

**NORMALIZACIÓN DE UN HORNO UTILIZADO EN LA INDUSTRIA  
PETROQUÍMICA BAJO EL ESTÁNDAR NFPA 86.**

IVAN ALBERTO GARCÍA BERTEL  
LAURA ANDREA ANGULO DELGADO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS  
INDUSTRIALES  
CARTAGENA DE INDIAS  
2017  
NORMALIZACIÓN DE UN HORNO UTILIZADO EN LA INDUSTRIA  
PETROQUÍMICA BAJO EL ESTÁNDAR NFPA 86.

IVAN ALBERTO GARCÍA BERTEL  
LAURA ANDREA ANGULO DELGADO

ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS  
INDUSTRIALES

JOSÉ LUIS VILLA RAMIREZ  
DOCTOR EN INGENIERÍA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS  
INDUSTRIALES  
CARTAGENA DE INDIAS  
2017

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Cartagena de Indias \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

*A nuestro padre Dios, por ser el centro de nuestras vidas, quien nos ha dado todo, nos ha guiado en cada momento de nuestras vidas y nos regala su sabiduría, para Él sea toda la gloria. A nuestras familias, Esposos e hijos por ser nuestros motores, nuestra motivación, quienes nos han amado siempre, apoyado, respetado y han creído en nuestras capacidades. A nuestros padres, quienes incansablemente han hecho sacrificios y se han esforzado toda su vida para hacer de nosotros personas íntegras y con valores. A nuestros familiares, amigos, docentes y compañeros por su apoyo y colaboración.*

*Iván Alberto García Bertel*

*Laura Andrea Angulo Delgado*

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a:

A nuestro director, Ing. Jose Luis Villa Ramirez, por su gran disposición, su excelente y sabia orientación.

A nuestro colaborador, Antonio Morales, por ser apoyo importante en la solución del presente.

A la Universidad Tecnológica de Bolívar, por su formación y colaboración.

Todas las personas que hicieron posible este trabajo de grado, de forma directa o indirecta, muchas gracias por su apoyo y enseñanza.

Iván Alberto García Bertel

Laura Andrea Angulo Delgado

## CONTENIDO

CONTENIDO.....	6
LISTAS DE FIGURAS .....	7
LISTA DE TABLAS .....	8
GLOSARIO.....	9
RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
OBJETIVOS .....	12
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	13
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
2. MARCO TEÓRICO .....	15
2.1. HORNOS EN LA INDUSTRIA PETROQUIMICA.....	15
2.2. SEGURIDAD EN HORNOS.....	17
2.3. DISEÑO DE UN SISTEMA SEGURO Y SELECCIÓN.....	18
2.4. SISTEMAS INSTRUMENTADOS DE SEGURIDAD. ....	19
3. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	21
3.1. Implementación del cambio de la lógica de disparo total del horno por pérdida de la señal de llama (NFPA 86 – 2015, 8.8.1.3 (1) (c)). ....	21
3.2. Instalación de válvulas de corte individual por piloto y quemador (NFPA 86 – 2015, 8.8.1.2).....	22
3.3. Implementación de redundancia, con votación 2oo3, en la medición de la presión del hogar.....	24
3.4. Implementación de facilidades (BY-PASS) en las válvulas principales de corte de pilotos y quemadores (API 556 3.4.6.2). ....	26
4. FACTIBILIDAD DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA .....	29
5. CONCLUSIONES.....	31
6. BIBLIOGRAFÍA.....	32

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Componentes mecánicos de un horno. ....	16
Figura 2. Horno de procesos industriales típico. ....	17
Figura 3. Elementos de un sistema instrumentado de seguridad (SIS). ....	19
Figura 4. Sistema de encendido de pilotos y quemadores.....	22
Figura 5. Sistema de múltiples quemadores con switches de confirmación de cierre.....	23
Figura 6. Medición de la presión en el hogar del horno H-01 (PT-1504). ....	24
Figura 7. Arquitectura 1oo1 y 2oo3. ....	24
Figura 8. Implementación de 2oo3 para la presión en el hogar (PT-1504 A/B/C).....	25
Figura 9. Sistema de gas a quemadores/pilotos.....	26
Figura 10. Válvulas de Bypass en sistema de gas a quemadores/pilotos.....	27

## LISTA DE TABLAS

<a href="#">Tabla 1. Componentes de un horno.....</a>	<a href="#">16</a>
<a href="#">Tabla 2. Valores en dólares para la inversión del diseño según normas NFPA y API.....</a>	<a href="#">29</a>

## GLOSARIO

**API:** por sus siglas American Petroleum Institute. Es la principal asociación comercial de los EE. UU., representando cerca de 400 corporaciones implicadas en la producción, el refinamiento, la distribución, y muchos otros aspectos de la industria del petróleo y del gas natural.

**BMS:** Burner Management System. Sistema que monitorea y controla los equipos de quema de combustibles durante todas las condiciones de arranque, apagado y operación.

**CEPI:** Credencial profesional de conocimiento en protección contra incendios de carácter internacional. La meta del CEPI es la de fomentar el desarrollo de la disciplina de la protección y prevención contra incendios en países de habla hispana.

**Fired Heater:** Denominados hornos (calentadores de combustión directa), son equipos que se utilizan en la industria para calentar fluidos hasta llegar a una temperatura deseada.

**GLP:** Gas licuado de petróleo. Es la mezcla de gases licuados presentes en el gas natural o disueltos en el petróleo. En la práctica, se puede decir que los GLP son una mezcla de propano y butano.

**IEC:** Comisión Electrotécnica Internacional. Es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.

**Interlock:** Enclavamiento, es una característica que hace que el estado de dos mecanismos o funciones dependan mutuamente. Se utilizan para prevenir estados no deseados en una máquina de estado finito, y puede consistir en cualquier dispositivo o sistema eléctrico, electrónico o mecánico. En la mayoría de las aplicaciones, se utiliza un bloqueo para evitar que una máquina lesione al operador o se dañe a sí misma.

**ISA:** Instrumentation, Systems and Automation Society. Sociedad de ingenieros, técnicos, comerciantes, educadores y estudiantes.

**Logic Solver:** Dispositivo de control.

**NFPA:** Asociación Nacional de Protección contra el Fuego. Organización fundada en Estados Unidos en 1896, encargada de crear y mantener las normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendio, capacitación, instalación y uso de medios de protección contra incendio, utilizados tanto por bomberos, como por el personal encargado de la seguridad.

**SIS:** Sistema Instrumentado de Seguridad. Conjunto de componentes como son sensores, logic solvers y elementos finales de control arreglados con el propósito de llevar el proceso a un estado seguro.

**Solomon Associates:** la compañía líder en el mejoramiento del desempeño de la industria energética mundial, ayuda a los clientes a alcanzar la excelencia operativa aumentando la eficiencia, la confiabilidad y la rentabilidad, proporcionando soluciones de referencia y asesoría a través de la cadena de valor energético.

## **RESUMEN**

Se propone la implementación de sistemas de seguridad con el fin de normalizar un horno utilizado en la industria petroquímica bajo la norma NFPA 86 y el estándar API 556 de tal manera que se aumente la disponibilidad, disminuyan los tiempos y las posibles fallas durante la etapa de arranque y finalmente, se incremente la seguridad de los operadores.

## INTRODUCCIÓN

Las industrias petroquímicas tienen multitud de instalaciones, funciones, equipos y sistemas que dan soporte a las operaciones de procesamiento de los hidrocarburos. Las operaciones de soporte habituales son la generación de calor y energía; el movimiento de productos; el almacenamiento en depósitos; la expedición y manipulación; las llamas y sistemas de descarga de presión; los hornos y calentadores.

El proceso básico en esta área industrial consiste en la separación del hidrocarburo desde su etapa inicial, petróleo crudo, en sus diferentes fracciones para la producción de productos útiles para las personas. Estos productos van desde los gases (propano, butano, GLP), gasolinas, aceites lubricantes, además de otros que son la materia prima en la industria de fertilizantes, plásticos, alimentarios, textil, etc.

Un horno de proceso es un equipo constituido por un cerramiento metálico revestido interiormente por una pared refractaria aislante, dentro del cual se dispone de un serpentín tubular por el que circula un producto que se desea calentar y/o evaporar a través del calor liberado por un combustible sólido, líquido o gaseoso que reacciona en el quemador liberando gases de combustión calientes que entregan calor por radiación al serpentín.

La utilización de estos equipos puede tener distintos propósitos, entre estos están el precalentamiento de una corriente previa a su fraccionamiento o reacción, evaporar la corriente de fondo de una columna de destilación o disminuir la viscosidad de un fluido para facilitar su manipulación.

Un calentador por combustión (*Fired Heater*) es un intercambiador de calor en el que el fluido de proceso fluye dentro de tubos y se calienta por radiación procedente de una llama de combustión y por convección desde los gases calientes de esta.

El estándar NFPA 86 (*Standard for Ovens and Furnaces*) minimiza los riesgos de fuego y explosiones de hornos utilizados para el procesamiento de materiales en el área industrial y comercial.

El presente documento está dirigido a hornos Clase A definidos por la NFPA 86 como horno o calefactor que posee un equipamiento de uso de calor que opera aproximadamente a la presión atmosférica y que por lo tanto constituye un peligro potencial de explosión o incendio debido a la presencia de materiales volátiles inflamables o combustibles que se procesan o calientan en la caldera. Se propone una serie de cambios requeridos para la normalización de un horno utilizado en la industria petroquímica bajo la norma NFPA 86.

## OBJETIVOS

De acuerdo a lo expresado anteriormente, se definen los siguientes objetivos del proyecto.

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Normalizar un horno utilizado en la industria petroquímica bajo el estándar NFPA 86(versión 2015) y de acuerdo a los lineamientos del API 556 (versión 2011), para aumentar la disponibilidad y confiabilidad del horno y de esta forma disminuir los tiempos en el encendido y las posibles fallas durante la etapa de arranque e incrementar la seguridad de los operadores.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Diseñar e implementar el cambio de la lógica para el disparo total del horno por pérdida de la señal de llama acorde con la NFPA 86 – 2015, 8.8.1.3 (1) (c).
- Instalar válvulas de corte individual por piloto y quemador (NFPA 86 – 2015, 8.8.1.2).
- Implementar redundancia, con votación 2oo3, de la presión del hogar.
- Implementar facilidades (BY-PASS) en las válvulas principales de corte de pilotos y quemadores (API 556 3.4.6.2).

### **1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El horno que se analiza en este trabajo es un horno calentado por gas natural, que posee 8 pilotos, 8 quemadores y tiene 4 pasos.

Este horno ha presentado baja disponibilidad para la operación debido a paradas no programadas causadas por:

- Pérdida parcial de detección de llama.
- Alta presión en el hogar del horno.
- Imposibilidad de realizar pruebas en línea de los componentes del sistema de protección del horno.

Por estas razones se plantea la normalización del horno H-01 bajo el estándar de la NFPA 86 (versión 2015) y API 556 (versión 2011).

Entre las acciones recomendadas se encuentran las siguientes:

- Implementación del cambio de la lógica de disparo total del horno por pérdida de la señal de llama (NFPA 86 – 2015, 8.8.1.3 (1) (c)).
- Instalación de válvulas de corte individual por piloto y quemador (NFPA 86 – 2015, 8.8.1.2).
- Implementación de redundancia, con votación 2oo3, de la presión del hogar.
- Implementación de facilidades (BY-PASS) en las válvulas principales de corte de pilotos y quemadores (API 556 3.4.6.2).

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. HORNOS EN LA INDUSTRIA PETROQUIMICA

Un horno industrial es un equipo (espacio cerrado) que proporciona calor en un proceso a temperaturas muy superiores a la ambiente; están diseñados de acuerdo a su aplicación, servicio de calefacción, tipo de combustible y método de introducción de aire de combustión.

La utilización de estos equipos puede tener distintos propósitos, entre estos están el precalentamiento de una corriente previa a su fraccionamiento o reacción, evaporar la corriente de fondo de una columna de destilación o disminuir la viscosidad de un fluido para facilitar su manipulación.

Anteriormente en la mayoría de los hornos se controlaba la temperatura solo a la salida, se tenía una sola válvula de control en la tubería de gas principal, con una sola válvula de corte aguas arriba de la válvula de control. Esta válvula de corte era automática o de operación manual. Teniendo en cuenta la necesidad de contar con sistemas confiables, seguros y eficientes y que cumplan con la norma NFP 86 y el estándar API 556 es necesario implementar lo siguiente:

1. Tener un Sistema de purga que permita prevenir la posibilidad de tener acumulación de gas combustible seguido de una secuencia de ignición accidental o inapropiada que resulta en una explosión.
2. Tener un Sistema de control que ejecute un procedimiento seguro para el arranque y corte de flujo del combustible en la presencia de condiciones sub-estándar que afecten la seguridad de la unidad.
3. Instalar un sistema de doble bloqueo. Las válvulas de corte son un componente fundamental en el sistema de control que permiten evitar la acumulación de gases o mezcla explosiva dentro del horno.
4. Instalar pilotos y sistemas de ignición que ejecuten el proceso de encendido sin necesidad de que el operador proporcione una fuente de ignición para los quemadores; de esta forma se evitar exponer al operador en el momento de la puesta en marcha del mismo.
5. Instalar un sistema de monitoreo de Llama. Los quemadores deben estar equipados con sus propios dispositivos de control de llama, se requieren detectores independientes para vigilar el piloto y la llama principal.
6. Controlar la presión, temperatura y flujo Alto/Bajo. Las alarmas y paradas proporcionadas por la instrumentación y los permisivos permiten que el sistema pase de diferentes etapas de operación de una manera apropiada y segura.

7. Instalar sistema de alarmas y control de presión de aire de combustión. El punto más crítico está en la generación del arco, ya que esta es la variable de control en el diseño del quemador y del horno en sí. Esta medición es un indicador crítico en el funcionamiento del horno y alerta al operador de cualquier tendencia a ser positiva.
8. Instalar un Logic Solver que proporcione la lógica necesaria para iniciar y parar el horno con seguridad.

Figura 1. Componentes mecánicos de un horno.

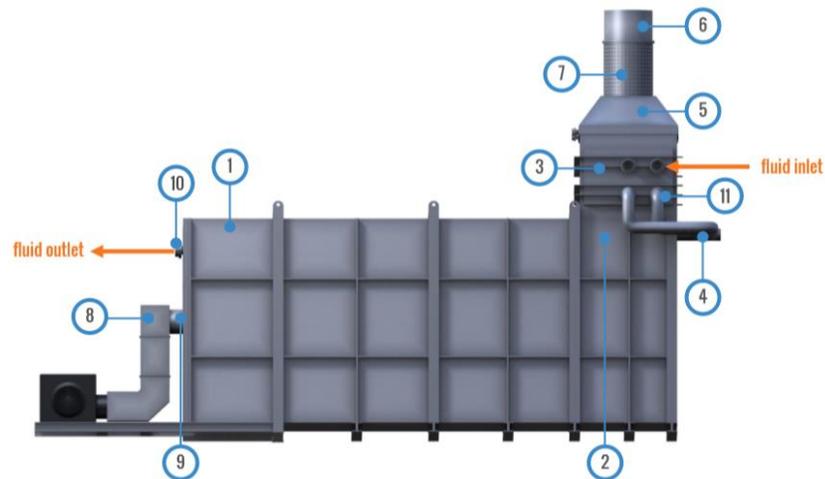


Tabla 1. Componentes de un Horno

No	Nombre	Descripción
1	Sección Radiante	Dónde los tubos están en presencia de la llama. La transmisión de calor es por radiación.
3	Sección Convectiva	Los tubos están fuera del alcance de la llama, los gases calientes se direccionan a través del paquete de tubos.
6	Chimenea	Tubo vertical usado para descargar los gases de combustión a la atmósfera.
7	Dámper	Dispositivo que ejerce una resistencia variable para regular el flujo de gas o aire.
8	Quemador	Dispositivo que introduce combustible y aire al horno a una velocidad y concentración para mantener una ignición adecuada y combustión.
9	Piloto	Pequeño quemador que proporciona la energía de ignición al quemador principal.
11	Paso	Circuito de flujo consistente en uno o más tubos en serie.

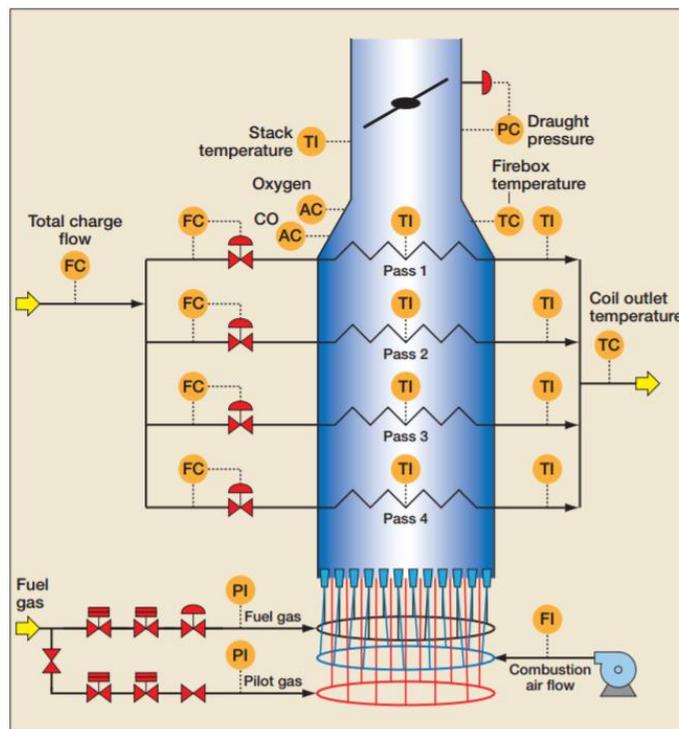
## 2.2. SEGURIDAD EN HORNOS

La seguridad y la mitigación de los riesgos siempre han sido, y siempre serán, un tema importante para cualquier compañía operativa. La materialización de un evento puede tener como consecuencia desde un incidente menor hasta fallas catastróficas que llevan a la pérdida de vidas.

Los sistemas de protección se establecen para reducir la probabilidad de ocurrencia de eventos y tomar acciones en eventos donde existan condiciones inseguras.

Los hornos en una refinería o industria petroquímica presentan riesgos de seguridad significativos. La función principal de un horno es mantener una temperatura deseada a la salida a una razón de carga deseada. Adicionalmente a esto, los sistemas de control y de seguridad están diseñados para mantener una combustión eficiente y una operación segura.

*Figura 2. Horno de procesos industriales típico.*



Los quemadores transfieren energía al proceso a través la combustión. Como en todo proceso de combustión, se deben tener precauciones para una operación segura. Es posible que se acumule combustible en el caso en que los quemadores se encuentran apagados, y estos deberían estar encendidos. La acumulación de combustible en el hogar y la posterior introducción de una fuente de ignición podrían resultar catastrófica. El sobrecalentamiento puede causar que los tubos excedan los límites de la metalurgia causando una ruptura. En casos donde se tengan fugas en los tubos, se podrían presentar explosiones destruyendo los equipos y constituyendo una amenaza para la vida. La materialización de eventos menores puede tener como resultado el paro no deseado para reparación afectando la producción.

El propósito los sistemas de seguridad para los hornos es evitar la combustión de combustible acumulado y prevenir el sobrecalentamiento y la posterior liberación de la corriente de proceso. El sistema de seguridad monitorea de manera continua para detectar condiciones inseguras y tomar acción cuando sea necesario. Entre otras variables el sistema debe ser capaz de monitorear presión y flujo de gas combustible, detección de llama, flujo de la corriente de proceso, flujo de aire de combustión, temperaturas, entre otras.

### **2.3. DISEÑO DE UN SISTEMA SEGURO Y SELECCIÓN.**

La seguridad en los hornos ha evolucionado continuamente, de tal manera que se han establecido estándares internacionales y legislaciones para el cumplimiento de normas y códigos. Organizaciones como la NFPA, ISA, IEC y API han publicado documentos que ofrecen una guía para los sistemas de protección. Estos estándares también describen las posibles acciones que los sistemas de protección pueden ejecutar cuando detecta alguna condición insegura. Cada uno de estos documentos ha sido elaborado basado en la experiencia y ofrece información valiosa.

La NFPA 86 cubre los sistemas de protección para hornos de proceso. Aplica para recintos calentados sin importar la fuente de calor. La NFPA desarrolla estándares, pero no impone el cumplimiento de la norma. Los reaseguradores o las autoridades locales pueden, en ciertos casos, hacerlos cumplir.

La IEC 62508 desarrollada por la IEC (International Electrotechnical Commission) proporciona el marco de trabajo y los requisitos básicos para el diseño de sistemas relacionados con la seguridad de hardware y software, independientemente del sector industrial. IEC también publicó el documento IEC

61511, que define los requisitos de seguridad funcional establecidos por IEC 61508 específicamente de la industria de procesos.

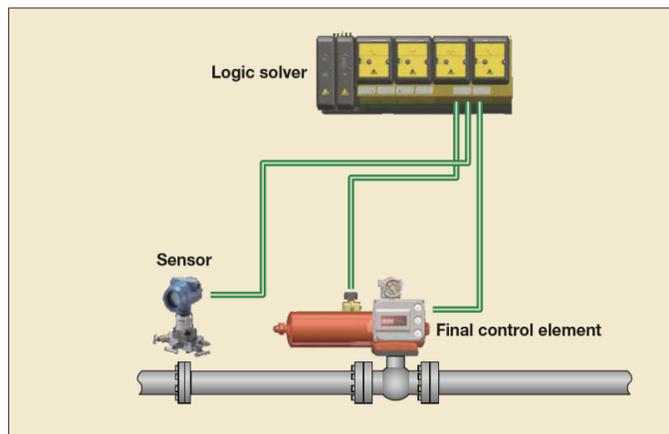
La ISA (International Society of Automation) publica un documento muy similar a la IEC 61511, ANSI/ISA 84.00.01-2004 y los dos documentos fueron integrados en un estándar, IEC 61511 – Mod. Este estándar se aplica a los Sistemas Instrumentados de Seguridad - SIS independientemente de la aplicación.

El Instituto Americano del Petróleo (API – American Petroleum Institute) publica una práctica recomendada, RP 556. El RP 556 se aplica sólo a los hornos calentados por gas y excluye las calderas. En contraste con el RP 560, el cual aplica para el diseño y la construcción de hornos con poco enfoque en la instrumentación, el alcance del RP 556 incluye la medición, control y sistemas de protección. RP 556 define las acciones de protección como acciones básicas del sistema de control, acciones del operador y acciones de los SIS, e incluye dispositivos de entrada, logic solvers, y dispositivos de salida como componentes. Especifica recomendaciones para estados seguros y se describen secuencias de arranque y apagado.

## 2.4. SISTEMAS INSTRUMENTADOS DE SEGURIDAD.

Un Sistema instrumentado de seguridad (SIS) es un conjunto de componentes como son sensores, logic solvers y elementos finales de control arreglados con el propósito de llevar el proceso a un estado seguro.

*Figura 3. Elementos de un sistema instrumentado de seguridad (SIS).*



Estos componentes se encuentran separados de todos los demás sistemas de control de modo que, en un evento de falla, el SIS no se vea afectado para realizar las funciones instrumentadas de seguridad (SIF). Un SIS ofrece beneficios de una mayor seguridad, mayor disponibilidad del sistema y el cumplimiento de los estándares y prácticas. El hardware específico de seguridad es más robusto y experimenta menos fallas que el hardware de dispositivos tradicionales.

Un BMS (Burner Management System) es un sistema que monitorea y controla los equipos de quema de combustibles durante todas las condiciones de arranque, apagado y operación. Puede cubrir desde un simple procedimiento que requiera la verificación manual antes de proceder o un sistema completamente automatizado que detecta condiciones y toma acciones.

Un BMS completamente automatizado utiliza una secuencia lógica diseñada con un conjunto de estados, transiciones, salidas y disparos. La secuencia solamente permite continuar al siguiente paso y tomar acción si se cumplen las condiciones permisivas para la transición. Condiciones permisiva son diseñadas de tal manera que se confirme una condición segura antes de continuar. Ejemplos de condiciones permisivas incluyen: posiciones de las válvulas de bloque, detección de llama, flujo mínimo, flujo de purga y temporizador de purga.

Contrario a los permisivos, las condiciones de interlock o disparos están diseñadas para iniciar un estado seguro cuando se detectan condiciones inseguras. Ejemplos de interlocks incluyen: pérdida de llama, pérdida de aire de combustión, alta o baja presión de combustible, exceso de temperatura. Si se detecta una condición de interlock o disparo, un BMS completamente automatizado iniciará un estado seguro y, si es necesario, apagará el suministro de combustible.

El trabajo secuencial de un BMS completamente automatizado proporciona valor agregado adicionalmente al cumplimiento de los requisitos mínimos de seguridad. Uno de los beneficios es la reducción significativa de los tiempos de arranque. Las secuencias automatizadas aseguran que cada paso es ejecutado de manera correcta y eliminan el error humano asociado.

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

Sobre la base de las consideraciones anteriores, teniendo en cuenta el alcance del proyecto se propone:

#### 3.1. Implementación del cambio de la lógica de disparo total del horno por pérdida de la señal de llama (NFPA 86 – 2015, 8.8.1.3 (1) (c)<sup>1</sup>).

NFPA 86 – 8.8.1.3: En sistemas de gas combustible o aceite donde múltiples quemadores o pilotos operan como un sistema de quemadores calentando una cámara común, el apagado de uno o más quemadores deberá cumplir con 8.8.1.2 o deberán cerrar ese(os) quemador(es) cerrando una única válvula de seguridad mientras que una segunda válvula de seguridad entre el suministro de combustible, y los quemadores deberá ser cerrada cuando cualquier de las siguientes condiciones ocurra:

1. Al activar cualquier *interlock* común al sistema de quemadores.
3. Cuando las válvulas de seguridad de cierre individuales tengan prueba de cierre y se produzca alguna de las siguientes condiciones:
  - c. Ante la pérdida de detección de llama en todos los quemadores del sistema.

Para la implementación de esta acción se modificará la lógica del *BMS* de acuerdo a la recomendación de la *NFPA*. Inicialmente el *interlock* asociado al disparo del horno por pérdida de detección de llama en los quemadores de un 25% de estos. El horno H-01 está compuesto de 8 quemadores, de tal manera que, el disparo se llevará a cabo una vez se haya perdido la detección de 2 quemadores.

---

<sup>1</sup> In fuel gas systems or oil systems where multiple burners or pilots operate as a burner system firing into a common heating chamber, shutting off of fuel at one or more burners shall comply with 8.8.1.2 or shall shut off those burner(s) by closing a single safety shutoff valve as long as a second safety shutoff valve between the fuel supply, and the burners shall close when any of the conditions occurs:

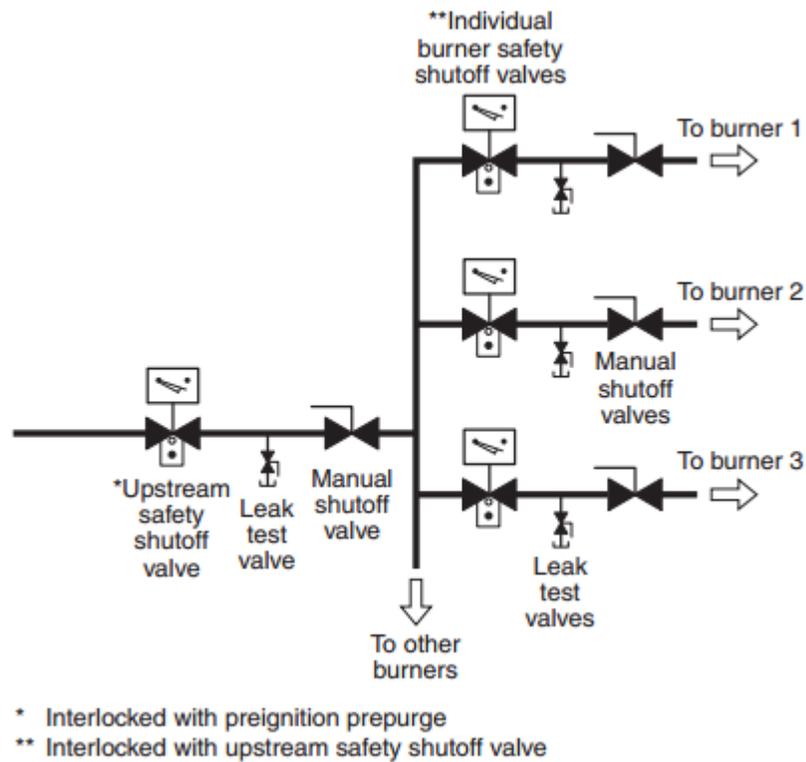
- (1) Upon activation of any safety interlock common to burner system
- (3) Where individual burner safety shutoff valves have proof of closure and any of the following condition occur:
  - (c) Upon loss of flame signal at all burners in the burner system



salvaguardas de combustión, o controles operativos, a menos que sea permitido por la sección 8.8.1.3.

Se reemplazan las válvulas de corte de seguridad existentes para el sistema de quemadores y pilotos por válvulas que cumplan con el requerimiento de la NFPA 86, y de acuerdo a la

Figura 5. Sistema de múltiples quemadores con switches de confirmación de cierre.<sup>3</sup>



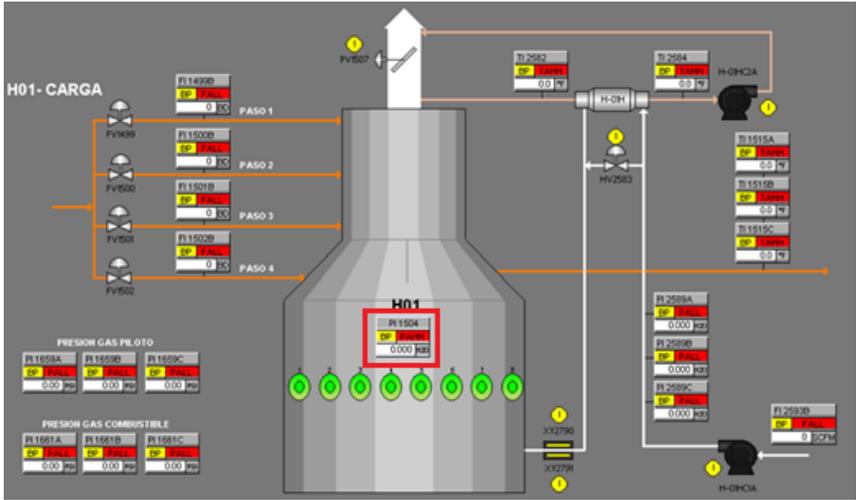
Leyenda	
Válvula de corte de seguridad	
Válvula de corte de seguridad con indicación visual	

<sup>3</sup> NFPA 86 – 2015 – Fig. A.8.8.1.2 Multiple Burner System Using Proof-of-Closure Switches.

Válvula de corte de seguridad con indicación visual y confirmación de cierre	
--	---

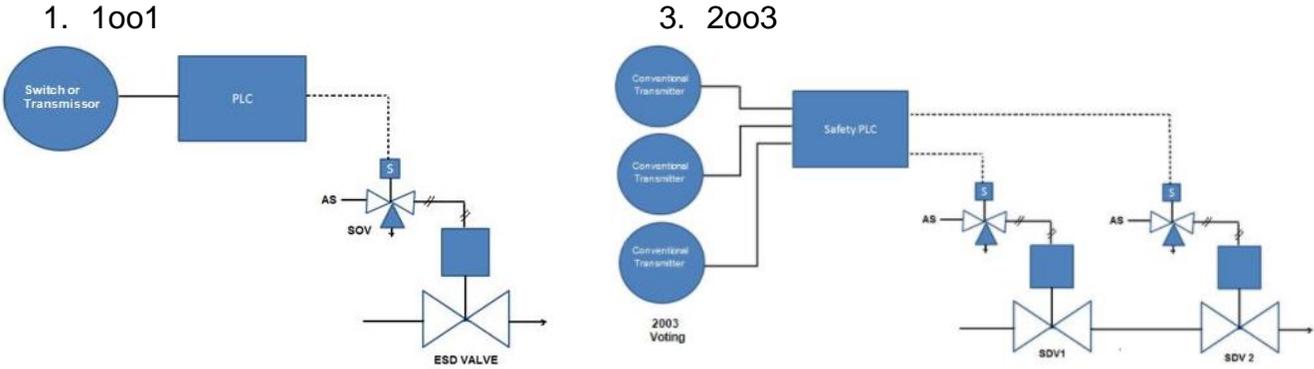
### 3.3. Implementación de redundancia, con votación 2oo3, en la medición de la presión del hogar.

Figura 6. Medición de la presión en el hogar del horno H-01 (PT-1504).



En la Figura 6 se puede observar la existencia un (1) transmisor de presión (PT-1504 – resaltado en rojo en el hogar del horno) para monitorear la presión del hogar. Este equipo está asociado a una alarma (PAHH-1504) de alta presión en el hogar del horno H-01 que hace parte de un *interlock* que dispara el horno.

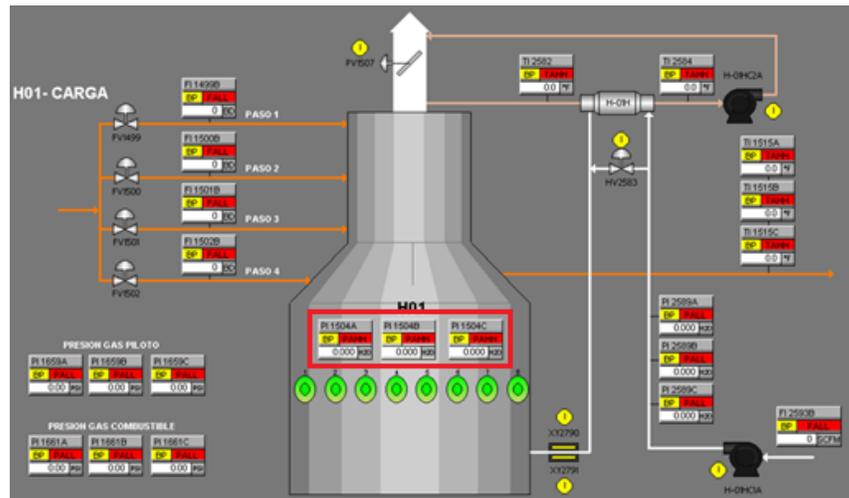
Figura 7. Arquitectura 1oo1 y 2oo3.



Se observa que es una arquitectura 1oo1 (

Figura 7 – a), donde el nivel de seguridad es muy bajo, cualquier falla del instrumento conllevará a un disparo no deseado. Esta arquitectura no es tolerante a fallas. Cualquier perturbación en el proceso donde aumente la presión del hogar, falla o malfuncionamiento de este equipo resultará en un apagado del horno impactando, de esta manera, el proceso y produce afectación a la producción.

Figura 8. Implementación de 2oo3 para la presión en el hogar (PT-1504 A/B/C).



En la Figura 8 se observan tres (3) transmisores de presión (PT-1504 A/B/C – resaltados en rojo en el hogar del horno), los cuales por votación 2oo3 (

Figura 7 - b), disparan el horno H-01 en condiciones de alta presión en el hogar. Se pasa a una configuración robusta, donde se disminuyen las posibilidades de disparos en falso. En esta arquitectura la salida no cambia si sólo un instrumento entrega un resultado diferente al de los otros dos (alta presión). Esta arquitectura da la flexibilidad para actividades de mantenimiento o pruebas manteniendo la protección del horno.

Para la implementación de esta solución se deben tener las siguientes recomendaciones mínimas para no degradar la función de seguridad:

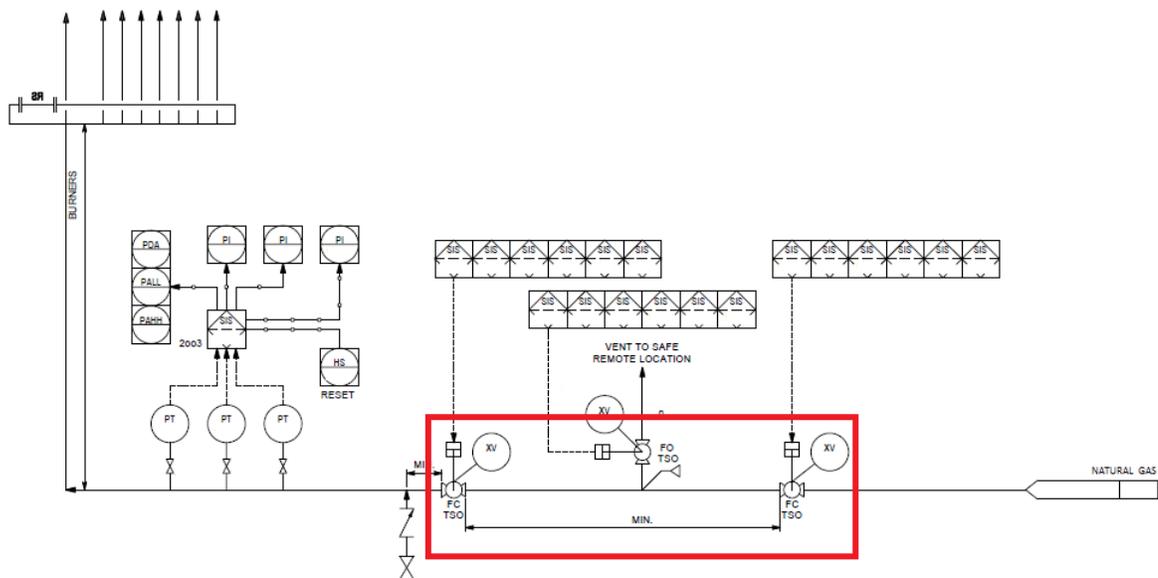
- Los nuevos transmisores de presión (PT-1504 B/C) no deberán montarse con elementos comunes al existente (PT-1504 A), es decir, deberán tener válvulas de aislamiento independientes, *manifolds*, etc.

- Debe existir una completa separación física de procesadores, módulos de entrada y salida (I/Os), racks, de tal manera que no se perjudique la seguridad ni la disponibilidad de las funciones de seguridad.

### 3.4. Implementación de facilidades (BY-PASS) en las válvulas principales de corte de pilotos y quemadores (API 556 3.4.6.2).

En el horno H-01 se evidencia que en las líneas principales de gas natural a pilotos y quemadores no existen facilidades de bypass que permitan un respaldo durante las pruebas de recorrido de las válvulas principales como se observa en la Figura 9.

Figura 9. Sistema de gas a quemadores/pilotos.



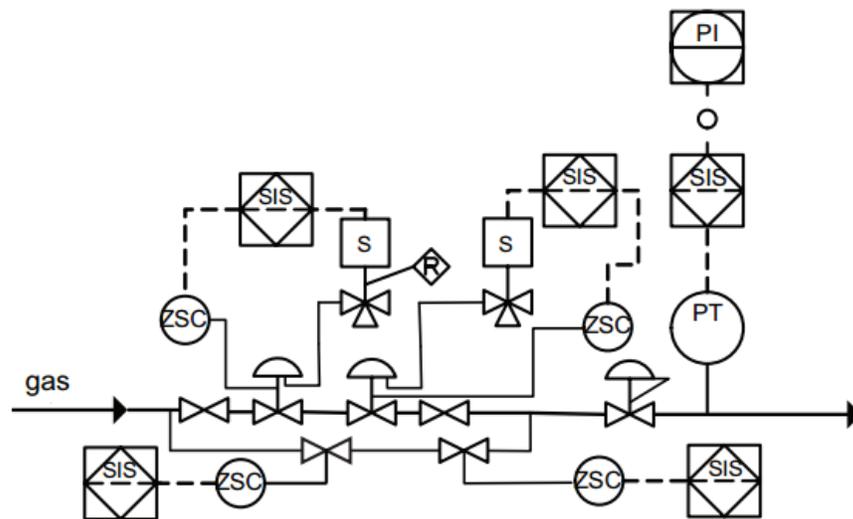
De acuerdo a la API 556, segunda edición, versión 2011, 3.4.6.2. Válvulas de Bypass (alrededor de válvulas de cierre seguridad)<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> API 556 version 2011. 3.4.6.2 Bypass Valves (around Safety Shutoff Valves)

API 556 – 2011, 3.4.2.6: Los siguientes ítems aplicarán a los bypass de las válvulas de cierre de seguridad.

- Un sistema de doble corte manual, o doble corte manual y ciego, puede ser instalado en paralelo con las válvulas de cierre de seguridad para facilitar las pruebas en línea de recorrido de las válvulas de seguridad.

Figura 10. Válvulas de Bypass en sistema de gas a quemadores/pilotos.



API 556 – 2011, 3.4.6.1. Válvulas de cierre de seguridad:<sup>5</sup>

The following items apply to shutoff valve bypasses used in safety instrumented functions.

— Manual double blocks, or a double block and blind arrangement, may be installed in parallel with the safety shutoff valves to facilitate full stroke online testing of safety valves.

<sup>5</sup> API 556 versión 2011. 3.4.6.1 Safety Shutoff Valves:

In many fired heater applications, the use of a bleed valve between two automated block valves has been discontinued due to environmental and safety implications of releasing fuel gas to the atmosphere. In the absence of a bleed valve, there may be increased concern for seat leakage of fuel gas into the heater. Since the automated block valves should maintain tight shutoff requirements, the purge cycle and sniffing a cold firebox with a portable combustibles analyzer prior to light off minimizes the process hazard. If the owner/operator elects to implement a valve proving system to verify seat integrity, it is recommended that the automated block valves be proven at the scheduled outage instead of waiting until the startup sequence. This facilitates valve testing and repair in a more practical and timely manner. The basis for seat leakage flow rates at the testing pressure, the corresponding pressure setpoints, and the delay timers that define pass/fail criteria should be documented during the project design phase.

En varias aplicaciones de hornos, el uso de válvulas de purga entre dos válvulas automáticas de bloque ha sido discontinuado debido a implicaciones ambientales y de seguridad al liberar el gas combustible a la atmosfera. En la ausencia de una válvula de purga, puede incrementar la preocupación de fugas de gas al horno.

Debido a que las válvulas automáticas de corte deben mantener unos requerimientos de cierre hermético, los ciclos de purga y la revisión del hogar con analizadores portátiles antes del apagado minimiza los riesgos del proceso.

Si el propietario/operador opta por implementar un sistema de revisión de válvulas para verificar la integridad del asiento, se recomienda que las válvulas automáticas de corte sean probadas a la frecuencia programadas en lugar de esperar hasta la siguiente secuencia de arranque. Esto facilita las pruebas y reparaciones de las válvulas de una manera más efectiva y oportuna.

#### 4. FACTIBILIDAD DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Los beneficios esperados por la implementación de esta recomendación son los siguientes:

Seguridad:

- Normalizar el horno H-01 de la U044, bajo el estándar NFPA 86 (versión 2015) y siguiendo los lineamientos del API 556 (versión 2011)
- Evitar la exposición de los operadores ante posible retro-llama del horno.
- Aumentar la confiabilidad y disponibilidad operacional del horno.

Económico: Se reduce los tiempos de arranque del horno y los trabajos continuos de limpieza de los detectores de llama y boquillas de los pilotos.

**NOTA:** el lucro cesante estimado anual promedio de una planta petroquímica de productos especiales es de USD \$13.000.000, esto es una proyección anual teniendo en cuenta que se apagó durante 90 días el año anterior. Este proceso cumple con la curva de la bañera, ya que la mayor probabilidad de falla se encuentra en los arranques de la unidad y en la culminación de la vida útil.

Costos Estimados:

A continuación se encuentran listados los costos en dólares (USD), con un margen de precisión de +/- 50%, del diseño e implementación de la solución propuesta:

*Tabla 2. Valores en dólares para la inversión del diseño según normas NFPA y API.*

Costo de los materiales	\$350.000
Montaje	\$100.000
Estudios de Ingeniería	\$50.000
Otros	\$0
Total Costos	\$500.000

Calculo de factibilidad de la inversión (F)

Valor del riesgo antes del cambio (Calculado en Matriz RAM):

$$\underline{R1 = \$13.000.000 \text{ USD}}$$

Valor del riesgo después del cambio (Calculado en Matriz RAM):

$$\underline{R2 = \$300.000 \text{ USD}}$$

Factor F:

$$F = \frac{\text{Valor del riesgo antes del cambio} - \text{Valor del riesgo después del cambio}}{\text{Costo de la Inversión}}$$

$$F = \frac{R1 - R2}{\text{Costo de la Inversión}}$$

$$F = 25.6$$

Al realizar el cálculo de factibilidad de la inversión se identifican los siguientes beneficios:

1. Valor del riesgo se disminuye en casi un 97% en lucro cesante anual.
2. El valor de la inversión es del 5% del costo del lucro cesante anual, es decir, con 15 días de lucro cesante de la planta se paga la inversión, y el año pasado estuvo 90 días detenida.
3. La factibilidad muestra una optimización de los costos en un 74.4%, lo cual genera mayor confiabilidad de la operación, menor valor en costo de mantenimiento por disminución de los tiempos medios entre fallas (TMEF) y disminución en los tiempos medios entre reparación (TMER).
4. La probabilidad de ocurrencia de que se apague el horno se disminuye en un 75%, ya que inicialmente para que se apagara el horno se requería del 25% del daño de los quemadores, ahora requiere del por lo menos el 90%. Por lo tanto, esto disminuyó el valor del lucro cesante al 97% anual.
5. Se aplica una sola inversión como contrato de servicio, y se aprovecha cuando la sección este apagada bajo planeación previa, o cuando falle la unidad.

## 5. CONCLUSIONES

La implementación del cambio en el diseño para la seguridad del horno según las normas NFPA 86 versión 2015 y API 556 versión 2011, genera beneficios para la industria a nivel de personas, económico y de seguridad de procesos. Los operadores tendrán mayor confianza en la lectura de los datos en los paneles de control, el acceso a los hornos será más seguro y el manejo de las válvulas para cierre y apertura será automatizado; económicamente la empresa disminuirá su valor de lucro cesante a un 3% del valor actual debido a que para que se apague la unidad completa se tendrán que apagar los 8 quemadores de 8 y no 2 quemadores como en el diseño anterior, el tiempo medio entre reparación será menor, ya que los tiempos de apagada y encendido de los quemadores que no se dañan generan horas improductivas, ahora solo se tendrá que apagar y encender los quemadores dañados, la inversión para la aplicación del nuevo diseño se paga con 15 días de producción de la unidad; y la seguridad ambiental se mejora debido a la instalación de válvulas de cortes y válvulas de by-pass que reaseguran que el producto que se utilice en la planta no se filtre por los ductos y llegue al ambiente ni a los seres humanos, sino que se mantenga en lugares seguros de almacenamiento dentro de la unidad para que luego sean tratados y/o sacados de la unidad de manera controlada.

Con la nueva instalación del diseño basado en normas NFPA y API, la unidad y los operadores se pueden certificar en NFPA y CEPI o CFPS (Certified Fire Protection Specialist) y aumentar la vida útil del activo generando 95% en días útiles al año, lo que coloca a la organización en estándares mundiales con mira al primer cuartil de SOLOMON ASSOCIATES (Compañía para referencias internacionales de OIL & GAS).

Finalmente a través del control y la automatización se asegura el funcionamiento seguro de los hornos, se mejora la confiabilidad de la unidad y se incrementa las utilidades diarias de la unidad disminuyendo el valor de lucro cesante estimado anual en un 97%.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- API STANDARD 560, “Fired Heaters for General Refinery Service”, 5th Edition, February 1, 2016.
- API RP 556, “Instrumentation, Control, and Protective Systems for Gas Fired Heaters” 2nd Edition, April 1, 2011.
- NFPA 86, “Standard for Ovens and Furnaces”, 2015 Edition.
- Born Heaters Canada Ltd, Chau. Paul, Newnham. Roger, Safety Controls and Burner Management Systems (BMS) on Direct-Fired Multiple Burner Heaters, Canada.
- NIKKI BISHOP and DAVID SHEPPARD, Emerson Process Management . Role of fired heater safety systems. <http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Articles/PTQ2013.pdf>.