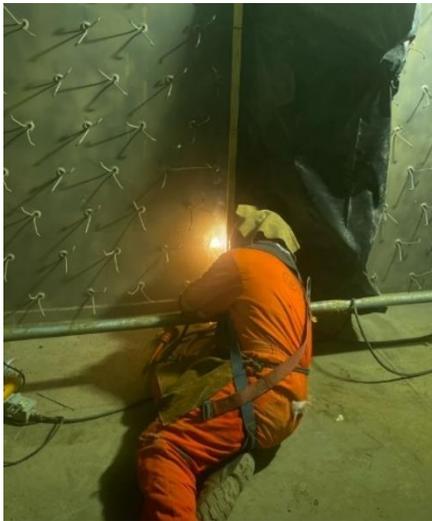


Figura 3.11. Aplicación de soldadura en sitio a las anclas. Fuente: Propia.

Deberán colocarse capuchones plásticos o compuesto de hule o cinta (masking tape) en las puntas de las anclas, de 13 mm de longitud y entre 0,75-1,25 mm de espesor antes de la aplicación del concreto refractario.

### 3.3.2 MAPEO DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN

Posterior a la instalación de las anclas en las áreas de instalación del refractario se procede a la colocación de fronteras (cimbras), tomando en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La altura de cada piedra o sección se coloca de acuerdo con la altura de la sección del andamio, en este caso es a cada 2 metros de alto.
- El ancho de cada piedra se deberá repartir de acuerdo con lo largo del calentador y cuidando que las juntas verticales no coincidan con las columnas donde hay soportes de tuberías. Cuidando tener un mínimo de 1.00 m y un máximo de 3.00 m.
- No debe quedar una junta vertical corrida a lo alto del calentador, se debe traslapar al menos 8" una sección con otra

En este proyecto se realizó un mapeo en conjunto con la supervisión del cliente y un inspector API 936, a continuación, se ilustran diagramas de distribución de placas estimados, según las dimensiones de las áreas de los calentadores. Estas medidas pueden cambiar en campo según se considere, manteniendo las especificaciones y normas aplicables.

En la figura 3.12, se presenta la vista frontal del calentador BA-101 A, para la cual se seccionaron sus paredes exteriores en 5 secciones horizontales, al igual que las paredes interiores con la diferencia de que la última sección de abajo hacia arriba presenta un cambio de dirección hacia el piso de convección.

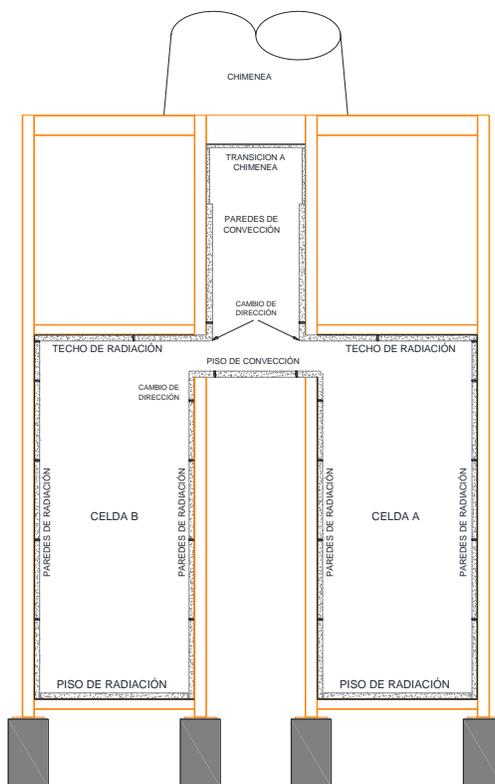


Figura 3.12. Distribución de juntas para el concreto refractario en las paredes laterales del calentador BA-101 B. Fuente: Planos del proyecto.

- Mapeo de los pisos de las zonas de radiación

El mapeo para el piso se torna un poco irregular debido a la posición de los quemadores del calentador, pero de igual manera manteniendo los traslapes entre sección y sección. Ver figura 3.13.

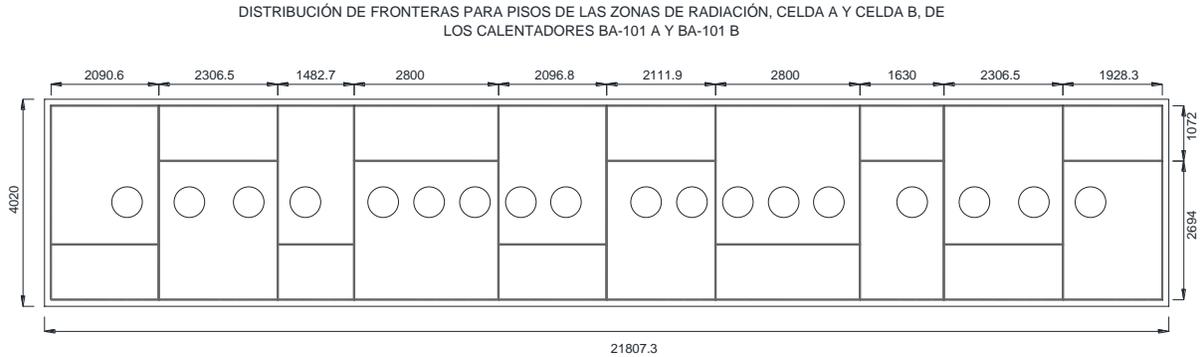


Figura 3.13. Distribución de juntas de expansión en los pisos de las zonas de radiación. Fuente: Planos del proyecto.

- Mapeo de las paredes laterales de las zonas de radiación

En las paredes laterales exteriores e interiores se dejaron para el final las secciones de las columnas debido a que es ahí donde se encuentran los soportes de los tubos de radiación, se lanzaron primero las secciones intermedias y se dejaron al final las columnas 1, 4, 7, 10 y 13. Ver figura 3.14.

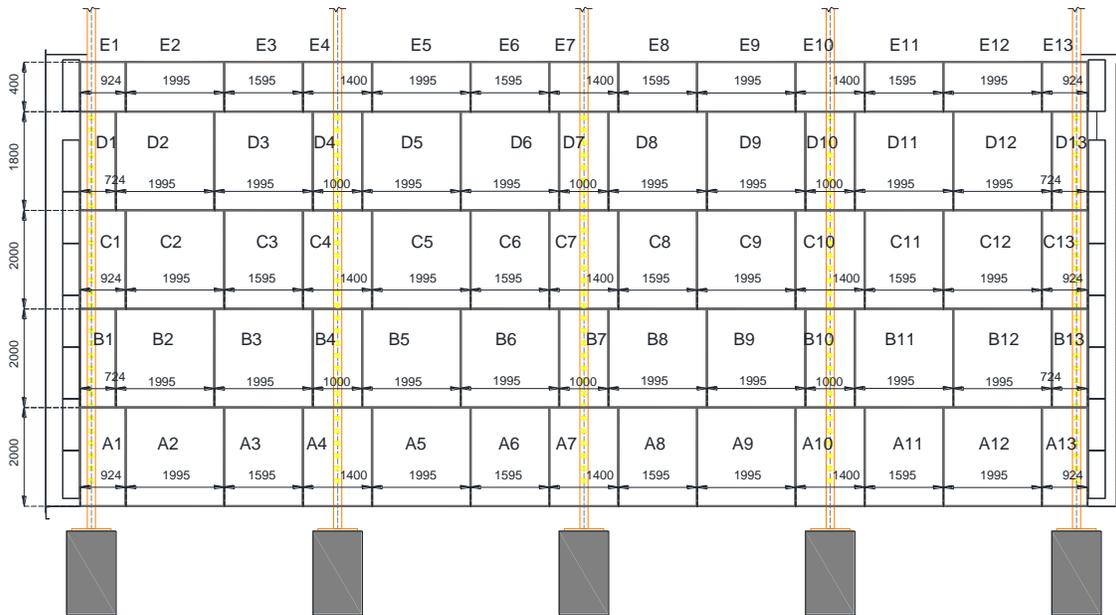


Figura 3.14. Distribución de las juntas de expansión en las paredes laterales de los calentadores. Fuente: Planos del proyecto

- Mapeo de las paredes frontales de las zonas de radiación

En las paredes frontales de igual manera se hizo un traslape entre secciones para evitar las fugas térmicas. Ver figura 3.15.

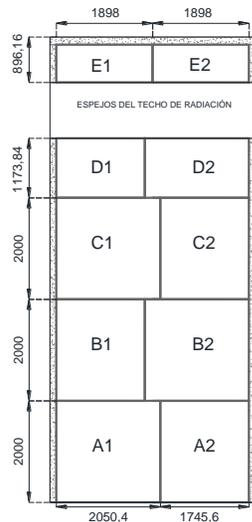


Figura 3.15. Distribución de juntas de expansión en paredes frontales. Fuente: Planos del proyecto

- Mapeo de los techos de las zonas de radiación

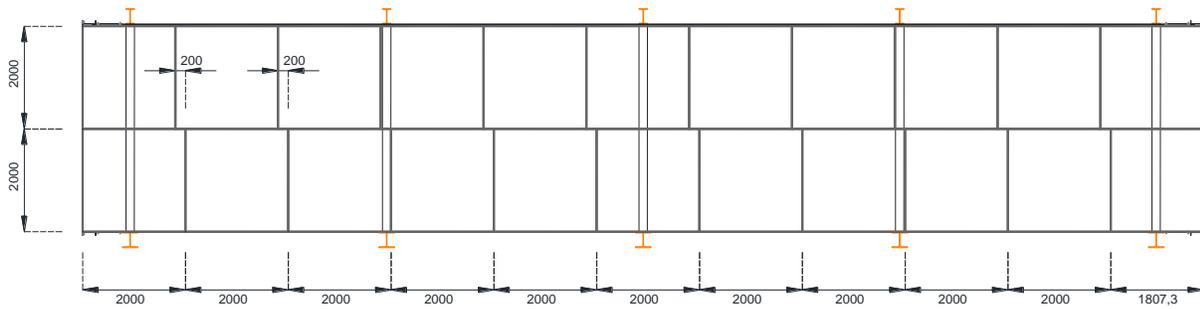


Figura 3.16. Juntas de expansión en techos de las zonas de radiación. Fuente: Planos del proyecto.

- Mapeo de los pisos de convección

En los 3 pisos de convección se utilizaron juntas corridas debido a que en esa sección los gases viajan en sentido contrario a la dirección del piso. Ver figura 3.17.

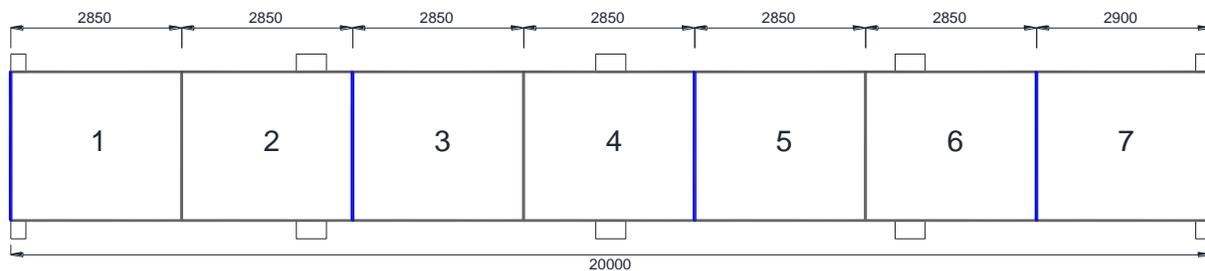


Figura 3.17. Juntas de expansión en piso de convección. Fuente: Planos del proyecto.

- Mapeo de las paredes de convección

Las paredes de convección fueron fabricadas por secciones entre columnas y se lanzaron individualmente a nivel de piso. Ver figura 3.18.

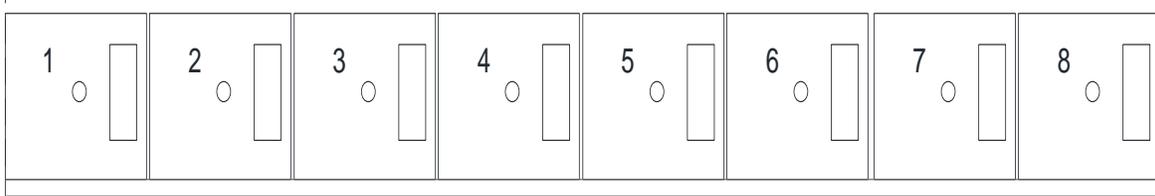


Figura 3.18 Diagrama de secciones de paredes de convección. Fuente: Planos del proyecto.

- Mapeo de la chimenea

Las chimeneas se dividieron horizontalmente en 23 anillos de 2.00 metros de alto cada uno. Ver figura 3.19.

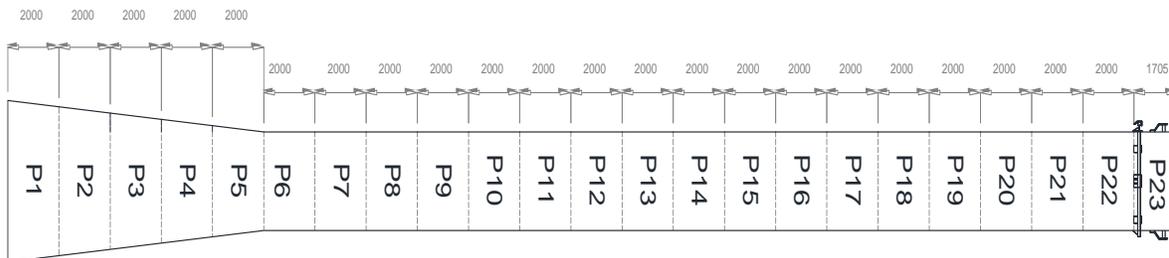


Figura 3.19. Distribución de anillos en chimeneas de los calentadores. Fuente: Planos del proyecto.

### 3.3.3 PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES

En cuanto se completa la instalación de las anclas y se realiza la inspección de la soldadura de estas y de la envolvente del calentador (paredes, techos y pisos) se procede a realizar la limpieza mecánica de la superficie, que para este proyecto de acuerdo con los alcances, fue una limpieza con chorro de arena sílica (sand blast) con un grado de limpieza SP-6 metal comercial, el cual se puede traducir en remover toda corrosión hasta que aproximadamente dos tercios de cada 9 pulgadas cuadradas este libre de todo residuo visible. Posterior a esta limpieza, se deberá remover el polvo y la arena del interior. Figura 3.20.



Figura 3.20. Aplicación de sand blast en interior de envolvente y chimenea. Fuente: Propia.

Posterior a la limpieza, se procede a la colocación de la cimbra o formaletas de madera de acuerdo con el mapeo autorizado y procurando dejar un espacio de al menos 1 pulgada entre la punta del ancla y la formaleta, esto para garantizar un buen recubrimiento para el ancla, ver figura 3.21. Al mismo tiempo, debido a que no se retiraron los tubos de los serpentines del calentador estos se tienen que proteger para que no se pegue el concreto a la superficie de los tubos, se pueden proteger con lonas o con polietileno. Así mismo, a todas las anclas se les debe colocar capuchones en las puntas las cuales sirven como juntas de expansión cuando el calentador esta trabajando, de otra forma la dilatación del material del ancla puede tronar el concreto debido a la expansión producida por las altas temperaturas alcanzadas al interior del equipo.

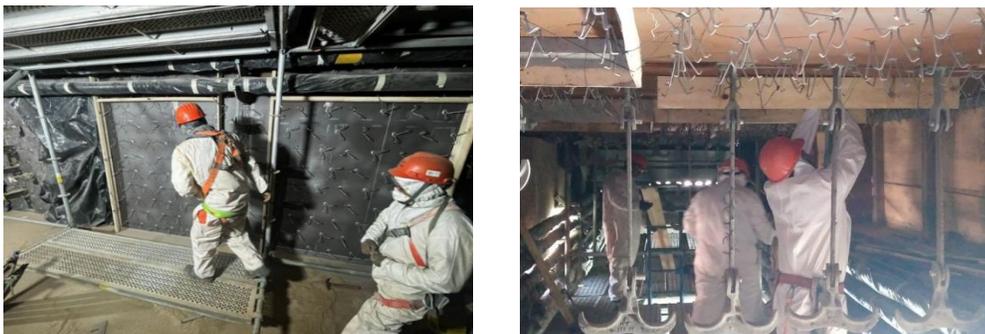


Figura 3.21. Colocación de fronteras de madera en paredes de los calentadores. Fuente: Propia.

Una vez que se revisaron todos los puntos previos a la instalación del concreto, se liberan las zonas programadas para el lanzamiento de refractario por parte del cliente, el contratista y el inspector API 936.

## 4.- INSTALACIÓN DE CONCRETO REFRACTARIO TIPO AISLANTE

### 4.1 PROCEDIMIENTO DE LANZADO

El lanzado de concreto comienza desde la revisión de los equipos y de la calidad del agua, una vez que se ha asegurado que los compresores, bombas de agua, mezcladoras y gunitadoras de concreto están listas para usarse, y que además las áreas de lanzado ya están liberadas por parte de los responsables (inspector API 936 y supervisor de PEMEX) se procede a realizar el premezclado del concreto refractario en la mezcladora de paletas, se colocan 4 bultos de 25 kg de concreto refractario y se le vierten de 8% a 10% de agua (de acuerdo con la ficha técnica del material), es decir, 8 a 10 litros por cada 100 kg, y se mezcla durante dos minutos. Figura 4.1.



Figura 4.1. Premezclado de concreto refractario. Fuente: Propia.

Una vez que se terminó el premezclado se vacía la mezcladora y se recoge con botes el concreto para posteriormente vaciarlo en la tolva de la maquina gunitadora, aproximadamente dos botes por carga (38 litros), este procedimiento se repite las veces que sea necesario hasta terminar el lanzado de la sección de concreto. Esta parte de la instalación requiere de una cuadrilla compuesta por:

- 1 operador de maquina gunitadora
- 2 ayudantes para vaciar los bultos de concreto refractario
- 2 ayudantes para llenar las tolvas de la maquina gunitadora

Esto sin considerar el personal del área de calidad que debe estar recopilando la información por cada premezclado que se realiza.

En el área de instalación debe estar preparado el lanzador, además de un personal de apoyo que será el enlace por medio de radio que estará dando indicaciones al operador de la máquina, para indicarle si requiere más material o más agua. También se requieren entre 2 y 3 oficiales refractoristas (dependiendo del tamaño de la piedra) quienes se encargarán de realizar el recorte y dar el acabado rugoso final necesario a la sección lanzada. Figura 4.2.



Figura 4.2. Lanzado de concreto refractario en sitio. Fuente: Propia.

Esta parte de la instalación requiere de una cuadrilla compuesta por:

- 1 lanzador de refractario
- 1 oficial de enlace
- 3 oficiales refractoristas

En total para la fase de lanzado (sin contar la parte de la preparación de las superficies) se requiere de una cuadrilla de 10 personas por cada maquina gunitadora.

#### 4.2 PRUEBAS EN CAMPO A LOS INSTALADORES DE REFRACTARIO

Como un requisito del estándar API 936 todos los operadores de lanzado de concreto deben presentar una prueba de lanzado en campo, quienes serán evaluados por el inspector API 936 y el Supervisor Civil por parte del cliente en este caso refinería de PEMEX, Miguel Hidalgo de Tula de Allende. Para la realización de estas pruebas cada operador debe preparar un panel en triplay para la prueba.

El examen será de la siguiente manera: Se debe fabricar un panel de prueba que mida 24 pulgadas (610 mm) x 24 pulgadas (610 mm) con espesor de refractario y el mismo tipo de ancla que el trabajo de instalación real.

El panel de prueba se montará en estructura inclinada a 45 grados sobre la horizontal y soportado sobre un marco de tal manera que el punto medio del panel este aproximadamente a 6 pies (1.82 m) sobre el nivel del suelo. El operador demostrará sus habilidades al proyectar el panel de prueba en esta posición inclinada.

Este es el método de aplicación del concreto refractario, así que para su aplicación la boquilla es mantenida en un ángulo entre 45° y 90° con respecto a la pared y aproximadamente 45-60 cm separada de la superficie de trabajo, ver figuras 4.3 y 4.4. Esta boquilla es movida en un movimiento circular completando el espesor sobre el área del panel designado, empezando desde la parte baja de la pared hacia arriba, luego de arriba hacia abajo rellenando el centro al final. Figura 4.5.



Figura 4.3. Prueba de instalación de concreto refractario. Fuente: Propia.

Las secciones más bajas y las esquinas son generalmente proyectadas primero para que los rebotes no se entrapen en ellas. Se debe tener cuidado para asegurar que los rebotes caigan fuera del área de trabajo y no queden atrapados. Esto puede causar laminación o puntos de baja densidad en el panel.

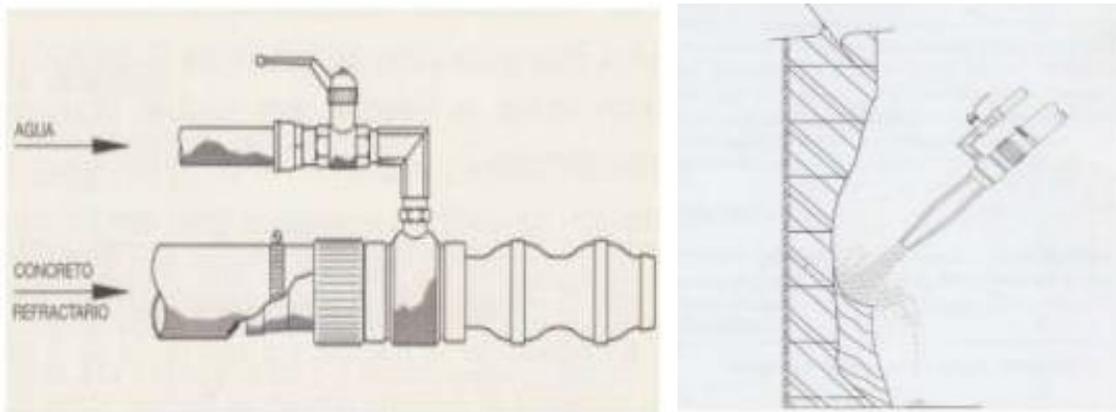


Figura 4.4. Posición de boquilla para lanzamiento de concreto. Fuente: Procedimiento de instalación de concreto refractario (2023)

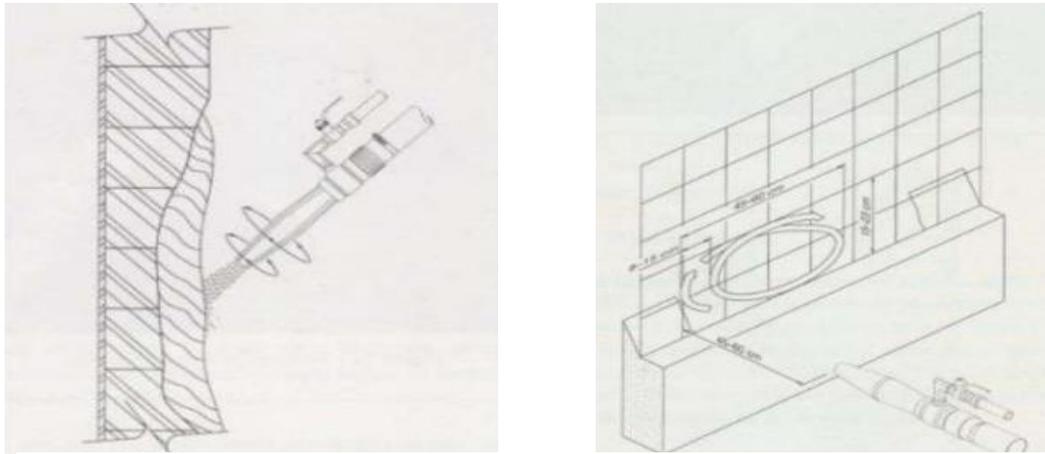


Figura 4.5. Movimiento de la boquilla en lanzado de concreto refractario. Fuente: Procedimiento de instalación de concreto refractario (2023)

El panel de prueba deberá sellarse y airearse por un período de 18 horas como mínimo, posteriormente se realizará prueba de martillo golpeando ligeramente para escuchar si hay vacíos o laminaciones.

El panel de prueba se construirá con la parte trasera removible para la inspección visual del concreto, figura 4.6. El panel deberá estar seccionado y se inspeccionarán las superficies cortadas en busca de vacíos, laminaciones, ni uniformidades y/o rebote.



Figura 4.6. Inspección de los paneles de prueba. Fuente: Propia.

Las muestras de prueba (número y tipo según tabla de preparación de especímenes) se cortarán de cada panel y probarán para cumplimiento a los estándares físicos, estándares de propiedad para densidad, cambio lineal permanente, resistencia a la compresión en frío y resistencia a la abrasión (cuando aplique).

Los resultados satisfactorios de examen y prueba según el método antes descrito servirán para calificar los procedimientos de mezcla e instalación. Ningún operador debe aplicar refractario hasta que no haya sido calificado.

El refractario deberá ser aplicado dentro de 4 meses siguientes a las pruebas de cualificación iniciales. Si el periodo inicial de cualificación se excede, el lote de refractario puede ser recalificado. La recalificación permite el uso por un periodo de tres meses adicionales después de cada prueba de recalificación, hasta completar el tiempo de vida útil suministrado por el fabricante.

### 4.3 MAQUINARIA EMPLEADA

En la figura 4.7 se muestra de manera sencilla el uso correcto de una gunitadora de concreto, se requiere principalmente de: un compresor de aire, una mezcladora, una gunitadora, mangueras de material y de agua, además de los accesorios como válvulas, abrazaderas y conexiones.

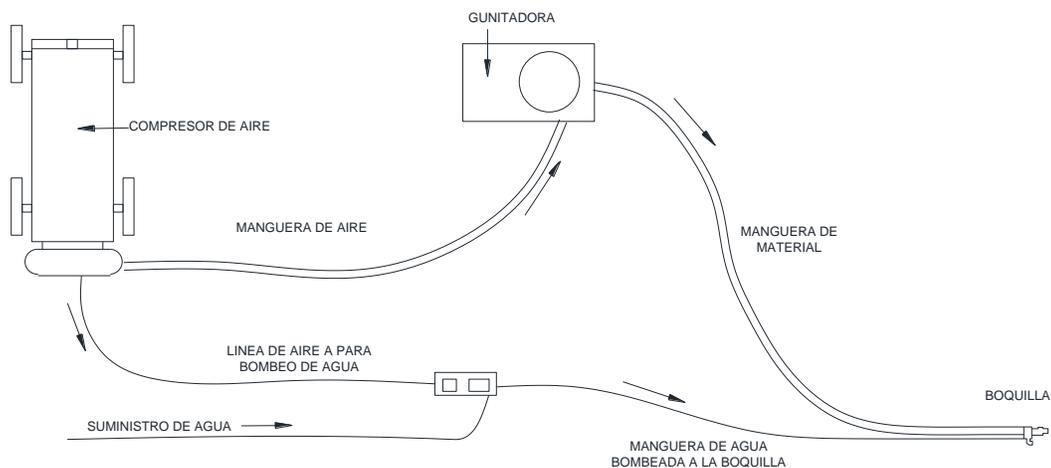


Figura 4.7. Diagrama para lanzamiento de concreto refractario. Fuente: Allentown Instruction Manual.

Gunitadora de concreto refractario: Es un equipo por medio del cual se lanza neumáticamente el concreto, como si se disparara a presión un proyectil de este material. Es por esta razón que el concreto proyectado se aplica sobre una superficie mediante la fuerza controlada de aire a presión a través de una boquilla, para conseguir un recubrimiento homogéneo. Figura 4.8.



Figura 4.8. Gunitadora de concreto refractario. Fuente: Propia.

Mezcladora de concreto refractario: Es un equipo indispensable para lograr una mezcla correcta y adecuada aplicación de los concretos refractarios de bajo y ultrabajo cemento. Es una unidad integral que requiere un mínimo mantenimiento más allá de la limpieza normal después de su uso. Figura 4.9



Figura 4.9. Mezcladora de concreto refractario. Fuente: Propia

Compresor neumático: Equipo portátil cuya función es la de generar aire presurizado a varias velocidades y presiones para alimentar diferentes tipos de herramientas y equipos. Figura 4.10.



Figura 4.10. Compresores neumáticos de 750 CFM. Fuente: Propia

#### 4.4 MÉTODO DE INSTALACIÓN

En la aplicación de concreto refractario se deberá tener especial cuidado en la cantidad de agua utilizada para la elaboración del concreto. Esto va en relación con el tipo de concreto a aplicarse, y la cantidad es recomendada por el fabricante.

Para estos trabajos se consideraron métodos de instalación de lanzado en paredes y chimeneas en posición. También se consideraron el método de lanzado o vaciado en piso para paredes que puedan intervenirse previo a su izaje y posición final en los calentadores. Se debe tomar en cuenta que, si la

aplicación se interrumpe por cualquier motivo, el revestimiento deberá recortarse inmediatamente dejando un recubrimiento mínimo de una pulgada para la ultima fila de anclas que se lance.

El recorte del concreto se hace en un ángulo de 90° de la capa de acuerdo con otras configuraciones de juntas de control como se demuestra en los planos de detalles y en el lugar donde el espesor total de refractario ya haya sido aplicado. Se debe eliminar todo el material después del recorte y el que haya quedado en la boquilla, manguera, contenedor, y/o mezcladora por mas de 20 minutos. Las superficies de placa y anclas adyacentes deberán limpiarse de todo material de revestimiento antes de la instalación del refractario. Tomando en cuenta las condiciones de la obra, a continuación, se mencionan las opciones de instalación.

#### 4.4.1 INSTALACIÓN DE REFRACTARIO LANZADO EN PAREDES CON TUBERIA DE RADIACIÓN

Para las paredes donde se instaló el concreto refractario con las tuberías puestas en posición, se consideró lo siguiente:

- Cubrir la tubería para evitar que el concreto se adhiera a la misma y disminuir los tiempos de limpieza. Se puede utilizar bolsas o papel de polietileno (employado). Figura 4.11A.
- Se armarán fronteras de paneles a lanzar según las dimensiones especificadas. Se recomienda que los paneles no sean de más de 2.20 m de ancho y 2.00 m de altura y el espesor a lanzar. Las placas deben ser traslapadas y con trampa de vapor en Z. Ver diagrama de placas estimado en la figura 3.14 (estas podrán ser modificadas en campo según conveniencia, manteniendo las especificaciones). Figura 4.11B.
- Se realizará el lanzado en forma de tablero de ajedrez, dejando placas intermedias. Se dejará un tiempo mínimo de 6 horas para retirar fronteras antes del lanzado de las placas restantes, previa inspección para verificar fraguado y solidez de estas.
- Se deberá realizar el recorte y limpieza de tuberías posterior al lanzado. Figura 4.11C.
- Se instalará colcha de fibra cerámica de 1/2" de espesor como junta de expansión entre placa y placa de forma vertical y horizontal
- Los accesorios, instrumentación y piezas metálicas que se encuentren dentro del rango del refractario, deberán ser cubiertas con papel cerámico de 3mm. Igualmente para ménsulas o soleras en la parte de abajo donde llega el concreto.



Figura 4.11A. Tubos cubiertos con polietileno. Fuente: Propia.



Figura 4.11B. Placa previa a ser lanzada. Fuente: Propia.



Figura 4.11A. Limpieza posterior al lanzado. Fuente: Propia.

#### 4.4.2 INSTALACIÓN DE REFRACTARIO LANZADO EN PAREDES CON TUBERÍA DE CONVECCIÓN

Para las paredes donde se instalará el refractario en piso (paredes laterales zona convección) se debe considerar lo siguiente:

- Se armarán fronteras de paneles a lanzar según las dimensiones especificadas. Se recomienda que los paneles no sean de más de 2.20 m de ancho y 2.00 m de altura y el espesor a lanzar. Las placas deben ser traslapadas y con trampa de vapor en Z. Ver diagrama de placas estimado en la figura 3.18, (estas podrán ser modificadas en campo según conveniencia, manteniendo las especificaciones). 4.12A.
- Se realizará el lanzado en forma de tablero de ajedrez, dejando placas intermedias. Se dejará un tiempo mínimo de 6 horas para retirar fronteras antes del lanzado de las placas restantes, previa inspección para verificar fraguado y solidez de estas.
- Se instalará colcha de fibra cerámica de 1/2" de espesor como junta de expansión entre placa y placa de forma vertical y horizontal.
- Los accesorios, instrumentación y piezas metálicas que se encuentren dentro del rango del refractario, deberán ser cubiertas con papel cerámico de 3mm. Igualmente para ménsulas o soleras en la parte de abajo donde llega el concreto.
- Se dejará libre un espacio de 30 cm para trabajos de soldadura. Este espacio se instalará el refractario de forma vaciada posterior a la conformación y soldada de láminas, teniendo en cuenta la complejidad para aplicar el refractario lanzado con la tubería instalada. Se podrá utilizar vibrador externo o interno en caso de que se requiera para darle mayor fluidez al concreto y garantizar el llenado de la formaleta.
- De presentarse alguna condición distinta, se verificará en campo en conjunto con el cliente para realizar los cambios que corresponda. 4.12B.



Figura 4.12A. Preparación y lanzado de refractario en paredes de convección. Fuente: Propia.



Figura 4.12B. Concreto refractario en paredes de convección. Fuente: Propia.

#### 4.4.3 INSTALACIÓN DE REFRACTARIO LANZADO EN TECHOS

Para los trabajos de lanzado en techo, se armarán fronteras de paneles a lanzar según las dimensiones especificadas. Las placas deben ser traslapadas y con trampa de vapor en Z, considerando lo siguiente:

- Para la transición entre zona de radiación y convección, se realizará la junta en la zona horizontal del techo a 40 cm del vértice y la otra junta en la parte vertical también a 40 cm, de tal forma que no quede expuesta una junta abierta en el vértice con riesgo de paso de gases.
- Se realizará el lanzado en forma de tablero de ajedrez, dejando placas intermedias. Se dejará un tiempo mínimo de 6 horas para retirar fronteras antes del lanzado de las placas restantes, previa inspección para verificar fraguado y solidez de estas.
- Se instalará colchada fibra cerámica de 1/2" de espesor como junta de expansión entre placa y placa de forma vertical y horizontal.
- El lanzador deberá usar la presión adecuada para lograr mayor adherencia del refractario lanzando sobre cabeza, para disminuir rechazos o desprendimientos. Figura 4.13.



Figura 4.13. Concreto refractario lanzado en techos. Fuente: Propia.

#### 4.4.4 INSTALACIÓN DE REFRACTARIO LANZADO EN PISOS

En caso de que se requiera instalación de refractario de forma vaciada en algunas piezas en piso, se considerará lo siguiente:

- Se armarán fronteras de paneles a vaciar según las dimensiones especificadas. Se recomienda que los paneles no sean de más de 2.20 m de ancho y 2.00 m de altura y el espesor a lanzar. Las placas deben ser traslapadas y con trampa de vapor en Z. Ver diagrama

de placas estimado en la figura 3.13, (estas podrán ser modificadas en campo según conveniencia, manteniendo las especificaciones).

- Se instalará colcha de fibra cerámica de 1" de espesor como junta de expansión entre placa y placa de forma vertical y horizontal.
- Los accesorios, instrumentación y piezas metálicas que se encuentren dentro del rango del refractario, deberán ser cubiertas con papel cerámico de 3mm. Igualmente para ménsulas o soleras en la parte de abajo donde llega el concreto.
- Se mezclará el concreto refractario de acuerdo con la ficha técnica del material. el vaciado se realizará en forma de ajedrez, dejando placas intermedias. Figura 4.14.

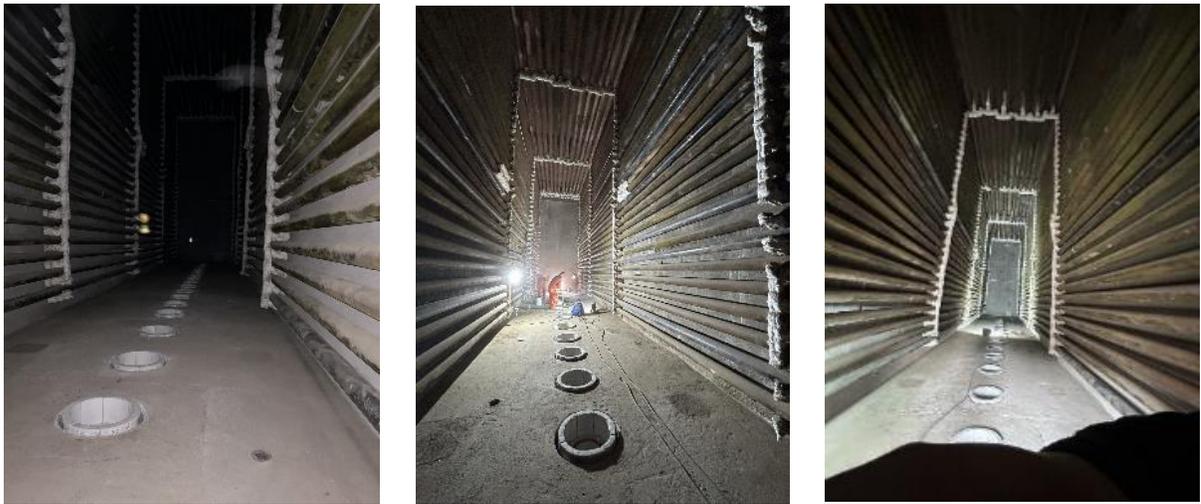


Figura 4.14. Concreto refractario vaciado en piso. Fuente: Propia.

#### 4.4.5 INSTALACIÓN DE REFRACTARIO LANZADO EN CHIMENEAS

Para los trabajos de lanzado en chimenea, formarán amillos de acuerdo con los mapeos mostrados en los diagramas autorizados por el cliente. Se debe considerar lo siguiente.

- Se armarán anillos de 2.00 metros de alto con el espesor indicado en los alcances.
- Se lanzarán de manera intercalada y se cubrirá con plástico el anillo siguiente para evitar salpicar la superficie con concreto.
- Se verificará que la malla este rígida y con la forma curva correcta.
- Los accesorios, instrumentación y piezas metálicas que se encuentren dentro del rango del refractario, deberán ser cubiertas con papel cerámico de 3mm. Igualmente para ménsulas o soleras en la parte de abajo donde llega el concreto.
- Se mezclará el concreto refractario de acuerdo con la ficha técnica del material.
- Se realizará la limpieza del área de trabajo. Figura 4.15.



Figura 4.15. Concreto refractario lanzado en chimenea. Fuente: Propia.

#### 4.4.6 INSTALACIÓN DE REFRACTARIO LANZADO EN TAPAS DE CABEZALES

En las cajas y tapas de cabezales solo se lanzará el concreto en las piezas individuales tomando como formaleta la solera estructural de cada elemento, sin necesidad de juntas de expansión y tampoco cimbra, únicamente se debe revisar la soldadura de las anclas, los capuchones de estas y la limpieza mecánica. Figura 4.16

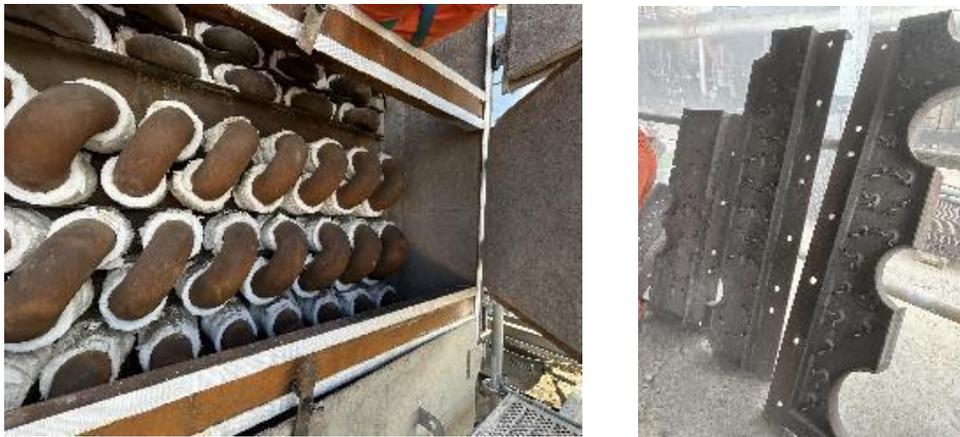


Figura 4.16. Concreto refractario lanzado en tapas y cajas de cabezales. Fuente: Propia

#### 4.4.7 INSTALACIÓN DE LADRILLO REFRACTARIO EN VENTANAS DE EXPLOSIÓN Y ENTRADAS HOMBRE.

Todas las entradas hombre y ventanas de explosión de los calentadores se deben tapar con un pequeño muro de ladrillo refractario denso y con una capa perimetral de colcha de fibra cerámica, como se muestra en la figura 4.17, esto con el fin de evitar fugas de calor debido a que estos elementos cuentan con apenas 2" a 3" de concreto refractario.



*Figura 4.17. Ladrillo refractario en entradas hombre y ventanas de explosión. Fuente: Propia.*

#### 4.5 CURADO

El periodo de curado deberá ser inmediatamente después de la instalación de cada sección de revestimiento y deberá ser hasta por un mínimo de 24 horas después del curado del último segmento de revestimiento que haya sido instalado. El refractario debe ser curado al menos durante 24 horas.

El revestimiento ya instalado no deberá moverse al menos durante las 24 horas posteriores después de completar la instalación. Durante el periodo del curado la temperatura del equipo y el revestimiento refractario deberán mantenerse por encima de los 10°C.

Después del curado y de haber removido las cimbras, el revestimiento refractario debe ser probado por medio de la "prueba de martillo". El refractario no debe ser expuesto al vapor hasta que el secado haya sido completo.

## 4.6 SECADO

De acuerdo con el fabricante (Grupo Industrial Morgan) después de que el concreto se ha curado en húmedo por el periodo mínimo recomendado, puede permanecer en ese estado casi indefinidamente excepto por las condiciones donde el medio ambiente es cálido (80-90°F 26 -32°C) y haya alta humedad. En estas condiciones los concretos aislantes son particularmente vulnerables a la formación de hidrólisis alcalina en la superficie la cual puede eventualmente penetrar en el interior. Si esto es un problema se recomienda que la superficie del concreto sea rociada con Kao-Seal en lugar de un compuesto de curado estándar. Si esto se hace el Kao-Seal necesita ser rociado cada 2-3 meses dependiendo de las reacciones de la superficie. O el material debe ser secado con ventilación forzada en caliente, con temperaturas mayores a 650°F (343°C) después de que el periodo de curado terminó. Se debe tener especial cuidado en mantener la temperatura del concreto por arriba de 50°F (10°C) durante la instalación y hasta que haya fraguado. Una vez que el concreto se ha fraguado totalmente, si la temperatura del medio ambiente cae por debajo del punto de congelación, no tendrá ningún efecto perjudicial en la liga del aluminato de calcio y la resistencia del concreto.

Una vez que el calentador está listo para entrar en la fase de secado, se debe cumplir en su totalidad la curva que se presenta a en la figura 4.18.

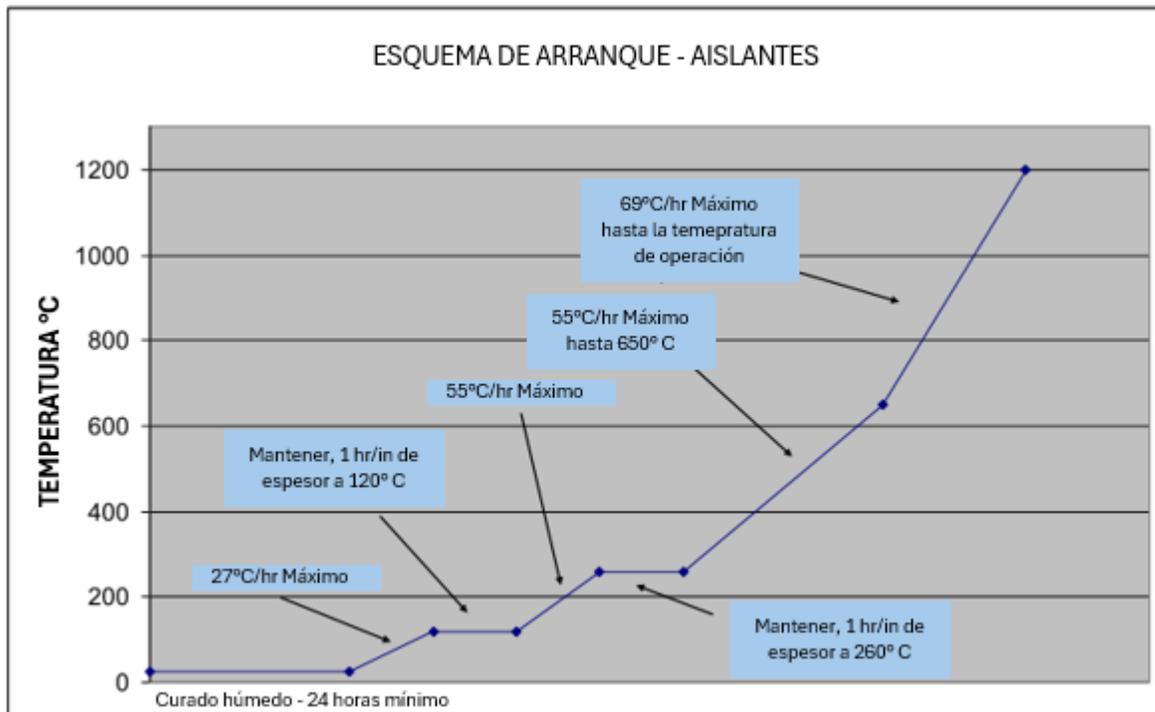


Figura 4.18. Curva de secado de concreto refractario tipo aislante. Fuente: Grupo Industrial Morgan (2023).

## 5.- INSPECCIONES Y PRUEBAS DE LABORATORIO

Posterior a la instalación del concreto se hacen pruebas en sitio y en laboratorio para garantizar la correcta instalación de los materiales y verificar que su comportamiento sea el adecuado.

### 5.1 HAMMER TEST

La capa aplicada de refractario debe ser sometida a una prueba de martillo para detectar espacios vacíos. Las capas son golpeadas con un martillo de bola de 500 gramos sobre la superficie, en intervalos del revestimiento de 305 mm. Ninguna zona del revestimiento deberá emitir un sonido sordo ni fragmentarse.

### 5.2 PRUEBAS DE LABORATORIO

De acuerdo con el procedimiento, durante la instalación al menos un mínimo de una muestra del refractario aplicado deberá ser lanzado por cada miembro del equipo lanzado, por material y por turno, usando un cesto con malla de alambre o cajones de madera. Por lo menos una muestra deberá prepararse para cada producto revestido. El cesto o cajón debe ser de aproximadamente 12 in x 12 in (305 mm x 305 mm) y por lo menos 4 in. (100 mm) de profundidad, pero no más que el espesor del refractario instalado.

El cesto o caja de madera debe estar sujetado en la pared donde la aplicación del revestimiento se está haciendo, llenado e inmediatamente retirado todo el refractario suelto o material rebotado del área donde se colocó el cesto. Las muestras de preparación deberán permanecer en las mismas condiciones que la instalación de producción por las primeras 24 horas.

Los especímenes requeridos de ensayo (número y preparación de acuerdo con la norma API 936) deberán ser cortados con sierra diamantada del refractario aplicado en el cesto. Los ensayos deberán ser para densidad, PLC (Cambio Lineal Permanente) y CCS (Resistencia a la Compresión en Frío).

El primer paso en el laboratorio es el secado y calentamiento de las muestras con la misma curva de secado que se utiliza para el equipo, la cual es proporcionada por el proveedor. Una vez que ya se ha secado se procede a hacer las pruebas ya mencionadas.

- La prueba de densidad se hace pesando las muestras después del secado hasta una aproximación de 0.005 kg y se reporta la densidad en  $\text{kg}/\text{cm}^3$ .
- La prueba del porcentaje de cambio lineal permanente se hace midiendo la longitud de la muestra a temperatura ambiente en la dimensión de 228.6 mm (9"), inmediatamente después del secado y se reporta el porcentaje de cambio lineal tomando como base la longitud media después del secado.

## 6.- CONCLUSIONES

De acuerdo con las actividades realizadas durante este proyecto, desde el desmantelamiento y demolición de la envolvente y concreto existente, hasta la puesta en operación de los calentadores, puedo concluir lo siguiente:

- El concreto refractario lanzado es un método de instalación muy rápido que ayuda a reducir tiempos de construcción, sin embargo, requiere de una gran preparación previa y que debe ser revisada minuciosamente para evitar cualquier desperfecto durante la operación del equipo.
- Considero que la información presentada en este trabajo es suficiente para evitar contratiempos y malas técnicas de instalación en cualquier escenario o dificultad que se presente durante la ejecución de la obra.
- Las pruebas que se les hacen a los lanzadores con base en el estándar API 936, son sumamente importantes porque es una forma de cerciorar que tanto el lanzador, como el operador de la gunitadora tienen una buena comunicación y se puede prever fallas durante la instalación en campo.
- La inspección que se realiza a cada elemento lanzado fue satisfactoria en todos los casos, por lo que no hubo atrasos para iniciar el arranque de la planta Combinada 1.
- Los calentadores a fuego directo son equipos que están en operación las 24 horas del día, los 365 días al año, a menos que haya un paro de emergencia o programado en la planta, es por eso la importancia de asegurar que, la preparación, la instalación y la inspección se realice con todos los estándares de calidad posibles.

Debido a los atrasos generados por contratiempos durante la obra mecánica, desde el desmantelamiento de las paredes de los calentadores y los cortes a las tuberías de proceso, hasta la soldadura en sitio de paredes y tuberías, considero que se podrían realizar las tareas de obra civil en un menor tiempo si las paredes laterales se lanzaran a nivel de piso, en secciones más pequeñas para evitar fracturas al momento del izaje, es decir, lanzar secciones de 5.00 m de ancho x 1.00 m de alto, en lugar de las secciones grandes que se prefabricaron de 5.00 m de ancho x 9.20 m de alto, dejando espacio entre placa y placa libre de concreto para poder realizar la soldadura de las paredes.

Cualquier propuesta de mejora en los tiempos se debe considerar debido a que la refinería cuenta con dos trenes de producción, y durante la rehabilitación de un equipo como un calentador a fuego directo, o en este caso, los 3 calentadores de la planta combinada 1, que trabajan al mismo tiempo y que si se para uno se tiene que parar la planta, se tiene que recurrir a comprometer el otro tren de producción, puesto que se para combinada 1 y se sobrecarga combinada 2 para poder cumplir con la producción diaria planeada.

El haber trabajado en una refinería, en la rehabilitación de equipos tan importantes como lo son los calentadores, fueron un cambio de panorama demasiado grande en mi vida profesional, he participado en proyectos de instalación de refractario en diferentes refinerías y plantas de proceso, y gracias a estas oportunidades que he tenido, considero que han complementado mi desarrollo como profesional.

## 7.- BIBLIOGRAFÍA

- VALIENTE, A.B. "Ingeniería del Calor". 2013. Pp. 529-532
- BERMAN, H.L., "Fired Heaters I – Finding the Basic Design for your Application". 1978. Pp 99-104
- OGS Oil and Gas Skills (2023). "Fired Heaters".  
<https://es.scribd.com/document/676836856/Fired-Heaters>
- PEMEX, Concursos abiertos 2022, Evento No. SNR-TUL-069-CA-0-2022.  
<https://www.pemex.com/procura/procedimientos-de-contratacion/concursosabiertos>
- API-560 Fires Heaters for General Refinery Service Third Edition (Calentadores a Fuego Directo para Servicios Generales en Refinerías) Tercera Edición.
- API-936 Refractory Installation Quality Control Fourth Edition (Control de Calidad en la Instalación de Refractario) Cuarta Edición.
- Procedimiento de instalación de concreto refractario Altaguarda (2023) Aplicación de concreto refractario en calentadores BA-101 A, BA-101 B, BA-201 PEMEX Tula.
- Grupo Industrial Morgan (2023) Instrucciones Generales de Arranque (Archivo PDF)
- Allentown Equipment (2023) Instruction Manual N-model (Archivo PDF)  
<https://es.scribd.com/document/445752899/N2-Manual-pdf>
- Arredondo Montiel, C. J. (2012) Elaboración y colocación del concreto y ladrillo refractario en calentadores a fuego directo. Universidad Veracruzana.