



# FICHA CURSO

## Eficiencia y Confiabilidad en Hornos de Proceso



Un enfoque práctico y ambiental. Descripción general, aspectos más relevantes del diseño y la operación y metodología para la inspección, la evaluación y el monitoreo continuo de los hornos.

### ¿A quién está dirigido?

Estudiantes, técnicos, diseñadores, profesionales libres e ingenieros relacionados con la operación, la supervisión, el mantenimiento, la seguridad, el diseño, la selección o la fabricación de hornos de fuego directo para refinerías de petróleo, complejos petroquímicos u otras instalaciones industriales.

**No son necesarios conocimientos previos de este tema para tomar el curso.**

### Objetivo del Curso

El objetivo es transferir a los participantes las habilidades y conocimientos teóricos y prácticos requeridos en proyectos, obtenidos de la experiencia y de las mejores prácticas de Ingeniería.

### ¿Qué esperar del Curso?

Identificar los combustibles típicos y las emisiones contaminantes más significativas, así como también los componentes principales de los hornos y sus funciones.

Comprender los conceptos básicos de combustión y los mecanismos fundamentales.

Conocer las herramientas, los estándares y los sistemas de control y de seguridad.

### Duración del curso

La duración del curso es de 80 hs, normalmente a ser completado en 50 días. Para mayor flexibilidad, la plataforma estará abierta por 365 días.

### Metodología

A tu propio ritmo

Disponible 24/7

Progreso Individual

Metodología “aprender haciendo”

Sin sesiones programadas

### Incluido en el curso

Notas de Estudio

Videos Introdutorios

Ejercicios de Comprensión

Material Complementario



## Parte I (35 hs)

### Combustibles fósiles

#### Principales componentes de los combustibles fósiles

Carbono

Hidrógeno

Azufre

#### Combustibles de refinerías

#### Gas natural: del cabezal del pozo hasta la refinería

Separación de agua y condensado

Eliminación de agua (deshidratación)

Separación de sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono

Separación de líquidos del gas natural (LGN)

El gas natural como combustible en refinerías

Precios del gas natural

Estadísticas de gas natural

#### Gas Natural Licuado (GNL)

Precios mundiales del GNL

#### Gas combustible de refinería

#### Propiedades de los combustibles gaseosos

Composición

Poder Calorífico

Gravedad

#### Combustibles líquidos

Residuales livianos o destilados (Nº 1, Nº 2 y Nº 4)

Residuales pesados (Nº 5 y Nº 6)

Análisis químicos

Estadísticas

#### Ejercicios & Casos de Estudio

- *Test de Asimilación*

### Emisiones y Calentamiento Global

#### Producción y consumo mundial de combustibles fósiles

Producción mundial de carbón

Consumo mundial de carbón

Producción mundial de petróleo

Consumo mundial de petróleo

Producción mundial de gas natural

Consumo mundial de gas natural

Relación de reservas probadas y producción (R/P) de combustibles

#### Impacto ambiental

Contaminación por fuentes naturales.

Contaminación antropogénica

Smog atmosférico

#### Principales compuestos contaminantes

Dióxido de carbono

Óxidos de nitrógeno (NOx)

Ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>)

Partículas en suspensión

Emisiones relativas de diferentes combustibles

#### El efecto invernadero

#### Gases de efecto invernadero

Vapor de agua (H<sub>2</sub>O)

Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Metano

Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)

Halocarbonos

Halones

Gases fluorados



Ozono

### **Cambio climático y predicciones**

Predicciones a mediano y largo plazo

### **Medidas para mitigar el cambio climático**

#### **La respuesta mundial**

El protocolo de Montreal

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

El Acuerdo de París (Conferencia de las Partes, COP 21)

La Conferencia de Madrid (COP 25)

**El concepto de presupuesto de carbono (“the carbon budget”)**

¿Activos varados?

#### ***Ejercicios & Casos de Estudio***

- *Test de Asimilación*

## **Reacciones de Combustión**

### **Combustión de hidrocarburos**

Combustión estequiométrica

Aire estequiométrico

Aire de combustión

El proceso de combustión

Límites de inflamabilidad

### **Cálculos fundamentales de combustión**

Cálculo estequiométrico de combustión de gases puros

Cálculo estequiométrico de combustión de mezclas de gases

Cálculos fundamentales de combustión (base másica)

Cálculo de los productos de combustión de mezclas de gases

Cálculo estequiométrico de combustión de líquidos y sólidos

### **Análisis de gases de combustión**

#### ***Ejercicios & Casos de Estudio***

- *Test de Asimilación*
- *Caso de estudio 1*
- *Caso de estudio 2*
- *Caso de estudio 3*
- *Caso de estudio 4*

## **Hornos de Fuego Directo**

### **Hornos de proceso**

Usos principales de los hornos en refinación y petroquímica

### **El horno como un intercambiador de calor**

#### **Clasificaciones de los hornos**

Según el modo de flujo del aire y de los gases de combustión

Según el diseño de zona radiante y el arreglo del serpentín

Según el servicio provisto

#### **Secciones y componentes**

Sección radiante (hogar)

Sección convectiva

Transición (“crossover”)

Arco radiante

Sección de recuperación de calor

Chimenea



Carcasa

Soportes mecánicos de serpentines

Quemadores

### ***Ejercicios & Casos de Estudio***

- *Test de Asimilación*

## **Transf. de Calor | Diseño de Serpentines**

### **Mecanismos de transferencia de calor**

Radiación

Conducción

Convección

### **Factores que afectan la transferencia de calor**

El área de transferencia (A)

La diferencia de temperaturas

La conductividad térmica (k)

El coeficiente de transferencia de calor (hC)

### **Diseño de serpentines y servicio (“duty”)**

Estándares de diseño

Criterios de diseño

Calor absorbido o servicio (“duty”)

Distribución de la absorción radiante vs. convectivo

Absorción de calor en la sección convectiva

Área del escudo

Absorción de calor en la sección radiante

### **El diseño y la eficiencia del horno**

### **Aspectos mecánicos de los serpentines de proceso**

Metalurgia de los tubos

Diseño y disposición del serpentín

Caída de presión

### **Mediciones de temperatura de pared de tubos en los serpentines**

El efecto Seebeck

Termopares

Termopares de pared de tubos

### ***Ejercicios & Casos de Estudio***

- *Test de Asimilación*



## Parte II (25 hs)

### Quemadores

#### Función y componentes de los quemadores

Lanzas centrales y periféricas

Boquillas y difusores

Visores y mirillas

Piloto

Registros de aire

Caja de viento y silenciador

#### Rango del quemador (“turndown”)

#### Tipos de quemadores para combustibles gaseosos

Quemadores de premezcla

Quemadores de difusión

Quemadores de premezcla versus quemadores de difusión

#### Quemadores de bajo NOx

Estrategias para el control de NOx

#### Quemadores para combustibles líquidos

Atomizadores con vapor

#### Características de las llamas

Patrones de llama

Velocidad de llama

Estabilidad de llama

#### Salvaguardas de exceso de aire para la operación de quemadores

#### Bloques refractarios

#### *Ejercicios & Casos de Estudio*

- *Test de Asimilación*

### Refractarios

#### Definición, funciones y propiedades

Funciones

Propiedades

#### Clasificación

#### Refractarios de hornos e integridad mecánica

Temperaturas de los refractarios en hornos de proceso

Refractarios para hornos de proceso

Materiales para la fabricación de refractarios

#### Anclajes

#### Criterios de selección de refractarios

Efecto de las condiciones operacionales

#### Algunas salvaguardas importantes

Curvas de secado

#### *Ejercicios & Casos de Estudio*

- *Test de Asimilación*

### Operación y Seguridad de Hornos

#### Prácticas de seguridad del personal

Entes técnicos o reguladores de la seguridad en hornos

#### Estándares para la industria de procesos

Estándar NPFA

#### Gestión del ciclo de vida de la seguridad

Análisis de riesgos de procesos

Análisis de capas de protección

Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS)

Niveles de integridad de seguridad (SIL)



Un ejemplo de SIS: el Sistema de Manejo de Quemadores

Estudio de Riesgos Operacionales

**Sistemas de control y protección para hornos**

**Sistemas de control operacional**

Válvula de control de presión (PCV) o flujo (FCV)

Control de relación aire/combustible (A/C)

Control del tiro en el hogar

**Interacción operadores - horno**

***Ejercicios & Casos de Estudio***

- *Test de Asimilación*

## Diagnóstico Operacional

**Consumo de combustibles gaseosos en refinerías**

**Lo que está en juego**

**Indicadores de los hornos ¿qué dicen y cómo lo dicen?**

**Esquema de control**

**Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones (CEMS)**

**Evaluaciones de desempeño y ahorros en hornos**

**Inspecciones periódicas**

Integridad mecánica y confiabilidad

**Diligencia debida para la inspección de los hornos**

Hojas de datos de diseño

Lista de verificación

Revisión de los datos e informes previos

EPP e instrumentos básicos

Instrumentos y sensores de medición

**Caminata de inspección visual y recopilación de data**

Verificación del tiro en los diferentes niveles

Verificación del estatus de los quemadores y los registros de aire

Observación de la calidad de las llamas

***Ejercicios & Casos de Estudio***

- *Test de Asimilación*
- *Caso de estudio 1*
- *Caso de estudio 2*
- *Caso de estudio 3*
- *Caso de estudio 4*
- *Caso de estudio 5*

## Control Operacional Continuo

**Tiro en hornos de procesos**

Cálculo del tiro teórico

**Herramientas para el control del tiro**

Cerrar el dámper

Abrir el dámper

Cerrar o abrir los registros de aire de los quemadores

La analogía del tráfico vehicular

Resumen de los efectos del dámper y los registros sobre la operación

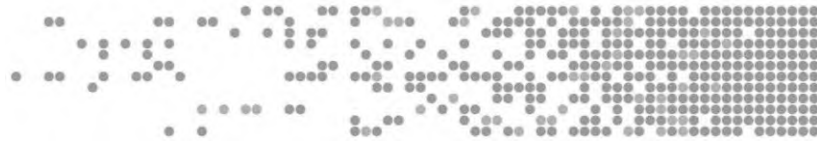
**Diagrama de Regulación de Aire, Fuego y Tiro (DRAFT)**

**Control del exceso de aire**

**Desempeño del horno y ahorros de energía**

***Ejercicios & Casos de Estudio***

- *Test de Asimilación*



- *Caso de estudio 1*
- *Caso de estudio 2*
- *Caso de estudio 3*
- *Caso de estudio 4*





## • Parte III (20 hs)

### Monitoreo y Cálculo de Eficiencia

#### Seguimiento de tendencias operacionales

Calor absorbido (“duty”)

Tiro y exceso de oxígeno

Eficiencia (presión del gas combustible y temperatura de salida)

Eficiencia (exceso de aire y temperatura de chimenea)

Absorción de calor (temperatura de salida y de la pared de los tubos)

Temperatura de los tubos (TMT) y tasa de flujo de proceso

Temperaturas de la chimenea y de salida del fluido de proceso

#### Balance de energía y eficiencia térmica en hornos

##### Cálculo de la eficiencia térmica

Requerimiento de oxígeno estequiométrico

Requerimiento de aire de combustión

##### Eficiencia térmica en hornos

Calor suministrado al horno

Pérdidas de calor por los gases de chimenea

Pérdidas de calor por radiación al ambiente

Eficiencias térmicas

#### Ejercicios & Casos de Estudio

- *Caso de estudio 1*
- *Caso de estudio 2*
- *Caso de estudio 3*
- *Caso de estudio 4*
- *Caso de estudio 5*
- *Caso de estudio 6*

### Problemas Operacionales

#### La “caja de herramientas” del ingeniero

##### Solución de problemas en quemadores y hornos

Interrelación entre el tiro y el exceso de aire

Suministro de aire de combustión

Combustión sub-estequiométrica y combustión secundaria

##### Problemas más comunes en los quemadores a gas

Problemas de encendido de los quemadores

Problemas para sostener la llama encendida

Suministro térmico insuficiente

Inestabilidad y/o desprendimiento de llamas

Apariencia de las llamas

Incidencia de llamas y formación de coque

Alta concentración de CO en los gases de chimenea

##### Problemas más comunes en los hornos

Problemas con el encendido de los pilotos

Tubos arqueados (doblados) en la sección radiante

Guía inferior del serpentín rota o doblada (hornos cilíndricos)

Alta temperatura de los gases de chimenea

Valores altos de las temperaturas de pared de los tubos

Rotura de los tubos radiantes

Descascaramiento del refractario (“spalling”)

Derrame de combustible líquido

##### Solución de problemas inusuales

Tubos arqueados y desplazados del soporte

Tubos con temperaturas excesivas





Caída de travesaños  
Rotura del soporte tubular vertical

### **Ejercicios & Casos de Estudio**

- *Test de Asimilación*

## **Ahorro de Combustible | CO<sub>2</sub>**

### **Ahorros de combustible y huella de carbono**

Sustitución del combustible  
Requisitos para mejorar el desempeño de los hornos

### **Ahorros por mejoras en la eficiencia térmica**

Cálculos estequiométricos y del calor suministrado  
Cálculos de eficiencia del horno en condiciones de línea base  
Comparación de condición mejorada vs. línea base  
Ahorros de combustible  
Reducción de huella de carbono

### **Mejoras y renovaciones para incrementar la eficiencia**

### **Ejercicios & Casos de Estudio**

- *Test de Asimilación*
- *Caso de estudio 1*
- *Caso de estudio 2*
- *Caso de estudio 3*

## **Evaluación de Desempeño**

### **Informes de evaluación del desempeño térmico (EDT)**

Antecedentes  
Alcances



Resultados  
Resumen de resultados  
Metas operacionales de corto plazo  
Recomendaciones

### **Los desafíos profesionales del ingeniero de hornos**

Enfoque técnico compartido  
Trabajo en equipo, capacitación e integridad mecánica  
Ingenieros de hornos  
Formación de equipos y capacitación del personal  
Retos y recompensas profesionales



## Instructor

Licenciado en Química (Tecnología) y Máster en Ingeniería Química Avanzada (UK). **Más de 38 años de experiencia** en el área de combustión de combustibles fósiles y de consultoría operacional para mejorar el desempeño de hornos de proceso en refinerías de petróleo.

Co-fundador y Director Principal, durante 24 años, de una empresa dedicada a la ejecución de proyectos de consultoría operacional en refinerías, mejoradores de petróleo y empresas petroquímicas en el área de combustión, hornos y calderas. Asesor técnico de capacitación y ventas de empresa desarrolladora de software de entrenamiento para operadores de equipos en refinerías y complejos petroquímicos. Asesor técnico para Latinoamérica de empresa productora de biomasa combustible. Responsable, durante 11 años, de proyectos de combustión y asistencia técnica en una empresa de petróleo totalmente integrada. Co-autor de 7 patentes registradas en combustión y emulsiones.

**Instructor sénior de cursos de entrenamiento en combustión y hornos de fuego directo.**

## Formación a Medida

La formación más efectiva es la que está en línea con las necesidades de cada empresa o institución. **Adaptamos nuestros programas de formación a cada requerimiento específico, ofreciendo soluciones para cada necesidad.** El resultado obtenido son programas 100% personalizados, desarrollados para maximizar el tiempo, inversión y el retorno en equipos de trabajo.

Tras una fase de diagnóstico, se diseña conjuntamente un plan de formación a medida centrado en potenciar las capacidades del grupo de trabajo. **Apostamos por una formación práctica, dinámica y participativa de la mano de los mejores instructores en cada materia.**

## Arveng Training

**Arveng Training imparte actividades formativas específicas y de alta calidad en las disciplinas de Ingeniería, en la modalidad presencial, online y a medida.** Estamos orgullosos de haber impartido más de 250 cursos presenciales, 1200 cursos online y 65 sesiones in-company. Nuestras acciones formativas han alcanzado a 4500 profesionales. Sin duda nuestra mejor carta de presentación en este ámbito.

**El tiempo de nuestros alumnos es lo más valioso.** Por ello, todos los cursos han sido diseñados con el principal objetivo de **mejorar las competencias profesionales de los participantes.** A través de nuestros instructores expertos en distintas especialidades, estimulamos la creatividad, la innovación y la iniciativa, acercando las buenas prácticas de ingeniería y las lecciones aprendidas a los alumnos.

## Nuestra Empresa

**Arveng Training & Engineering SL** es una empresa dedicada a la **Formación y a la Ingeniería con base en Madrid, España,** integrada por profesionales motivados, con altos niveles de capacitación y más de veinte años de experiencia. Nuestro objetivo es satisfacer las necesidades de nuestros clientes y **superar sus expectativas a través de servicios de excelencia** sustentados en soluciones eficientes, innovadoras y rentables.

**Establecida en julio de 2010 orientada principalmente al sector industrial** y desde sus comienzos se desempeñó con cercanía, responsabilidad y compromiso en los distintos ámbitos de su actividad. **A través de la experiencia recogida mediante la participación en proyectos multidisciplinares** de ingeniería en sectores como el Petroquímico, el de Generación de Energía o el Industrial, proporcionamos respuestas y soluciones a requerimientos concretos, esforzándonos en construir relaciones duraderas y recíprocamente beneficiosas.