



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

TEMA:

**ELABORACIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO PARA OPTIMIZAR LOS
NIVELES DE EMISIONES DE GASES EN FUENTES FIJAS DE
COMBUSTIÓN (HORNOS H2A Y H2B) DE LA REFINERÍA CAUTIVO
UBICADA EN EL CANTÓN LA LIBERTAD PROVINCIA DE SANTA
ELENA**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:

Jorge Perero De La Cruz.

TUTOR DE TESIS:

Ing. Víctor Matías Pillasagua MSc.

Año 2016.

La libertad, noviembre 2016.

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación **“ELABORACIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO PARA OPTIMIZAR LOS NIVELES DE EMISIONES DE GASES EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN (HORNOS H2A Y H2B) DE LA REFINERÍA CAUTIVO UBICADA EN EL CANTÓN LA LIBERTAD PROVINCIA DE SANTA ELENA”** elaborado por el Sr. Jorge Iván Perero De La Cruz, egresado de la carrera de Ingeniería Industrial, de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, me permito declarar luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todos sus partes.

Atentamente

MSc. Víctor Matías P. Ing.
PROFESOR TUTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y PATRIMONIO INTELLECTUAL.

El contenido del presente trabajo de graduación “ELABORACIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO PARA OPTIMIZAR LOS NIVELES DE EMISIONES DE GASES EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN (HORNOS H2A Y H2B) DE LA REFINERÍA CAUTIVO UBICADA EN EL CANTÓN LA LIBERTAD PROVINCIA DE SANTA ELENA”, es de mi responsabilidad, el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

JORGE PERERO DE LA CRUZ.

CI. 092448430-6.

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios, que a pesar de estar distanciado de él, me supo guiar y con su ayuda pude desarrollar y plasmar mis conocimientos en este proyecto.

Al esfuerzo incansable de mis padres Lucila De La Cruz y Pedro Perero, a Marjorie mi hermana y mi hermano Kleber, a mi tía Yolanda De la Cruz, a mi abuelo Francisco De la Cruz que aunque ya no está con nosotros físicamente siempre vivirá en nuestros corazones. Gracias a todos mis familiares por ese apoyo incondicional y desinteresado, por esos consejos precisos que me supieron brindar en momentos difíciles.

A mis compañeros de clase, por esa ayuda mutua en entrega de deberes e informes, por todas esas alegrías y esas tristezas durante todo el tiempo que estuvimos dentro de clases, a ese grupo siempre identificado por los docentes siempre los recordaré.

A mi novia, Gabriela del Pezo por su compañía, su comprensión y dedicación, por su tranquilidad ante la adversidad, por saber decirme las palabras precisas para no desmayar ante todo este proceso llamado tesis.

¡Gracias totales!

AGRADECIMIENTO

Muy agradecido a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por la oportunidad que me dio para formarme profesionalmente.

Un agradecimiento formal al Ing. Marco Bermeo García, Decano de la Facultad, quien sin complicaciones me brindo las facilidades necesarias para el desarrollo de mi trabajo. Al Ing. Julio Perero Rodríguez por permitirme hacer uso de documentación y apuntes de autoría propia además de su experiencia profesional en el campo petrolero.

A mis dos tutores el Ing. Jorge Lucín y el Ing. Víctor Matías quienes me acompañaron durante todo este proceso de titulación, gracias por la paciencia y el tiempo dedicado.

A todos los profesores que conforman la carrera de Ing. Industrial, gracias por brindarme sus conocimientos, por esas críticas constructivas y por esos consejos fuera de cátedra.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Marco Bermeo García MSc.
**DECANO (E) DE LA FACULTAD
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Ing. Marlon Naranjo Lainez MSc.
**REPRESENTANTE DEL DIRECTOR
ESCUELA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Ing. Víctor Matías Pillasagua MSc.
TUTOR DE TESIS DE GRADO

Ing. Franklin Reyes Soriano MSc.
PROFESOR DEL ÁREA

Ab. Brenda Reyes Tomalá MSc.
SECRETARIA GENERAL

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ELABORACIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO PARA OPTIMIZAR LOS
NIVELES DE EMISIONES DE GASES EN FUENTES FIJAS DE
COMBUSTIÓN (HORNOS H2A Y H2B) DE LA REFINERÍA CAUTIVO
UBICADA EN EL CANTÓN LA LIBERTAD PROVINCIA DE SANTA
ELENA**

Autor: Jorge Iván Perero De La Cruz.

Tutor: Ing. Víctor Matías Pillasagua MSc.

RESUMEN

Nuestro problema planteado se sitúa en las instalaciones de Refinería Cautivo, específicamente en los hornos H- 2A y H- 2B (fuentes fijas de combustión), esta Refinería está ubicada en el Cantón La Libertad Provincia de Santa Elena.

Toda fuente fija de combustión genera gases tóxicos al ambiente pero el problema surge cuando estos límites exceden el rango máximo permitido según la normativa ambiental nacional vigente, y el impacto que puedan generar estos gases en el entorno en el que vivimos, lo que está sucediendo en los hornos descritos anteriormente es que el nivel de emisiones de gases particularmente el dióxido de azufre y el monóxido de carbono que estos generan no se encuentran dentro de los límites máximos permitidos, quien regula esta problemática es el estado ecuatoriano a través del Ministerio del Ambiente, y es deber de todas las entidades dedicadas a la producción el cumplimiento de dichas disposiciones.

Se estudiarán las principales variables operativas que influyen en el proceso de combustión de los hornos H2A y H2B, este estudio se limita a determinar los o el factor principal de incidencia en el elevado nivel de concentración de gases al ambiente diagnosticando el problema encontrado y posterior a aquello se propondrán opciones como alternativas de solución ante este particular.

ÍNDICE GENERAL

CARATULA	I
APROBACIÓN DEL TUTOR	II
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y PATRIMONIO	III
AGRADECIMIENTO	V
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	VI
RESUMEN	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XII
ÍNDICE DE CUADRO	XIV
ÍNDICE DE IMÁGENES	XVII
ÍNDICE DE ANEXOS	XVIII
ABREVIATURAS	XIX
GLOSARIO DE TÉRMINOS	XX
INTRODUCCIÓN	XXI
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1.1 Antecedentes.....	1
1.1.2 Objetivos.....	2
1.1.3 Ubicación geográfica del problema.....	3
1.1.4 Justificación.....	6
CAPÍTULO II	8
DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA Y MARCO LEGAL SOBRE AMBIENTE	8
2.1 La empresa y sus actividades.....	8
2.1.1 Misión	10
2.1.2 Visión.....	10
2.1.3 Valores	10
2.1.4 Productos procesados.....	10

2.1.5	Organigrama del Departamento de No Catalíticas de Refinería La Libertad.....	15
2.2	Descripción de procesos de producción e instalaciones.....	16
2.2.1	Manual de funciones del área a estudiar.....	17
2.2.2	Capacidad de Producción.....	18
2.2.3	Recursos Productivos.....	19
2.2.4	Proceso de producción.....	20
2.3	Marco legal de gestión ambiental actual relacionado al tema.....	23
2.3.1	Constitución Nacional de la República del Ecuador.....	23
2.3.2	Tulas libro VI Anexo 4 de la calidad del aire.....	23
2.3.3	Acuerdo N° 091. Registro Oficial 430 del 2 de Enero del 2007. Límites Máximos Permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas para actividades hidrocarburíferas.....	29

CAPÍTULO III..... 33

ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO SOBRE LAS EMISIONES DE GASES AL AMBIENTE..... 33

3.1	Introducción al problema.....	33
3.2	Metodología.....	34
3.3	Hornos para refinerías.....	35
3.3.1	Principales partes y características de los hornos petroquímicos.....	37
3.3.2	Características de los quemadores.....	39
3.4	Análisis del proceso de combustión.....	44
3.4.1	Reacciones químicas básicas que se producen en el proceso de combustión.....	46
3.4.2	Variables que inciden en el proceso de combustión y la generación de gases.....	47
3.5	Análisis e identificación de problemas.....	47
3.5.1	Monitoreo de emisiones de gases al ambiente.....	51
3.5.2	Consumo de combustible en los hornos H2A y H2B.....	63
3.5.3	Tipos de fuel oíl empleados en el proceso de combustión para hornos petro-químicos.....	68
3.5.4	Mantenimiento de un Horno Industrial.....	71
3.6	Diagnóstico del problema: Análisis y conclusiones.....	75

3.7	Encuesta	78
3.7.1	Población.....	78
3.7.2	Tamaño de muestra.....	79
3.7.3	Tabulación y Análisis de la información recolectada.....	79
CAPÍTULO IV		86
PROPUESTA TÉCNICA PARA OPTIMIZAR LOS NIVELES DE EMISIONES DE GASES AL AMBIENTE.....		86
4.1	Alternativas de solución al problema planteado.....	86
4.2	Mantenimiento correctivo-preventivo de quemadores de gasóleo o Fuel oil	87
4.2.1	Mantenimiento periódico de los quemadores y accesorios.....	88
4.2.2	Coordinación entre el proceso de limpieza de los hornos y el proceso de monitoreo de gases de combustión.....	92
4.3	Combustible utilizado en los hornos H2A y H2B.....	94
4.3.1	Tipo de fuel oil empleados en el proceso de combustión.....	94
4.3.2	Alternativa de mejora reduciendo la concentración de Azufre en el combustible.....	96
4.4	Capacitación.....	98
4.4.1	Asistencia técnica al proceso de combustión en los Hornos.....	99
4.4.2	Ajustes operativos en el proceso de combustión.....	104
4.4.3	Optimización del exceso de aire en el proceso de combustión.....	109
4.4.4	Verificación constante del estado de la llama.....	111
4.5	Provisión de aditivo comercial (químico) como alternativa de mejora en la combustión.....	114
4.5.1	Ventajas de la utilización de un químico comercial.....	114
4.5.2	Características del químico a utilizarse.....	115
4.6	Ejecución de la propuesta.....	116
4.6.1	Ejecución del mantenimiento.....	116
4.6.2	Ejecución de la Capacitación.....	123
4.6.3	Ejecución de la provisión del aditivo comercial como alternativa de mejora en el proceso de combustión.....	124
4.7	Evaluaciones de mejora.....	126

4.7.1	Verificación de la disminución en los niveles de emisiones de gases al ambiente.....	127
4.7.2	Representación estadística de los datos y resultados obtenidos, implementando los correctivos detallados en la propuesta.....	130
CAPÍTULO V.....		138
ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA PROPUESTA.....		138
5.1	Inversiones de mejoras y prevención.....	138
5.2	Inversión en activos.....	138
5.3	Costos y gastos de la propuesta.....	139
5.4	Análisis del Costo-Beneficio.....	149
5.5	Conclusiones y recomendaciones.....	150
BIBLIOGRAFÍA.....		153
ANEXOS.....		155

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1 Organigrama del departamento de No Catalíticas de Refinería la Libertad.	16
Gráfico N° 2 Diagrama de recorrido de crudo al proceso	21
Gráfica N° 3 Recorrido de Combustible a Hornos y Calderas.	22
Gráfica N° 4 Horno tipo cabina.	36
Gráfica N° 5 Partes de un horno tipo caja o cabina.	38
Gráfica N° 6 Partes de un quemador para aceite combustible.	39
Gráfica N° 7 Bayoneta para aceite típica.	40
Gráfica N° 8 Tipos de llamas problemas y causas.	41
Gráfica N° 9 Tipos de llamas problemas y causas.	42
Gráfica N° 10 Proporciones de gases obtenidos con exceso de aire.	65
Gráfica N° 11 Proporciones de gases obtenidos con defecto de aire.	66
Gráfica N° 12 Proporciones de gases obtenidos con una buena mezcla aire-combustible.	67
Gráfico N° 13 Límites máximos permisibles para emisiones de gases en fuentes fijas de combustión.	80
Gráfico N° 14 Mantenimiento preventivo de los quemadores de los hornos.	82
Gráfico N° 15 Carga contaminante en el combustible empleado en el proceso de combustión.	83
Gráfico N° 16 Mecanismo o sistema para reducir emisiones de gases al ambiente	84
Gráfico N° 17 Vialidad de la propuesta.	85
Gráfico N° 18 diagrama de la aditivación del químico al tanque de combustible.	126

- Gráfico N° 19 Gráfica de control del comportamiento del CO en el horno H2A.. 131
- Gráfico N°20 gráfica de control del comportamiento del SO2 en el horno H2A. 132
- Gráfico N° 21 Gráfica de control del comportamiento del NOx en el horno H2A.133
- Gráfico N° 22 Gráfica de control del comportamiento del CO en el horno H2B. 134
- Gráfico N° 23 Gráfica de control del comportamiento del SO2 en el horno H2B.135
- Gráfico N° 24 Gráfica de control del comportamiento del NOx en el horno H2B.136

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro N° 1 Recursos Humanos.....	19
Cuadro N° 2 : Límites máximos permisibles de concentración de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión, incluidas fuentes de combustión abierta (mg/Nm ³).....	28
Cuadro N° 3 : Límites Máximos Permitidos para emisiones de gases en fuentes fijas de combustión (calderos, hornos y calentadores).	31
Cuadro N° 4 : Reacciones químicas que se producen en el proceso de combustión	46
Cuadro N° 5 : Variabilidad de los gases de combustión	49
Cuadro N° 6: Monitoreo de emisiones de gases ambiente.	54
Cuadro N°7 : Correlación de los resultados monitoreados de ppm a unidades normadas Mg/Nm ³	54
Cuadro N° 8: Monitoreo de emisiones de gases ambiente.....	56
Cuadro N° 9 : Correlación de los resultados monitoreados a unidades normadas. ...	56
Cuadro N° 10 : Monitoreo de emisiones de gases ambiente.....	57
Cuadro N° 11 : Correlación de los resultados monitoreados a unidades normadas. ...	58
Cuadro N° 12 : Monitoreo de emisiones de gases ambiente.....	59
Cuadro N° 13 : Correlación de los resultados monitoreados a unidades normadas. ...	59
Cuadro N° 14 : Monitoreo de emisiones de gases ambiente.....	60
Cuadro N° 15 : Correlación de los resultados monitoreados a unidades normadas. ...	61
Cuadro N° 16 : Monitoreo de emisiones de gases ambiente.....	62
Cuadro N° 17 : Correlación de los resultados monitoreados a unidades normadas. ...	62
Cuadro N° 18 : Consumo de combustible en hornos H2A y H2B.	63

Cuadro N° 19 : Tipos de Fuel Oil.....	69
Cuadro N° 20: Características del fuel Oil empleado en el proceso de combustión	69
Cuadro N° 21 : Características del fuel Oil empleado en el proceso de combustión	71
Cuadro N° 22 : Síntesis del diagnóstico del problema.	76
Cuadro N° 23 Muestra (personal que trabaja en planta Cautivo).....	79
Cuadro N° 24 Límites máximos permisibles para emisiones de gases en fuentes fijas de combustión.	80
Cuadro N° 25 Mantenimiento preventivo de los quemadores de los hornos.	81
Cuadro N° 26 Carga contaminante en el combustible empleado en el proceso de combustión.	82
Cuadro N° 27 Mecanismo o sistema para reducir emisiones de gases al ambiente.	83
Cuadro N° 28 Vialidad de la propuesta.	84
Cuadro N° 29 : Alternativas de solución al problema planteado.	86
Cuadro N° 30: Manual de procedimiento para el mantenimiento de un quemador a gasoil.	90
Cuadro N° 31 : Formato de registro para trabajos afines a los hornos H2A y H2B.	94
Cuadro N° 32: Características del fuel Oil empleado en el proceso de combustión	96
Cuadro N° 33: Reacciones químicas que se producen en el proceso de combustión	102
Cuadro N° 34 : Límites Máximos Permitidos para emisiones de gases en fuentes fijas de combustión (calderos, hornos y calentadores).....	103
Cuadro N°35: Programa de capacitación	123
Cuadro N° 36 : Monitoreo de emisiones de gases al ambiente en los hornos H2A y H2B (sin la implementación de la propuesta).....	127

Cuadro N° 37: Corrección a unidades norma de los monitoreos realizados en H2A y H2B. (Sin la implementación de la propuesta)	128
Cuadro N° 38: Monitoreo de emisiones de gases al ambiente en los hornos H2A y H2B (con la implementación de la propuesta)	129
Cuadro N° 39 : Corrección a unidades norma de los monitoreos realizados en H2A y H2B. (Con la implementación de la propuesta)	129
Cuadro N° 40 Inversión en Activos	138
Cuadro N° 41 COSTOS OPERACIONALES	139
Cuadro N° 42 Inversión Total	140
Cuadro N° 43 Estructura de Capital.....	140
Cuadro N°44 Tabla de Amortización.....	141
Cuadro N° 45 Resumen de la Tabla de Amortización	142
Cuadro N° 46 Capital de Operaciones	144
Cuadro N° 47 Estimación de Ingresos	144
Cuadro N°48 Flujos de Caja	145
Cuadro N°49 Cuadro de Interpolaciones	147
Cuadro N° 50 Cuadro de Valor Actual Neto (VAN)	148

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 1 Ubicación Geográfica de la Empresa.....	3
Imagen N° 2 Monitoreo de emisiones de gases al ambiente.....	52
Imagen N° 3 Limpieza y monitoreo de emisiones al ambiente en los hornos H2A y H2B.....	92
Imagen N° 4 Requisitos fisicoquímicos para el Fuel Oil liviano y pesado.....	95
Imagen N° 5 Incorrecta posición entre el atomizador y el anillo refractario.....	108
Imagen N° 6 correcta posición entre el atomizador y el anillo refractario.....	109
Imagen N° 7 Verificación del estado defectuoso de un quemador de gasoil.....	117
Imagen N° 8 Desmontaje de la cubierta móvil.....	118
Imagen N° 9 Desmontaje de la campana o caja del quemador principal.....	118
Imagen N° 10 Derrame de combustible por los surcos de la campana.....	119
Imagen N° 11 Partes del quemador y sellado del orificio de donde fue desmontado el quemador.....	119
Imagen N° 12 Extracción del inyector de su receptor y de su cubierta móvil.....	120
Imagen N° 13 Limpieza y pruebas de atomización del inyector de gasóleo.....	120
Imagen N° 14 Montaje del quemador y del inyector de gasóleo.....	121
Imagen N° 15 Conexión de las entradas de aire, vapor y gasóleo.....	122
Imagen N° 16 Encendido del quemador.....	122

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1 MONITOREO DE EMISIONES DE GASES AL AMBIENTE.	156
ANEXO N° 2 TIPOS DE HORNOS DE PROCESO	157
ANEXO N° 3 PRESENCIA DE PARTÍCULAS DE AZUFRE EN LOS TUBOS DE LOS HORNOS	158
ANEXO N° 4 MONITOREO DE EMISIONES DE GASES AL AMBIENTE EN LOS HORNOS H2A Y H2B DE REFINERÍA CAUTIVO	159
ANEXO N° 5 PROCESO DE DOSIFICACIÓN DEL QUÍMICO COMERCIAL R- 4.....	160
ANEXO N° 6 PROCESO DE COMBUSTIÓN.....	161
ANEXO N° 7 RELACIÓN ESTEQUIOMETRICA AIRE-COMBUSTIBLE.....	162
ANEXO N° 8 DIAGRAMA DE RECORRIDO DEL COMBUSTIBLE HACIA EL QUEMADOR.....	163
ANEXO N° 9 QUEMADORES DE FUEL OÍL.....	164
ANEXO N° 10 EQUIPO ANALIZADOR DE GASES TESTO 3XL.....	165
ANEXO N°11 FORMATO DE ENCUESTA.....	166

ABREVIATURAS

CO₂.- Dióxido de Carbono.

NO_x.- Óxidos de Nitrógeno.

SO₂.- Dióxidos de Azufre.

MDL.- Mecanismo de Desarrollo Limpio.

API.- American Petroleum Institute.

CIU.- Código Industrial Internacional.

CEPE.- Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana.

GLP.- Gas Licuado de Petróleo.

BPD.- Barriles por día.

TULAS.- Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria.

TULSMA.- Texto Unificado de la Legislación Secundaria Medio Ambiental.

L.M.P.- Límites Máximos Permisibles

DINAPA.- Dirección Nacional de Protección Ambiental.

RAHOE.- Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.

%O₂ (Cn).- Porcentaje de Oxígeno en condiciones normales.

%O₂ (Ref).- Porcentaje de Oxígeno en condiciones referenciales.

%O₂ (Med).- Porcentaje de Oxígeno en condiciones medido.

K.- Constante de corrección para gases

PPM.- Partes por Millón.

BSW.- Contenido de agua libre y sedimentos que trae el crudo.

INEN.- Servicio Ecuatoriano de Normalización.

VAN.- Valor Actual Neto.

TIR.- Tasa Interna de Retorno.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Efecto invernadero.- Es considerado un aumento en la temperatura atmosférica producida por la concentración de gases tóxicos en la atmósfera.

Combustión.- Proceso químico de rápida oxidación con desprendimiento de energía en forma de calor o luz.

Barril de crudo.- Unidad de volumen utilizada en reino Unido, Estados Unidos y demás países petroleros.

Hidrocarburo.- Es un compuesto químico formado por moléculas de hidrógeno y carbono.

Fuel oíl.- Fracción de petróleo que se obtiene como residuo.

No catalítico.- No variación de la velocidad en una reacción química, sin presencia de catalizador.

Señor.- Ha sobrepasado la categoría de junior.

Intendencia.- Control, administración de un departamento.

Hornos.- Dispositivo que se emplea en la industria para calentar elementos o materiales en su interior.

Combustible.- Material que es capaz de liberar energía oxidándose de manera rápida en forma de calor.

Material Particulado.- Acumulación de partículas pequeñas de sólidos o gotitas líquidas presentes en la atmósfera.

Contaminación.- Transferencia de una cosa a otra, se puede contaminar a la atmósfera con sustancias capaces de perjudicar su estado.

Radiación.- Emisión de partículas o de energía a través del espacio.

Testo 3XL.- Equipo empleado para el monitoreo de emisiones de gases a la atmósfera.

Pulverización.- Reducir a polvo o partículas pequeñas un sólido.

Amortizar.- Recuperación del capital invertido, a partir de beneficios obtenidos.

INTRODUCCIÓN

Toda fuente fija de combustión genera emisiones de gases a la atmósfera pero el problema surge cuando estos niveles de emisiones superan los límites máximos permisibles establecidos según la normativa nacional en vigencia.

Los contaminantes más representativos generados por la industria Hidrocarburíferas son el Dióxido de azufre, Óxidos de nitrógeno, Monóxido de carbono acompañado de los hidrocarburos y las partículas suspendidas totales.

Nuestro estudio se desarrolla en los hornos H2A y H2B (“fuentes fijas de combustión”) de Refinería Cautivo, en el primer capítulo se hace mención al objetivo principal y los objetivos específicos de esta propuesta justificando además la importancia de este proyecto. En segundo plano se describe a la empresa y sus actividades así como también se dejan establecido el marco legal ambiental enfocado a nuestra propuesta de optimización de los niveles de emisiones de gases en los dos hornos de esta Refinería.

En el capítulo tres se elaboró un diagnóstico de los problemas encontrados que estarían originando el problema principal, a continuación en el capítulo cuatro en base al diagnóstico se elaboró una propuesta que servirá para optimizar los niveles de emisiones de gases a la atmósfera y que se encuentren enmarcados según la legislación ambiental vigente. Por último se evalúan los aspectos económicos de nuestra propuesta verificando si la misma es factible o no.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1.1 Antecedentes.

Las emisiones de gases al ambiente hoy en día constituyen un motivo de alerta mundial. Según la National Geographic el gas de efecto invernadero CO₂ dióxido de carbono aporta en mayores proporciones a la degeneración del planeta tierra.

Según este artículo durante los últimos 150 años las actividades producidas por automóviles, aviones, fuentes fijas de combustión industriales, centrales eléctricas han enviado al ambiente concentraciones de CO₂ sumamente elevadas comparándolas a aquellos niveles que se tenían hace cientos de miles de años.

Otro contaminante no menos importante y altamente tóxico es el SO₂ o dióxido de azufre, este gas es el causante de la denominada niebla tóxica y en la antigüedad el mayor aporte de dióxidos de azufre al ambiente era el provocado por erupciones volcánicas, en la actualidad lo hace el hombre. Una de las medidas internacionales para lograr mitigar la problemática de calentamiento global es el protocolo de Kioto; un acuerdo entre países para lograr reducir las concentraciones de CO₂ al ambiente. (National Geographic, 1996-2013)

En el Ecuador se está trabajando arduamente a través del Ministerio del Ambiente para lograr contrarrestar esta problemática según un artículo publicado el 27 de

Noviembre del 2015, que menciona que nuestro país elabora el primer sistema de monitoreo reporte y verificación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, en otro artículo del Ministerio del Ambiente recalca que el MAE apoya la reducción de gases de efecto invernadero en el sector energético afirmando además que son 25 los proyectos registrados y vinculados al mecanismo de desarrollo limpio MDL que reducirían la concentración de 1 millón de toneladas de CO₂ en sus actividades. (Ministerio del Ambiente, 2015)

Como antecedente al problema podemos mencionar que los niveles de emisión de gases específicamente el dióxido de azufre y monóxido de carbono en determinados períodos de tiempo del año 2013 en las fuentes fijas de combustión (hornos H2A y H2B) no cumplían con los límites máximos permitidos exigidos por las normas y reglamentos ambientales, en la actualidad los problemas continúan, registrando elevadas concentraciones de emisiones de gases a la atmósfera en los meses de enero y febrero del año 2015. (Rodríguez, 2014)

1.1.2 Objetivos.

1.1.2.1 Objetivos General

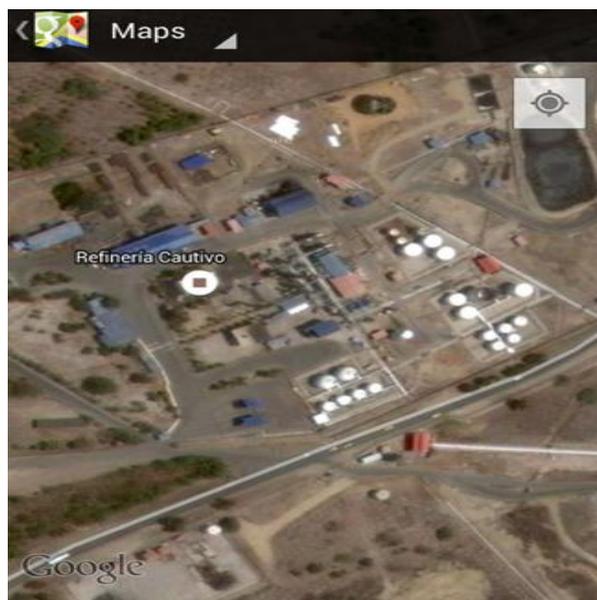
Elaborar un estudio técnico mediante el análisis de todas las variables operativas que inciden en el proceso de combustión, normas y reglamentos ambientales, para optimizar los niveles de emisiones de gases en fuentes fijas de combustión (Hornos H2A Y H2B) de la Refinería Cautivo.

1.1.2.2 Objetivos Específicos

- Análisis de la situación actual de la empresa mediante una investigación descriptiva que nos permita enfocarnos en el problema.
- Diagnóstico o evaluación del problema a partir de las técnicas y métodos empleados en la investigación para determinar causales del problema.
- Elaboración de un estudio técnico para optimizar los niveles de emisiones de gases en fuentes fijas de combustión (Hornos H2A Y H2B) de la Refinería Cautivo.
- Estudio de los aspectos económicos mediante el análisis de los costos y gastos para determinar la viabilidad de la propuesta.

1.1.3 Ubicación geográfica del problema.

Imagen N° 1 Ubicación Geográfica de la Empresa.



Fuente: googlemap.com sitio web
Elaborado por: Jorge perero de la Cruz.

El presente proyecto se lo realizará en la Refinería Cautivo, esta refinería se encuentra ubicada en la Provincia de Santa Elena, Cantón la Libertad específicamente en la Vía Cautivo Ballenita y es una de las tres plantas de refinación con las que cuenta el complejo Refinería La Libertad, está alejada aproximadamente a 1km² de las comunidades adyacentes y además posee un espacio compuesto de árboles de aproximadamente 14 hectáreas los cuales permiten amortiguar de alguna manera los potenciales impactos ambientales que pueda originar este complejo contribuyendo además a preservar la integridad de los habitantes de los sectores aledaños.

Planta cautivo también posee un terminal de carga marítimo, una isla de despacho para auto-tanques, generadores eléctricos, cinco calderos, tanques de almacenamiento de producto y líneas submarinas para el despacho de diésel, fuel oíl N°6.

Sus límites demarcan: Al Norte con la ciudadela Chuyuipe, al Sur con la ciudadela Las Colinas, al Este con la Vía Ballenita Cautivo y al Oeste con el Océano Pacífico.

Para lograr el acceso a esta planta se debe coordinar la respectiva autorización con el área administrativa, el nivel de seguridad para el acceso y permanencia dentro de las instalaciones de Refinería La Libertad es complejo, para el ingreso es indispensable contar con una charla de seguridad impartida previamente y con los implementos de seguridad básicos; estos son: Pantalón y camisa mangas largas, botas punta de acero y casco de seguridad.

La altura de esta planta sobre el nivel del mar bordea los dos metros y esta planta tiene una capacidad de carga o de producción de 10000 barriles/día, dentro del proceso de refinación, en el complejo Refinería La Libertad se destacan las siguientes áreas; el área de proceso, el área de servicio y áreas externas.

Se la denomina área de proceso al área limitada a las unidades que procesan el petróleo en una Refinería y una de las existentes es la Cautivo Topping Plant.

El área de servicio es aquella que se emplea para la operación de las unidades de procesamiento, es decir actúan en el proceso pero como un suministro, podemos citar algunos ejemplos: sistema de aire, sistema de agua, sistema de combustible, generación de vapor y agua de alimentación, generación eléctrica entre los más comunes.

Las áreas externas se las puede considerar al área de almacenamiento de producto, despacho de producto, estaciones de bombeos, muelles entre otros.

La carga que procesa Refinería Cautivo es un crudo de 28° API., esta planta se ubica en la siguiente categoría dada por el Código Industrial Internacional Uniforme "CIU" D-2320.0.00: sección D, división 23, grupo 2, clase 0, subclase 0, actividad individual 00, la misma denominación que le otorga a las empresas dedicadas a la producción de combustibles líquidos y gaseosos, y una serie de productos obtenidos a partir del petróleo crudo. (Rodríguez, 2014)

1.1.4 Justificación.

Es de vital **importancia** aportar en este tipo de iniciativa ya que la misma Constitución de la República declara a las personas según el artículo 14 a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay* y declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el aire limpio es un requerimiento básico de la salud humana y su bienestar; la contaminación del aire continúa representando una significativa amenaza a la salud a nivel mundial.

Contribuye a generar conciencia objetiva ante una problemática global dirigiendo nuestra atención hacia el cambio climático, el presente trabajo nace ante una necesidad de solución a una problemática local que está generando cierta alteración en la composición del aire producto de la emisión de gases, pudiendo mencionar el efecto invernadero o el agotamiento de la capa de ozono.

Los resultados de los monitoreos realizados en los hornos H2A y H2B por el departamento de calidad de la empresa Ep. Petroecuador y las demás empresas participantes vinculadas al tema de control ambiental durante el 2013 – 2015, presentaron valores desfavorables en el monitoreo de gases al ambiente que excedían el rango permitido según la normativa ambiental.

Es irrevocable que dejen de existir empresas o industrias que generen algún tipo de impacto ambiental, pero si es posible **minimizar** aquellos impactos con la utilización de ingeniería.

El trabajo de investigación **proyecta** elaborar un estudio técnico que determine los posibles factores que inciden en la elevada concentración de los contaminantes básicos, evaluarlos y proponer soluciones que permitan mitigar el inconveniente encontrado.

Es un tema de **actualidad**, que involucra a varios actores; gobierno, instituciones, trabajadores y comunidad en general, teniendo como principal ente de preocupación el recurso humano; es por esto razón, que es imperativo desarrollar este tipo estudio para evitar futuras secuelas relacionadas a la actividad laboral.

Es **oportuno** aplicar este tipo de estudio ya que permitirá reducir o mantener las concentraciones de emisiones al ambiente por debajo de un nivel específico y que estos valores se enmarquen a las políticas y estrategias de la calidad ambiental del Ministerio del Medio Ambiente.

Es **beneficioso** ya que al mejorar la incidencia en los niveles de emisiones de gases al ambiente otorgaremos un mayor rendimiento en los equipos ampliando su vida útil, **garantizando** además el porvenir de los trabajadores y de los ecosistemas circundantes en el medio de influencia.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA Y MARCO LEGAL SOBRE AMBIENTE.

2.1 La empresa y sus actividades.

Históricamente en 1972 el Estado creó una empresa petrolera con el nombre de Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (CEPE), que en el año 1989 pasó a llamarse y fundarse como EP Petroecuador, sus actividades comprenden la exploración, explotación y comercialización de los yacimientos hidrocarbúricos del territorio ecuatoriano, este cambio de timonel también absorbe a la empresa Anglo Ecuatorian Oilfields que en esa época operaba una refinería en La Libertad y que explotaba crudo desde la ciudad de Ancón. (EP-Petroecuador, 2011)

La última renovación que tuvo lugar en esta empresa surgió el 6 de abril del 2010 quedando escrito bajo decreto presidencial como Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador EP Petroecuador. Registrando las siguientes actividades; transporte refinación, almacenamiento y comercialización nacional e internacional de hidrocarburos con objetivo de abastecer internamente la demanda de derivados de petróleo, su Gerente actual es el Ing. Pedro Merizalde Pavón.

Planta Cautivo es una de las tres plantas de refinación con las que cuenta el complejo Refinería La Libertad de EP Petroecuador, es una planta versátil y

compacta que cuenta además con su propio sistema de almacenamiento de crudo y productos derivados, en la actualidad procesa 9000 barriles diarios de petróleo. (EP-Petroecuador, 2011)

Desde 1989 Refinería La Libertad entro en un proceso de modernización, el cual perseguía incrementar la producción de combustibles, básicamente el GLP o gas licuado de petróleo, a través de proceso de crudo reducido en unidades de conversión catalítica con el objetivo de recuperar al máximo los productos más livianos, también de ese mismo año busco instalar infraestructura moderna buscando procesos más eficientes y que incurran en la disminución de la contaminación. (EP-Petroecuador, 2011)

El crecimiento de producción a nivel de empresa pasó de 8,5 millones de barriles de productos derivados en el año 1989 a 12 millones de barriles registrados en el año 1990, este crecimiento se debió en gran medida al aporte de Refinería Cautivo. Subsiguientemente su producción aumentó a 15 millones de barriles gracias a la intervención de Petro-industrial que considero aumentar la capacidad de refinación atendiendo con eficiencia la demanda de derivados. (EP-Petroecuador, 2011)

Ep Petroecuador desarrolla sus actividades de acuerdo a la gestión política nacional de respeto al ambiente y con responsabilidad social a sus integrantes y demás comunidades aledañas al área de acción. (EP-Petroecuador, 2011)

2.1.1 Misión

Su misión principal es la de industrializar hidrocarburos, atender la demanda nacional de consumo de derivados del petróleo, trabajando bajo estrictos estándares de calidad competencia y seguridad preservando el medio ambiente y utilizando recursos de manera eficiente y transparente.

2.1.2 Visión

Ser una empresa con un alto nivel de ocupación en la industrialización de hidrocarburos, bajo lineamientos y estándares internacionales de calidad, para lograr satisfacer la demanda en el mercado interno con personal altamente calificado, garantizando además el desarrollo sostenible del Ecuador.

2.1.3 Valores

Trabajo en equipo, excelencia, responsabilidad, respeto, integridad.

2.1.4 Productos procesados

De manera general la Refinería La Libertad procesa un crudo de 28,5° API, del cual se obtienen los siguientes productos: G.L.P, gasolina base, diésel oíl 2, diésel 1, turbo fuel base, rebbert solvent, solvente N°1, mineral turpentine, spray oíl, y fuel oíl N°4.

- **Gas licuado de petróleo**

El gas licuado de petróleo o G.L.P es una mezcla de gases licuados que están presentes en el gas natural o se encuentran contenidos en el petróleo; Al G.L.P comúnmente se lo conoce como la mezcla de propano y butano que a temperatura y presión normales son gases pero son fáciles de licuar si se lo enfría hasta una temperatura de -40 a -44 °F, se lo obtiene además como un subproducto de la destilación fraccionada catalítica o refinado de crudo.

En refinería cautivo el GLP es almacenado y transportado en forma líquida, sus vapores son más pesados que el propio aire, es por esta razón que su almacenamiento se la realiza en las partes más bajas.

- **Nafta**

Es una fracción de petróleo, este derivado se lo obtiene cuando el petróleo alcanza un punto de ebullición entre 28 y 177 °C. En la planta este producto se lo obtiene de la torre de destilación atmosférica T-2, es un tipo de gasolina que se diferencia de la natural debido a que es más pesada, el termino nafta también se lo utiliza para identificar a varios compuestos líquidos volátiles e inflamables que se van obteniendo en el proceso de destilación fraccionada catalítica, estos subproductos son utilizados básicamente para la fabricación de barnices, ceras, limpieza de textiles entre otros.

- **Gasolina**

Este producto se lo obtiene en la torre pre destilación T-1, se la considera como una mezcla de hidrocarburos derivados del petróleo, este producto es utilizado ampliamente en los motores de combustión interna, estufas lámparas, para limpiezas con solventes y muchas otras aplicaciones y como dato adicional en países como Argentina, Paraguay y Uruguay se la conoce con el nombre de Nafta. Al M.O.N se lo conoce por el índice de octano que en ingles se lo denomina motor octane number, R.O.N research octane number número de octano investigado y es el octanaje medido en las estaciones de servicio figurando como un tipo de investigación del octanaje de la gasolina; el promedio entre el MON y el ROM indica la resistencia que tiene la gasolina al detonar.

El octanaje nos indica sino otra cosa que la presión y la temperatura a la que puede ser sometido un combustible carburado, en la actualidad existen varios tipos de gasolinas denominadas gasolinas comerciales clasificadas de acuerdo a su octanaje, la gasolina que tiene más demanda en nuestro país tiene un octanaje mínimo de 80.

- **Rubber Solvent**

Traducido al español se lo conoce como el disolvente de caucho, en la planta se lo obtiene en la torres pre flash T-1, es un líquido inflamable de color claro con un

olor característico al solvente de hidrocarburo, sus líquidos y vapores son extremadamente inflamables, los mismo que pueden recorrer grandes distancias hasta llegar a una fuente de ignición y provocar lo que se conoce como un retroceso de llamas. Los vapores de este subproducto son más pesados que el aire por lo que es recomendable no presurizar, cortar, perforar, soldar o pulverizar, descartando además la exposición a toda fuente de calor, llamas u otras fuentes de ignición ya que al hacerlo originaríamos peligrosos acontecimientos,

El Rubber Solvent se lo utiliza para la fabricación de diluyentes, pinturas, lacas barnices, diferentes tipos de ceras, se lo utiliza además para la fabricación de productos para la limpieza de equipos y maquinarias.

- **Mineral Turpentine**

Se lo obtiene a partir de la destilación atmosférica en la torre T-2, están formados básicamente por hidrocarburos livianos que se destilan entre los 40 a 205°F, este producto tiene una alta presión de vapor derivado de esta consideración también presenta una alta volatilidad, es de color blanco claro.

Sus usos varían desde la fabricación de diluyentes, ceras para pisos, barnices y lacas, en la industria química es empleado como un subproducto para la fabricación de limpiadores de maquinaria.

- **Diésel pesado**

Este tipo de diésel se lo obtiene también por destilación atmosférica comúnmente conocida como diésel N°2, es característica de una buena combustión ya que cuenta con un alto poder calorífico; otra de sus particularidades es que el color de su llama es blanca con un leve tono amarillo.

Este derivado del petróleo se lo utiliza en la industria de la cerámica, es utilizado además en la comercialización de combustibles marinos como un diluyente que permite optimizar la viscosidad de los tipos de fuel oíl empleados, el diésel N°2 es utilizado además en la industria de los automotores.

- **Diésel liviano**

También llamado kerex, este derivado es considerado como una media entre el diésel 2 y el mineral, tiene una apariencia blanca o clara y su nombre es sinónimo de buena combustión, esencialmente es empleado en la preparación de capas de rodadura para carreteras y es un producto que también sirve de mucho en la preparación de los fuel oíl intermedios llamados IFO.

- **Fuel oíl N°4**

Se le da este nombre a los residuos que se originan del proceso de destilación atmosférica, en los procesos de craqueo término y catalítico, entre otros. Está compuesto químicamente por moléculas grandes con ciclos de doble enlace, se oxidan fácilmente y son pobres en hidrogeno, este derivado es conocido también

por su gran cantidad de complejos oxigenados, compuestos de azufre y de nitrógeno, es altamente viscoso y su color característico es el negro.

El fuel oíl N°4 en el mercado lo podemos encontrar con una viscosidad que fluctúa entre los 4000 y los 5000 segundos Redwood, el mayor consumidor de este producto es la industria pesada por citar algunos ejemplos; la industria del hierro, del cemento, la industria del azúcar, empleado además en las turbinas de generación eléctrica.

El consumo nacional de residuo (fuel oíl) es de aproximadamente el 54% del volumen total que producen las plantas.

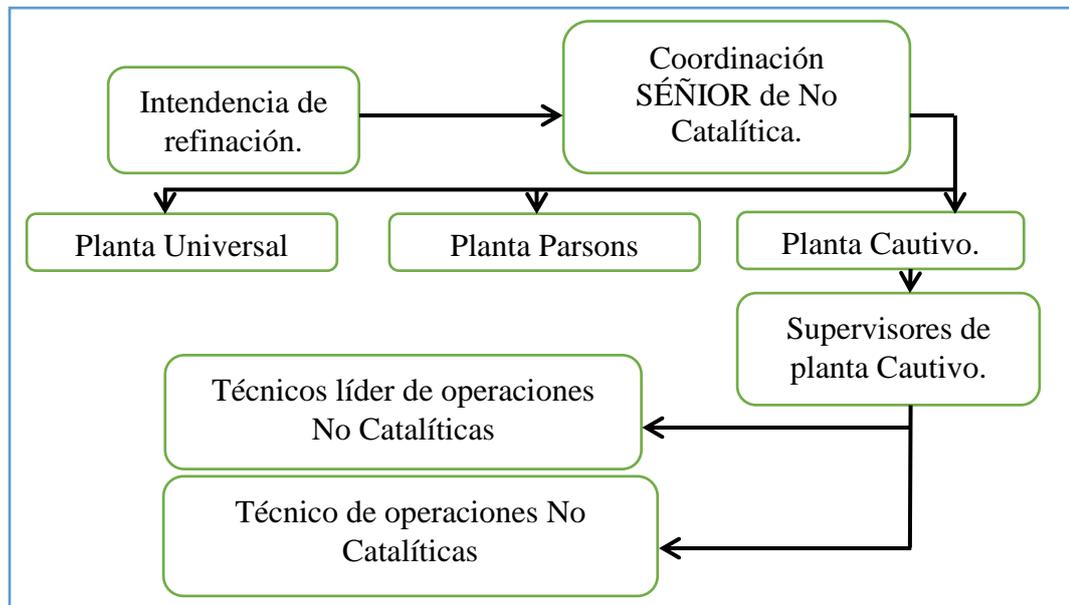
4´700.000 fuel oíl (consumo nacional).

3´100.000 fuel oíl (exportación).

2.1.5 Organigrama del Departamento de No Catalíticas de Refinería La Libertad.

El organigrama que presento a continuación fue tomado del organigrama general de la empresa pública Petroecuador solo desde la intendencia de refinación para términos de interés vinculado a nuestro trabajo.

Gráfico N° 1 Organigrama del departamento de No Catalíticas de Refinería la Libertad.



Fuente: Intendencia de operaciones No Catalítica.

Elaborado: Jorge Perero De La Cruz.

2.2 Descripción de procesos de producción e instalaciones.

El departamento de operaciones es el encargado de la coordinación directa de la operación de las tres plantas refinadoras de crudo que tiene la empresa.

Para refinería cautivo se trabaja diariamente a un ritmo de 24 horas los 365 días del año, en turnos de 9 a 3, es decir; trabajando nueve días seguidos y descansando tres en cuatro turnos de guardia. El trabajo es desempeñado por un supervisor, un tablerista, y un operador de campo en cada turno. (Rodríguez, 2014)

2.2.1 Manual de funciones del área a estudiar.

2.2.1.1 Área de producción

- **Puesto: Intendente de Refinación**

Las funciones que desempeña esta persona es la de programar supervisar y ejecutar actividades en las unidades de operación, además de revisar los programas de trabajo, proponer medicaciones y estudiarlas en pos de mejorar la optimización del proceso. Coordinar con otras áreas los paros programados de mantenimiento.

- **Puesto: Coordinador Señor de No Catalíticas.**

Las funciones que desempeña esta persona son las siguientes: Coordina la ejecución de capacitaciones técnicas, realiza un cronograma de mantenimiento por emergencia o programado para las plantas, hace cumplir con los reglamentos y disposiciones de la institución, elabora requisiciones de materiales de bodega, efectúa el seguimiento sobre las condiciones ambientales de efluentes gaseosos, supervisa el funcionamiento de las plantas en general. (Rodríguez, 2014)

- **Puesto: Supervisores de No Catalíticas**

Las funciones que realiza esta persona son las siguientes: Hacer cumplir con las exigencias del sistema de calidad, realiza recorridos periódicos por las plantas,

controlar con el tableristas las variables del proceso, realiza ajustes para la buena operatividad en el proceso, coordinación con el técnico líder de operaciones y técnico de operaciones las acciones para mantener la planta operativa, supervisar que la toma de datos en el campo sea la correcta.

- **Puesto: Técnico Líder de Operaciones de No Catalíticas.**

Monitorear y controlar variables del proceso productivo y registrarlas, realizar ajustes y analizar tendencias para mejorar el proceso, revisar las novedades del turno anterior, registrar en una bitácora las novedades encontradas en su guardia, reportar a su jefe inmediato particularidades encontradas en el proceso. (Rodríguez, 2014)

- **Puesto: Técnico de Operación de No Catalítica.**

Inspeccionar el funcionamiento correcto de los equipos, controlar los parámetros de operación en bombas, vapor y demás variables, verificar el estado de los tanques de almacenamiento para el funcionamiento de los hornos, verificar la presencia de condensados en la emisión de gases en los hornos o tea, elaborar informes relacionados a su área de trabajo, reemplazo de bombas de presentarse el caso verificar el abastecimiento de materiales y equipos necesarios para el proceso.

2.2.2 Capacidad de Producción.

Planta de refinación “cautivo” procesa crudos de 27 hasta los 28,5 grados API, también procesa crudo local cuyo grado API es de 32, con una capacidad de refinación de crudo de aproximadamente 9800 BPD (barriles por día).

2.2.3 Recursos Productivos.

2.2.3.1 Recurso humano.

El recurso humano que labora en las dependencias de refinería cautivo suma un total de 32 personas distribuidas en los departamentos de operaciones, almacenaje y transferencia, generación eléctrica y vapor, facilidades de refinación industrial. Los turnos del departamento de operaciones son de ocho horas por turno con un sistema de trabajo de nueve días consecutivos y tres días de descanso los trescientos sesenta y cinco días del año.

Cuadro N° 1 Recursos Humanos.

DEPARTAMENTO	N° TRABAJADORES
OPERACIONES	12
ALMACENAJE Y TRANSFERENCIA	8
GENERACIÓN ELÉCTRICA Y VAPOR	4
FACILIDADES DE REFINACIÓN	4
SEGURIDAD	4
TOTAL	32

Fuente: Refinería Cautivo.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

2.2.3.2 Recurso maquinaria y equipo

Planta Cautivo opera básicamente con los siguientes equipos y maquinarias: Torres de fraccionamiento, separadores, intercambiadores de calor, bombas, válvulas, hornos H2A y H2B, calderas, tanques de almacenamiento, generadores eléctricos, torres de enfriamiento y compresores de aire.

2.2.3.3 Recursos materiales o infraestructura

Planta cautivo cuenta con la siguiente infraestructura: Una estación de operación donde se controlan todas la variables operativas del proceso de producción, un edificio de seguridad industrial que es el encargado de firmar los permisos de trabajo inspeccionar las diferentes actividades que se realizan dentro de esta planta, un área destinada a los compresores y a las bombas, una subestación de generación de vapor, una edificación para la generación de energía eléctrica y una isla de carga para despachar los combustibles procesados a los camiones tanqueros.

2.2.4 Proceso de producción.

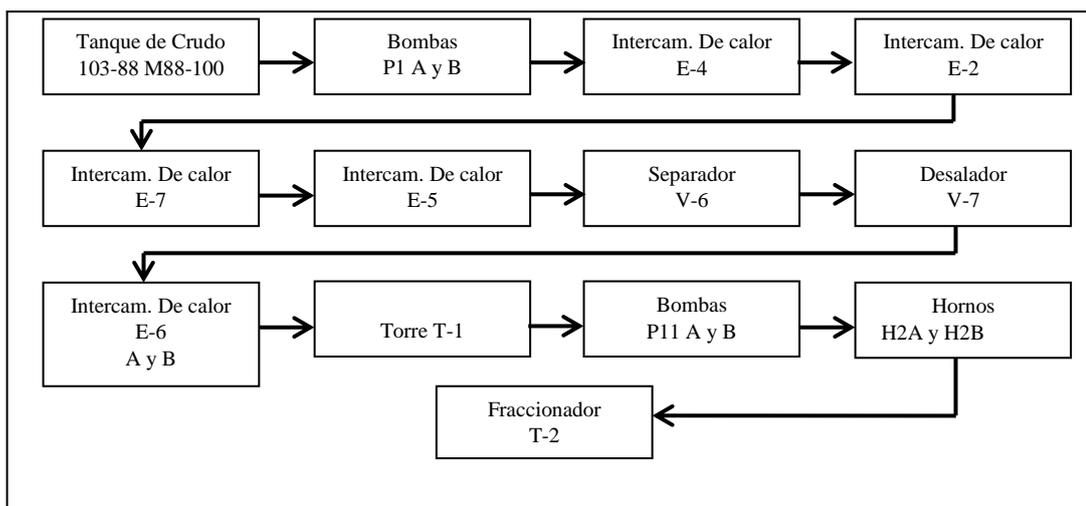
2.2.4.1 Diagrama de recorrido (Tanques de Almacenamiento de

Crudo-Planta de Refinación Cautivo)

El crudo liviano que procesa Refinería Cautivo fluye por medio de gravedad desde los tanques de aprovisionamiento o almacenamiento N° 88, 103, 188 y M-

18 hasta las bombas de carga la ubicación entre ambas es de aproximadamente 900 metros, luego pasa a un intercambio térmico mediante los intercambiadores de diésel liviano E-4 y E-2 a una distancia de 15 metros, luego sigue intercambiando calor con los vapores que se encuentran en la cima denominados intercambiadores E-7 A y B, continua intercambiando calor; esta vez, con el intercambiador E-5 a una distancia de 10 metros, posteriormente se dirige al separador V-6 donde es drenado eliminando agua y lodo del crudo, luego de este proceso se dirige al desalador V-7 para quitarle las sales y minerales para luego enviarle al proceso en la torre T-1 a una distancia de 45 metros. Las bombas P-11 A y B son las encargadas de enviar el crudo hacia los hornos H2A y H2B y como último procedimiento este crudo precalentado es enviado a la torre de fraccionamiento T-2 A, como a continuación se muestra gráficamente. (Rodríguez, 2014)

Gráfico N° 2 Diagrama de recorrido de crudo al proceso



Fuente: Flujos Planta Cautivo.

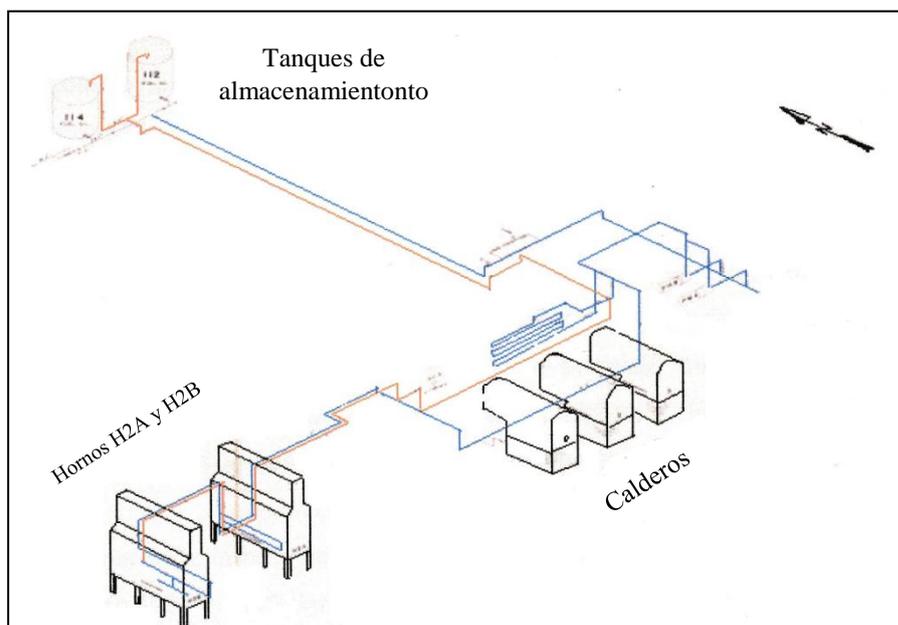
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

2.2.4.2 Abastecimiento de combustible a hornos de planta

Cautivo.

El combustible para los hornos y calderos es abastecido desde los tanques de almacenamiento de combustible N° 112 y N°114 ayudados con las bombas P1-R1 y P1-R2, para ser calentado en un serpentín de vapor a una distancia de 10 metros posterior a este proceso este flujo de combustible es suministrado primero al área de caldería con las numeraciones caldera N°1, caldera N°2 y caldera N°3; luego ese mismo suministro pasa al área donde están ubicados los hornos H2A y H2B, alimentados estos dos sistemas el combustible retorna a los tanques de almacenamiento antes descritos. (Rodríguez, 2014)

Gráfica N° 3 Recorrido de Combustible a Hornos y Calderas.



Fuente: Flujos Planta Cautivo.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

2.3 Marco legal de gestión ambiental actual relacionado al tema.

2.3.1 Constitución Nacional de la República del Ecuador

Según la Constitución de la República del Ecuador en su artículo catorce de los derechos del colectivo reconoce el derecho que debe tener la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado garantizando la sostenibilidad y el buen vivir “sumak kawsay”, además declara de interés público la preservación del ambiente, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios degradados. (Constituyente, 2008)

En su artículo quince menciona que el estado promoverá en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y el uso de energías alternativas de bajo impacto ambiental y que contribuyan a la no contaminación.

Análisis.- Estos dos artículos en mención establecen un profundo compromiso por parte del estado ecuatoriano hacia las personas y toda fuente de vida existente en nuestro territorio además declara la preocupación pública que debe tener cada ciudadano a contribuir desde su condición con un problema de índole ambiental.

2.3.2 Tulas libro VI Anexo 4 de la calidad del aire

2.3.2.1 Norma de concentraciones de emisiones al aire desde

Fuentes Fijas de Combustión

La norma citada a continuación se constituye bajo la tutela de la Ley de Gestión Ambiental, el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para el control y

prevención de la Contaminación en el Ambiente, esta norma rige a nivel nacional y sus criterios de aplicación son obligatorios.

El objetivo plasmado en esta normativa es la protección de la salud pública del territorio ecuatoriano, conservación de la calidad del aire, preservación de los diferentes ecosistemas existentes, y del ambiente en general, estableciendo límites máximos permitidos de concentración de emisiones contaminantes al ambiente provocadas por actividades afines al proceso de combustión, por mencionar algunos ejemplos; calderos, centrales termoeléctricas, turbinas, motores de combustión interna, incineradores de residuos hospitalarios, procesos industriales entre otros.

Esta normativa establece:

- Los límites máximos permisibles, cuando se aplica y cuáles son sus prohibiciones en lo correspondiente a las emisiones de contaminantes a la atmósfera.
- Los límites máximos permisibles de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión para las centrales termoeléctricas que utilizan calderos, generadores de vapor, turbinas a gas y motores de combustión interna.
- Los métodos y el procedimiento para la determinación de las concentraciones de emisiones de contaminantes a la atmósfera producido por fuentes fijas de combustión.
- Disposiciones generales relacionadas a la presente norma.

- De acuerdo a esta normativa existe una clasificación que establece los límites máximos permisibles de contaminantes a la atmósfera de acuerdo a la fuente fija de combustión de la que es procedente, de todas las citadas en la presente norma la que nos atañe vinculándola a nuestra propuesta acuerda lo siguiente:

Esta norma establece los límites máximos permisibles de concentraciones de emisión de contaminantes del aire, desde fuentes fijas de combustión. La norma establece la siguiente clasificación:

1.- Límites permisibles de emisiones contaminantes a la atmósfera producto de la combustión en fuentes fijas, involucrando además a las a las fuentes de combustión abierta como hornos para la fabricación de cerámicas refractarias ladrilleras industriales, hornos de secado de pintura automotriz, hornos de secado para imprentas.

2.- Límites permisibles de emisiones de contaminantes a la atmósfera producidos por motores de combustión interna

Resaltando además los métodos y equipos de medición de emisiones desde fuentes fijas de combustión.

- **Requisitos.**

La presente norma también presenta ciertos requisitos relacionados con los L.M.P. de concentraciones de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión, dentro

de esta consideración se diferencian dos tipos de fuentes fijas; las fuentes fijas significativas y las no significativas.

Las fuentes fijas significativas son las que utilizan como combustibles medios fósiles sólidos, líquidos o gaseosos, cualquiera de sus combinaciones y cuya potencia calorífica sea igual o mayor a diez millones de unidades térmicas británicas por hora ($10 \times 10^6 BTU/h$).

Las fuentes fijas de combustión significativas deberán demostrar el cumplimiento de los L.M.P. y para conseguirlo deberán efectuar a su vez mediciones de la tasa de emisión de los contaminantes. De surgir el caso de incumplimiento en estos valores de permisibilidad se deberán establecer los métodos o instalar los equipos necesarios para mitigar tal situación.

Las fuentes fijas no significativas son las que utilizan medios fósiles sólidos, líquidos o gaseosos y cuya potencia calorífica sea menor a diez millones de unidades térmicas británicas por hora ($10 \times 10^6 BTU/h$).

Las fuentes fijas no significativas deberán contar con la aprobación de la autoridad Ambiental de Control para operar como tal y según esta norma este tipo de fuentes no está obligadas a efectuar mediciones de sus emisiones y serán sujetas a la siguiente clausula:

- 1.- Deberá contar con un registro interno otorgado por la autoridad ambiental de control.

2.- Cumplimiento de las prácticas de mantenimiento de los equipos otorgados por el fabricante de los equipos o por la empresa dueña de los equipos en funcionamiento.

3.- Deberá tener en su poder un documento sobre análisis de las características físicas y químicas del combustible empleado particularmente del contenido de azúfre.

4.- Certificados por parte del fabricante del equipo de combustión, o a su vez un estudio de operatividad del equipo en función del tipo de combustible.

5.- Uso de la altura de la chimenea por prescripción o sujetas a prácticas de ingeniería.

2.3.2.2 Valores máximos permisibles de concentraciones de emisión por combustión.

Los valores máximos de concentraciones de emisión permitidos para las fuentes fijas de combustión, incluidas fuentes de combustión abiertas con la excepción de calderos, turbinas de gas, motores de combustión interna en plantas termoeléctricas, hornos crematorios e incineradores de desechos peligrosos u hospitalarios se establecen en la siguiente tabla. (TULAS., 2003)

Cuadro N° 2 : Límites máximos permisibles de concentración de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión, incluidas fuentes de combustión abierta (mg/Nm³)

Contaminante	Combustible	Fuente fija existente: Con autorización de entrar en funcionamiento hasta Marzo del 2013	Fuente fija nueva: En funcionamiento a partir de Marzo del 2013
Material Particulado	Sólido sin cont. De Azufre	200	70
	Fuel Oíl	200	50
	Diesel	150	50
Óxidos de Nitrógeno	Sólido sin cont. De Azufre	900	600
	Fuel Oíl	700	400
	Diesel	500	400
	Gaseoso	140	140
Dióxidos de Azufre	Fuel Oíl	1650	1650
	Diesel	1650	1650
Monóxido de Carbono	Sólido sin cont. De Azufre	1800	1800
	Fuel Oíl	300	120
	Diesel	250	120
	Gaseoso	100	80

Mg/Nm³: miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, es decir:(mil trece milibares de presión [1013 mbar]) y temperatura de 0 grados centígrados [0 °C] en base seca y corregidos al 7 % de oxígeno excepto para fuentes de combustión abierta, cuyas concentraciones deberán corregirse al 18%. El sólido sin contenido de azufre incluye la biomasa como madera y bagazo.

Fuente: libro VI anexo 4 del tulas referido a la calidad del aire.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Nota: Los límites máximos permisibles para las emisiones a la atmósfera provenientes de una fuente fija dedicada a actividades Hidrocarburíferas se establecen en el acuerdo N°091, publicado en el registro oficial 430 del 2 de enero de 2007.

Análisis.- El texto único de la legislación ambiental secundaria TULAS en su anexo 4 refiriéndose a la calidad del aire y específicamente refiriéndose hacia la

contaminación del aire desde fuentes fijas de combustión establece objetivamente una serie de normativas, requisitos y condiciones que deben ser aplicadas si se está operando con uno de estos equipos industriales de alta capacidad, en el apartado 2.3.2.2 fija los valores máximos permisibles de concentraciones de emisiones de gases producto de la combustión en fuentes fijas considerando valores para fuentes fijas existentes con autorización de entrar en funcionamiento hasta Marzo del 2013 y fuentes fijas nuevas en funcionamiento a partir de Marzo del 2013.

Estos valores lo observamos e interpretamos claramente a través del cuadro N°2 anteriormente presentado.

2.3.3 Acuerdo N° 091. Registro Oficial 430 del 2 de Enero del 2007. Límites Máximos Permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas para actividades hidrocarburíferas.

El presente acuerdo nace a una necesidad imperativa de establecer los Límites Máximos Permitidos de emisiones de gases al ambiente provenientes de fuentes fijas de combustión para actividades hidrocarburíferas en el Ecuador y considera de manera breve a la Constitución Política de la República del Ecuador; la misma que faculta a los ministros de estado, expedir normas, acuerdos y resoluciones que requiera la gestión ministerial.

Considera además que mediante el Decreto Ejecutivo N°1215 publicado en el Registro Oficial N°265 del 13 de Febrero del 2001, se difundió el Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador y que se establecieron valores referenciales para el control y monitoreo de emisiones de gases al ambiente.

Que para efectos de aplicación el Acuerdo ministerial 071 publicado en el Registro Oficial N°153 del 22 de Agosto del 2003, donde el Ministerio de Energía y Minas fijó los Límites Máximos Permisibles para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, monitoreo de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) y Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), se evidenciaron inexactitudes en las definiciones, las mismas que han dado lugar a diversas interpretaciones. (RAOHE, 2007)

Que el Director Nacional de Protección Ambiental, mediante memorándum N° 163 DINAPA-CSA-2006 del 2 de Marzo del 2006, emite informe sobre el estudio técnico de revisión y evaluación de los reportes de monitoreo de emisiones a la atmósfera presentados por las operadores hidrocarburíferas durante el tiempo en el que estuvo vigente el acuerdo 071 y recomienda: Reformar la presente regulación y someter a consulta pública el proyecto de reforma en cumplimiento del Art 4 de la Ley de Gestión Ambiental.

Acuerda:

Art 1.- Límites permisibles.- Se fijan los valores máximos permisibles de emisiones a la atmosfera para los diferentes tipos de fuentes de combustión, en

función del combustible empleado y de la cantidad de oxígeno de referencia referente a condiciones normales de presión y temperatura y en base seca. En casos donde se utilicen mezclas de combustibles los límites aplicables corresponderán al del combustible más pesado.

Cuadro N° 3 : Límites Máximos Permitidos para emisiones de gases en fuentes fijas de combustión (calderos, hornos y calentadores).

CONTAMINANTE	TIPO DE COMBUSTIBLE		
	GLP (GAS)	DIESEL	BUNKER FUEL OÍL
MATERIAL PARTICULADO (MP)	N/A	150	150
ÓXIDOS DE CARBONO (CO)	N/A	50	50
ÓXIDOS DE HIDRÓGENO (NO _x)	400	550, *700	550, *700
ÓXIDOS DE AZÚFRE (SO ₂)	30	1650	1650
HAPs			
COVs	5	10	10

Mg/Nm³: miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, es decir:(mil trece milibares de presión [1013 mbar]) en base seca y corregidos al 7 % de oxígeno.

*Instaladas y operando antes de enero del 2003.

Fuente: Acuerdo Ministerial N°091 L.M.P, para emisiones de gases a la atmosfera.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Análisis.- Otra normativa mostrada como acuerdo ministerial N° 091 fija los límites máximos permisibles para emisiones a la atmosfera provenientes también para fuentes fijas de combustión pero con el agravante de que está dirigida hacia

las actividades hidrocarburíferas, considero este acuerdo como de absoluta importancia para concernir criterios relativos a este tipo de estudio.

Al finalizar el contenido textual de este acuerdo se muestra un recuadro que contiene los LMP. Para emisiones de gases en fuentes fijas de combustión según el combustible utilizado para nuestro caso correspondería el fuel Oil también llamado bunker.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO SOBRE LAS EMISIONES DE GASES AL AMBIENTE.

3.1 Introducción al problema.

Uno de los problemas más comunes en toda industria dedicada a la producción es el tema medio ambiental, la industria hidrocarburíferas no deja de ser la excepción: El problema planteado se sitúa en las instalaciones de Refinería Cautivo, específicamente en los hornos H- 2A y H- 2B (fuentes fijas de combustión), la refinería se encuentra ubicada en el Cantón La Libertad Provincia de Santa Elena.

Toda fuente fija de combustión genera gases tóxicos al ambiente pero el problema surge cuando estos límites exceden el rango máximo permitido según la normativa nacional vigente, y el impacto que puedan generar estos gases en el entorno en el que vivimos. Lo que está sucediendo en los hornos descritos anteriormente, es que el nivel de emisiones de gases particularmente el dióxido de azufre y el monóxido de carbono que estos generan no se encuentran dentro de los límites máximos permitidos, quien regula esta problemática es el estado ecuatoriano a través del Ministerio del Ambiente, y es deber de todas las entidades dedicadas a la producción el cumplimiento de dichas disposiciones; he aquí uno de los aspectos de interés.

El problema no solo se dirige al tema regulador sino a los efectos que traería consigo el mantener niveles de emisiones elevadas. Las emisiones de gases al ambiente por su consideración de gases tóxicos son perjudiciales para todo ecosistema o fuente viva en el mundo; los contaminantes más representativos generados por una industria dedicada a la refinación de crudo son; el dióxido de azufre, seguido de los óxidos de nitrógeno el monóxido de carbono acompañados de los hidrocarburos y las partículas suspendidas totales.

Se estudiarán las principales variables operativas, trabajos de mantenimiento, monitoreo de emisiones de gases al ambiente entre otros factores que influyen en el proceso de combustión de los hornos H2A y H2B, nuestro estudio se limita a determinar el factor principal de incidencia en el elevado nivel de concentración de gases al ambiente.

3.2 Metodología.

Se tomará como referencia los resultados de los monitoreos de emisiones de gases al ambiente realizados por las empresas prestadoras de servicio en Refinería La Libertad vinculadas al Monitoreo Ambiental durante el período 2013-2015. El uso de este método es de absoluta importancia ya que nos permite conocer cronológicamente los inconvenientes que se han venido presentando en esta industria, las causas que lo produjeron y los efectos de esta problemática.

Luego analizaremos las principales consecuencias que se generan si no existiese un adecuado control en el nivel de emisiones de gases al ambiente.

Lograremos precisar además la causa matriz que está generando esta problemática y nos llevaría a sintetizar el diagnóstico del problema.

Además de ello utilizaremos como técnica la observación directa para nuestra propuesta, mediante esta técnica pudimos observar la problemática directamente, sus efectos y evidenciar las principales causas que darían origen al problema.

Se podrá aplicar esta técnica a los operadores de los hornos H2A y H2B, a las condiciones de operación existentes en los hornos directamente, también podemos observar directamente el trabajo realizado por el personal encargado de monitorear las emisiones al ambiente; observaremos la operatividad de todas las variables que inciden en el aumento de las emisiones de gases al ambiente.

3.3 Hornos para refinerías.

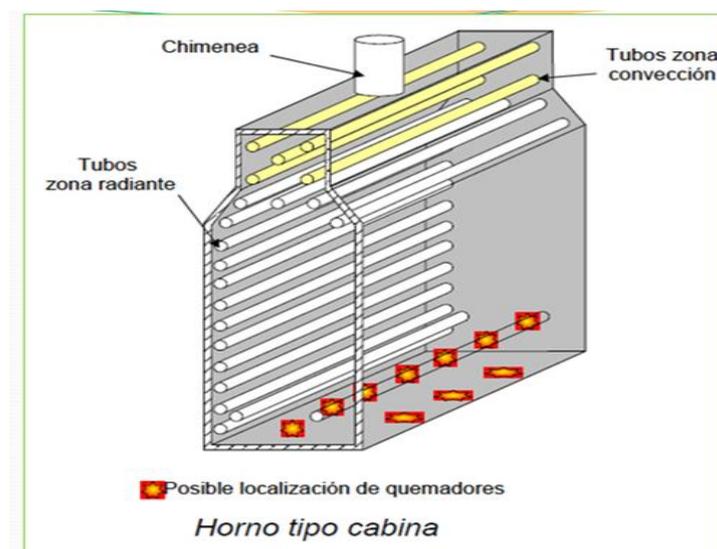
Los hornos independientemente del tipo de industria en el que son empleados, se los conceptualiza como los equipos en los cuales se otorga un calor generado por la quema de combustibles a un fluido en proceso.

El calor que se produce es suministrado por radiación y convección a un sistema de tuberías ubicadas a lo largo de las paredes del horno, estos tubos contienen el fluido que va a ser calentado o precalentado para dirigirse a un proceso subsiguiente, en el caso de las refinerías el fluido a ser precalentado es el crudo. En estos equipos se distinguen dos zonas: La zona de radiación donde el fuego o calor es transmitido directamente a los tubos horizontales o verticales

dependiendo de cómo este diseñado el horno y la zona de convección en donde el calor es aprovechado de los gases de combustión que se producen en la zona de radiación y que suben hacia esta zona como se muestra en la gráfica. N°4.

Los primeros hornos que se utilizaron para estos fines (proceso de refinación) no resultaron eficientes ya que su diseño fue inspirado en la elaboración de calderos horizontales cilíndricos que eran utilizados para la fabricación de alcoholes y licores. El problema con estos dispositivos era que generaban muy mala transmisión de calor dañando la superficie cilíndrica que contenía el crudo a ser calentado. Se producía además la formación de coke producto de la descomposición del crudo. Todos estos inconvenientes conllevaron a que este dispositivo fuera descartado ya que no cumplía con las garantías para el desarrollo del proceso. (Shield, s.f.)

Gráfica N° 4 Horno tipo cabina.



Fuente: Manual de entrenamiento “Train your Refinery Operators”

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

3.3.1 Principales partes y características de los hornos petroquímicos.

Los hornos que son empleados en refinería Cautivo son de tipo “cabina” diseñados con tubos horizontales y con quemadores situados en la parte baja de la estructura del horno, estos quemadores cuentan además con su propio suministro de aire.

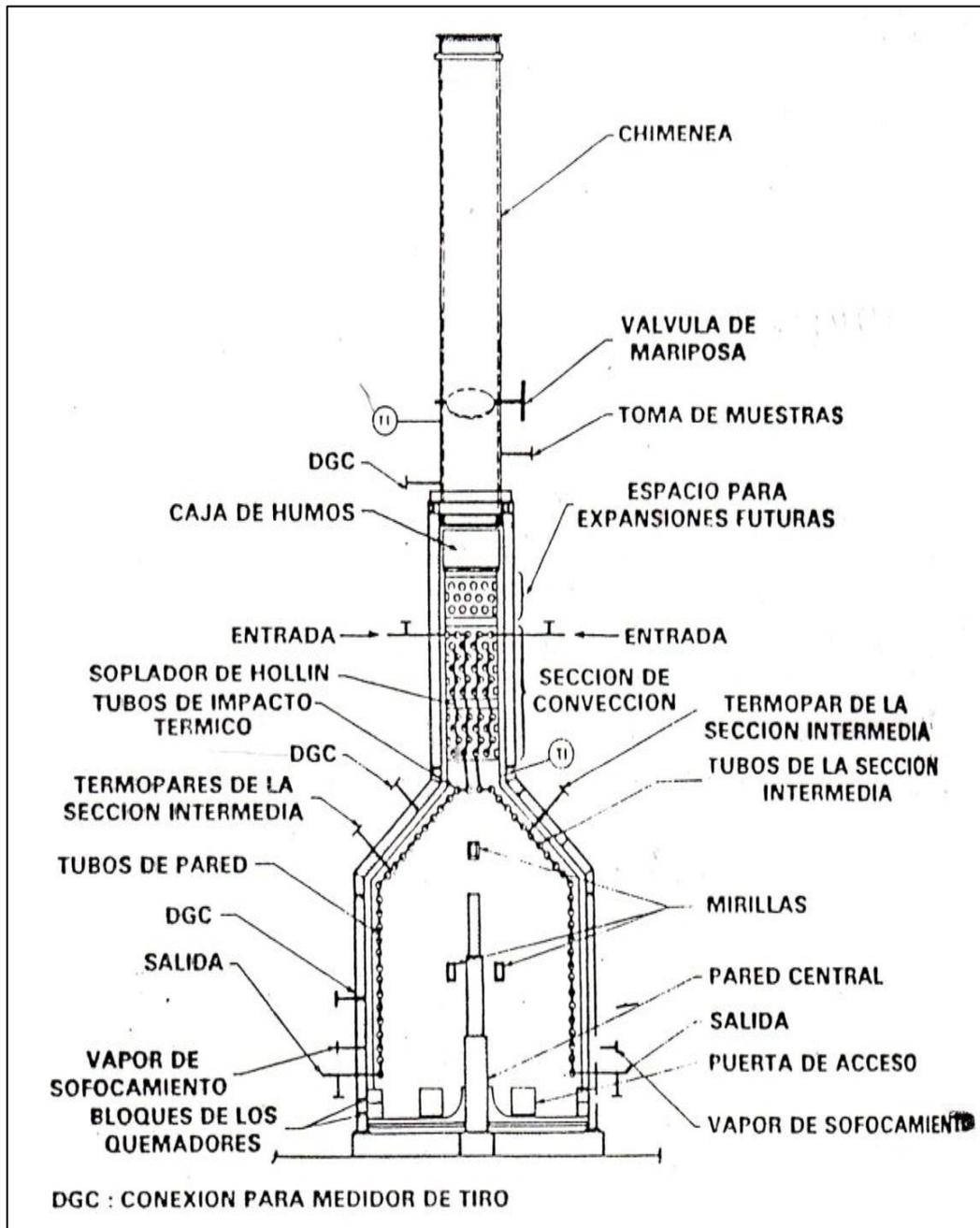
Se distinguen sus principales secciones como son: La sección de radiación, la sección de convección, la sección de transición, los quemadores y la chimenea dentro de estas secciones se encuentran situados sus principales partes. Una de ellas es el dampers o mampara que es un dispositivo parecido a un plato plano de acero que se encuentra justo por encima de la sección de convección y que permite la regulación del tiro del quemador a través del espacio de abertura que se le imprima. (Shield, s.f.)

La chimenea es la parte cilíndrica que permite el transporte de los gases de combustión al ambiente, en ella también se localizan unos orificios que sirven para la toma de muestras de emisiones de gases al ambiente,

Otra de sus partes importantes son las mirillas que como su nombre lo indica sirven para observar el proceso de combustión dentro del horno, hacen posible la verificación de la correcta forma y calidad de la llama, se citan además las paredes del horno, las paredes refractarias, el sistema de tuberías y las puertas de acceso

para disponer de mantenimientos. A continuación se describen gráficamente sus principales partes y accesorios de los que está compuesto este equipo.

Gráfica N° 5 Partes de un horno tipo caja o cabina.



Fuente: Refinación de petróleo –Recipientes y equipos.

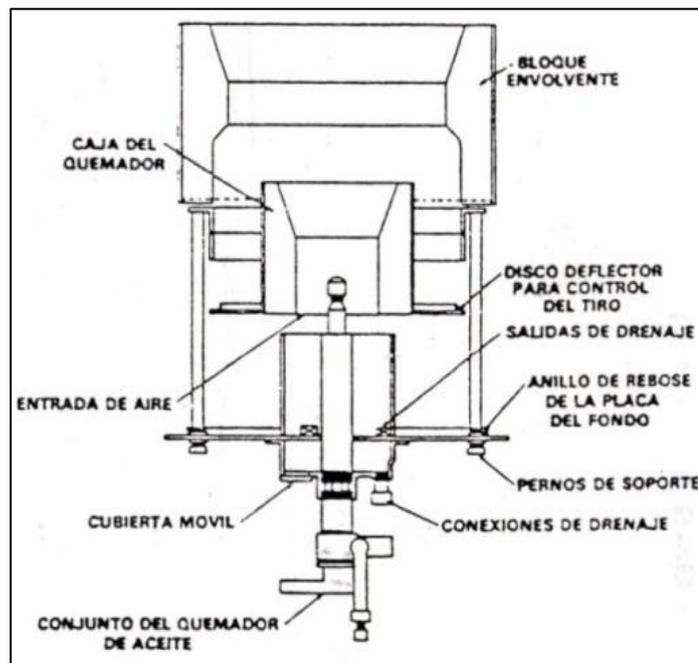
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

3.3.2 Características de los quemadores.

Los quemadores son una de las partes esenciales para el buen funcionamiento de un horno, estos dispositivos se encargan de suministrar el calor necesario dentro del área conocida como el hogar dentro del horno.

Los quemadores más comúnmente conocidos son los quemadores que utilizan el fuel oíl como combustible, estos quemadores atomizan el combustible con el objetivo de otorgarles el mayor contacto posible con el aire de combustión. En la gráfica N°6 podemos observar el diseño de un quemador de tipo peabody empleado en refinería Cautivo, estos dispositivos trabajan atomizando el combustible a partir de vapor, originariamente fueron diseñados por Jhon Zink.

Gráfica N° 6 Partes de un quemador para aceite combustible.

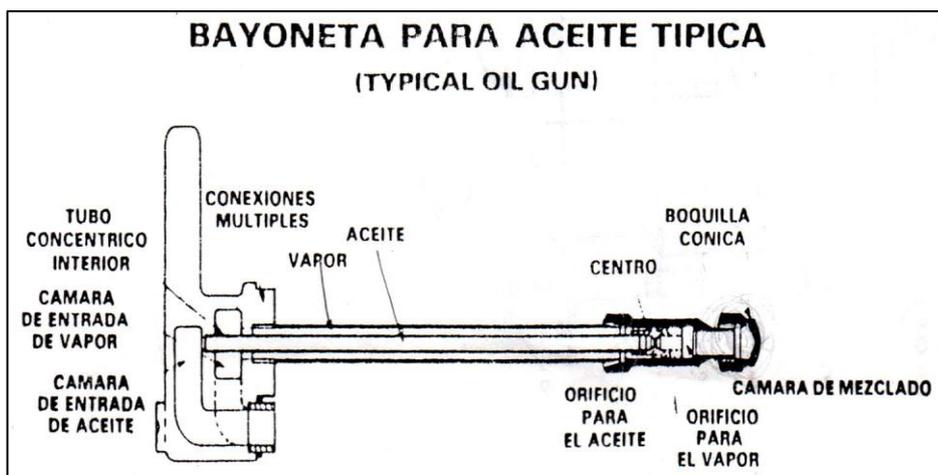


Fuente: Refinación de petróleo –Recipientes y equipos.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Estos dispositivos cuentan además con un sistema de atomización conocido como “Atomización de pulverización con fluido auxiliar” que es un sistema de atomización del combustible que se logra a partir de la inyección de vapor, aire o inclusive gas combustible en el interior de la tobera del atomizador.

Podemos observar en la gráfica N°7 un tipo de atomizador que trabaja con vapor, en la tobera es introducido el aceite o combustible para nuestro caso el fuel Oil el cual pasa por un tubo central hasta llegar al centro de una cámara principal, aquí se da lugar a un cambio de presión originando el primer paso a la atomización, posterior a aquello el fuel que se encuentra parcialmente atomizado llega a la cámara de mezcla donde se encuentra con el vapor que fluye a gran velocidad juntos y por efecto de rozamiento y presión esta mezcla emulsiona a través de orificios provocando la división del fuel en partículas muy finas.

Gráfica N° 7 Bayoneta para aceite típica.

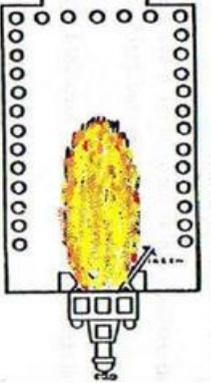
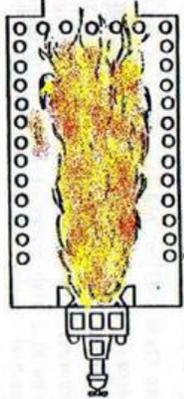
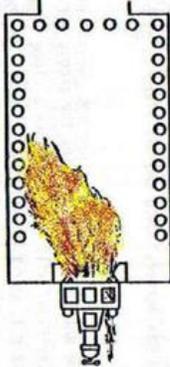


Fuente: Refinación de petróleo –Recipientes y equipos.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

3.3.2.1 Tipos de llamas: problemas y causas.

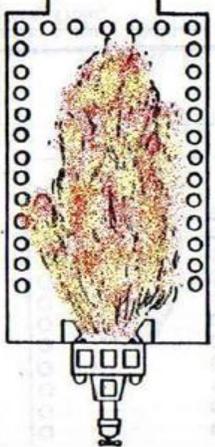
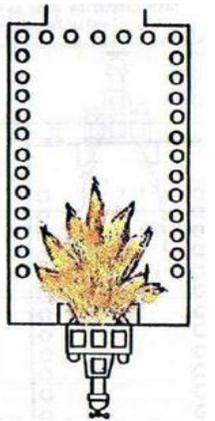
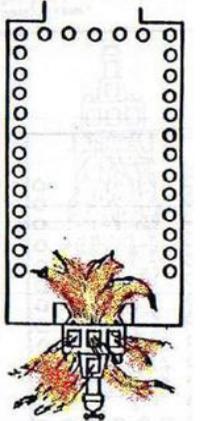
Gráfica N° 8 Tipos de llamas problemas y causas.

1.- Buena llama	2.- Llama mala	3.- Llama mala	4.- Llama mala
<p>a.)</p> 	<p>b.)</p> 	<p>c.)</p> 	<p>d.)</p> 
<p>Se tiene humo claro y fijamos la llama</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Color de la llama: amarillo brillante con anaranjado 	<p>Fuego Intenso</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ La llama llega a los tubos, esto los afecta. ✓ Combustión Incompleta ✓ Demasiado combustible, deficiencia de aire, deficiencia del vapor atomizante, o la cabeza del atomizador esta gastada 	<p>Llama inclinada</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ La llama llega a un sector de los tubos, afectándolos. ✓ La lanza del quemador inclinada o demasiada baja. ✓ Atomizador defectuoso. ✓ Goteo de combustible sucio ✓ Demasiado caliente el combustible ✓ Poca atomización del vapor 	<p>Chispeo</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua en el combustible ✓ Suciedades en el combustible ✓ Combustible frío ✓ Poca atomización por parte de vapor.

Fuente: Manual de entrenamiento “Train your Refinery Operators”.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Gráfica N° 9 Tipos de llamas problemas y causas.

5.- Llama mala	6.- Llama mala	7.- Llama mala	8.- Llama destello por fuera
<p>e.)</p> 	<p>f.)</p> 	<p>g.)</p> 	<p>h.)</p> 
<p>Lama humeante</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Poco aire de combustión. ✓ Combustible frio. ✓ La cabeza del quemador está demasiado larga. 	<p>Llama deslumbrante</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Demasiado aire secundario. ✓ Demasiado vapor atomizante. 	<p>Forma pobre</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Poco aire primario. ✓ Defecto en la parte delantera del tabique del anillo refractario 	<p>Destello por fuera</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Muy poco tiro. ✓ Poco aire primario (combustible) ✓ Escaso vapor presurizado.

Fuente: Manual de entrenamiento “Train your Refinery Operators”.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

En los gráficos N°8 y N°9 muestran los distintos tipos de llamas que se generan en el proceso de combustión dentro del horno, las características de una llama uniforme, completa y con una buena calidad está representada en la figura 1-a, esta llama presenta un color amarillo brillante con anaranjado, muestra uniformidad y los destellos de humos que se generan son claros.

En la figura 2b se representa un tipo de llama con una excesiva longitud que puede llegar a afectar al sistema de tuberías, esto por lo general sucede cuando se está inyectando demasiado combustible, hay deficiencias tanto del suministro de aire como del vapor agonizante.

En la figura 3c se aprecia una llama que golpea la superficie de los tubos, este evento surge cuando existen fallos o taponamientos en el atomizador lo cual impide la correcta atomización del vapor, cuando existe chispeo en la llama como se muestra en la gráfica 4e puede deberse a que el combustible al ingreso se encuentre frío, por suciedades en el quemador o en el combustible, por presencia de agua en combustible o por una pobre atomización de vapor.

Las figura 5e representa una llama humeante esto es debido a un deficiente aire de combustión o que el combustible no está lo suficientemente caliente. Cuando se observa una llama deslumbrante como lo demuestra la figura 6f esto nos indica que se está suministrando un excesivo aire secundario o existe un suministro de vapor en exceso.

La figura 7g muestra un tipo de llama pobre cuando esto ocurre podemos concluir que se está empleando un deficiente aire primario o existen problemas en la parte delantera del tabique del anillo refractario.

Cuando encontramos destellos de llama por debajo de los quemadores o por fuera de ellos como en la fig. 8h existen serios inconvenientes relacionados a un deficiente suministro de aire y a una pobre inyección de vapor presurizado.

Todas estas condiciones hacen que la forma de la llama esté estrechamente vinculada con el factor de presión de la mezcla de combustión y la cantidad de aire suministrada, estas condiciones inciden directamente en la forma y longitud de la misma.

El alto grado de turbulencia y las altas velocidades son sinónimos de buenas mezclas de combustión dando lugar a una llama corta y muy intensa.

Un menor grado de turbulencia y bajas velocidades son sinónimos de llamas con longitudes exageradas y delgadas. Como principio fundamental puedo mencionar que un leve aumento en el exceso de aire garantiza un acortamiento en la longitud de la llama contrario a esto si reducimos el exceso de aire por debajo del rango operacional establecido provocaríamos formar una llama de mayor longitud.

3.4 Análisis del proceso de combustión.

La combustión es un proceso por el cual se desprende una cierta cantidad de energía en forma de calor o luz incandescente que la podemos evidenciar a partir del fuego que se genera. (Elbe, 1987)

En el proceso se diferencian dos elementos muy importantes, el llamado “combustible” que es el elemento que arde y el elemento que produce la combustión “comburente”, que por lo general y en la mayoría de los casos se trata del oxígeno en forma de gas.

Las temperaturas alcanzadas en este proceso superan en gran medida a la temperatura de fusión de los materiales metálicos, materiales con los que están diseñados los hornos; es por esta razón que las llamas no deben tocar ninguna parte de su estructura.

Una combustión es completa cuando todos los elementos contenidos en el combustible se oxidan en su totalidad, esta condición no se cumple si los productos que se queman no reaccionan con el mayor grado de oxidación, a esto se lo conoce como combustión incompleta. (F.A. Willian, 1985)

De lo anterior concluimos que el proceso de combustión es una reacción química exotérmica (liberación de energía) que nace de dos elementos fundamentalmente importantes; el medio combustible (combustible líquido, sólido o gas) y el medio comburente que por lo general se trata del oxígeno en forma de gas, a este proceso se le adiciona una fuente de ignición proporcionada por una chispa o llama piloto. Todo esto con la finalidad de adquirir una fuente de calor para ser aprovechado con fines industriales o según las necesidades imperantes.

3.4.1 Reacciones químicas básicas que se producen en el proceso de combustión.

El proceso de combustión es un proceso químico en el que tiene lugar la oxidación de los elementos del combustible que generalmente son el carbono (C) y el hidrogeno (H) estos componentes se combinan con el oxígeno del aire (O₂). Si el combustible contiene azufre, su combustión formará óxidos de azufre.

El nitrógeno y los componentes no combustibles del fuel Oíl pasan desapercibidos a no ser que una mínima proporción de nitrógeno se combine con el oxígeno y forme los óxidos de nitrógeno (NO_x).

Cuadro N° 4 : Reacciones químicas que se producen en el proceso de combustión

Combustible	Reacción
Carbón a CO	$2C + O_2 \rightarrow 2CO$
Carbón a CO ₂	$C + O_2 \rightarrow CO_2$
Monóxido de carbono	$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$
Hidrógeno	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$
Azufre a SO ₂	$S + O_2 \rightarrow SO_2$

Fuente: Enciclopedia virtual Wikipedia.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

3.4.2 Variables que inciden en el proceso de combustión y la generación de gases.

Para que se lleve a cabo el proceso de combustión se deben considerar variables o requisitos operativos que determinen el grado adecuado de combustión, como primera variable se menciona el aire de combustión que deberá ser el apropiado pero no excesivo, esto con el propósito de que se produzca una buena mezcla con el combustible dentro del rango de inflamabilidad para el fuel-oíl.

Otra de las variables que influyen en el proceso de combustión es la temperatura del combustible, la misma que debe ser superior a su punto de ignición: Básicamente el fuel-oíl debe tener una temperatura aproximada de 407°C para un fuel Oíl pesado.

Existen además los indicadores conocidos como las tres T de la combustión que son: Tiempo, La temperatura y la Turbulencia, cuando estos tres indicadores funcionan de una forma adecuada se dice que existe una combustión rápida o dicho de otra manera, la combustión se produce con un límite de tiempo corto, con una temperatura adecuada y la llama con una adecuada turbulencia. (TESTO, 2010)

3.5 Análisis e identificación de problemas.

Analizar el principal problema que origino la salida de las emisiones de gases al ambiente en los hornos de Refinería Cautivo y que estos excedieran los límites

establecidos ha sido una tarea muy sistemática vinculada a varios factores directos, entre los cuales menciono los siguientes:

Un causante de una mala combustión sería la condición en el que se encuentran los quemadores y demás accesorios que lo integran; en alguno de los casos se pudo observar la formación de coke, el desgaste de las boquillas de atomización, derramamiento de combustible, turbulencia en la calidad de la llama. Cuando existen estos inconvenientes la persona encargada conocida como fogonero notifica a su superior de los problemas encontrados y se procede a realizar la corrección del desperfecto que en la mayoría de los casos suele ser el reemplazo del dispositivo. Para cumplir con este proceso de mantenimiento ellos cuentan con quemadores ya restaurados.

Si no existe un correcto funcionamiento de estos dispositivos el efecto obtenido originaría una mala combustión y por consiguiente una mala calidad en la llama, sinónimo de emisiones de gases al ambiente.

Otra de las razones por las cuales se estaría generando esta problemática sería por el mal funcionamiento de los aparatos destinados al monitoreo de emisiones de gases al ambiente. El nombre de estos aparatos se los conoce como analizadores de gases “testo 3XL” a los que se le debe efectuar un mantenimiento periódico cada 2 meses para que puedan cumplir su cometido correctamente.

El combustible empleado para el proceso de combustión en los hornos H2A y H2B de Refinería Cautivo es el Fuel Oil N° 4 con un consumo aproximado de

2465 barriles/mes para los dos hornos. El análisis de las características de sus principales componentes es fundamental para determinar el grado de emisiones que pudieran coexistir en las concentraciones de SO₂.

El enfoque principal de este estudio, es la optimización de los niveles de emisiones de gases al ambiente, específicamente la reducción de los niveles de SO₂ en las fuentes fijas de combustión de Refinería Cautivo. La formación del dióxido de azufre se sintetiza principalmente en la composición que tenga el combustible, en este caso el fuel oíl N°4 aunque se trata de un fuel oíl liviano, si posee un alto contenido de Azufre y de Nitrógeno.

Es posible determinar hipotéticamente las concentraciones de SO₂ a partir del grado porcentual de azufre que contenga el combustible; a continuación se muestra la siguiente tabla que relaciona el porcentaje de azufre contenido en el combustible y los niveles estimados de emisión que se obtendrían de acuerdo a lo establecido.

Cuadro N° 5 : Variabilidad de los gases de combustión

Azufre en el combustible	Max SO₂
%	Mg SO₂/m³ gs
1,4	1883
1,6	2150
1,8	2417
2,0	2684

Fuente: Fuente directa de investigación.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

A más de los inconvenientes anteriormente descritos, otro factor que predomina en el buen desempeño operacional de los hornos son los procedimientos de trabajo que se ejecuten:

La parte operativa llevada a cabo por el personal técnico, operadores y supervisores de Refinería Cautivo en lo relativo a los hornos es fundamental para nuestro estudio, estas personas están extremadamente ligadas al proceso y son de gran ayuda para corregir los inconvenientes encontrados. Se debe mencionar que existe cierto desconocimiento por parte de los operadores y personal involucrado en lo correspondiente a la parte medio ambiental, lo cual genera una oportunidad de mejora en este aspecto, es quizás una razón por el cual se esté generando esta problemática.

El personal encargado de operar los hornos trabaja con turnos rotativos pero afortunadamente no existe descoordinación alguna en los parámetros de operación en los hornos. Las eventualidades que se presenten son monitoreadas en una bitácora lo cual genera un correcto flujo de información.

Existe también un trabajo correspondiente a la limpieza de los hornos a través de aire a presión, este trabajo es desarrollado por una empresa contratista, pero de no coordinarse esta actividad con el trabajo de monitoreo de gases, provocaría un efecto negativo en los resultados que se tomen como muestra ya que este trabajo de alguna forma altera las partículas que se encuentren localizadas en los tubos o en las paredes refractarias.

3.5.1 Monitoreo de emisiones de gases al ambiente.

El control de las emisiones gaseosas al Ambiente está regulado bajo las normas establecidas por el respaldo de la Ley de Gestión Ambiental, el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y lo contempla además el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (Raohe) donde se determina los límites permisibles y provee métodos y procedimientos que son propuestos para determinar las cantidades de emisiones hacia la atmósfera desde fuentes fijas de combustión.

Según las definiciones que considera esta norma, el monitoreo es un proceso que recolecta muestras donde se efectúan mediciones y se realiza un registro a menudo con el fin de evaluar los valores de la calidad del aire.

Según el Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador en su artículo 12 sobre el monitoreo Ambiental interno establece que las entidades dedicadas a la refinación e industrialización de hidrocarburos deberán realizar monitoreo de sus emisiones a la atmósfera, los mismos que deberán ser reportados a la Subsecretaría de Protección Ambiental del Ministerio de Energías y Minas, en el caso de las refinerías en base a los análisis diarios de descargas y semanales de emisiones.

En la siguiente imagen se evidencia el trabajo de los técnicos encargados del monitoreo de emisiones de gases al ambiente.

Imagen N° 2 Monitoreo de emisiones de gases al ambiente



Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

3.5.1.1 Cambio a Normativa Ambiental de los gases monitoreados.

Los valores máximos permisibles en las emisiones de gases a la atmósfera desde fuentes fijas de combustión son regulados mediante el acuerdo N° 091. Del Registro Oficial 430 del 2 de Enero del 2007, las unidades de medida presentada en esta tabla registran estos valores en Mg/Nm³ GS para cada gas. Ahora bien, los resultados registrados por los equipos analizadores de gases mediante el trabajo de monitoreo proyecta valores en partes por millón, estos valores en ppm son corregidos o cambiados a unidades según la normativa ambiental antes mencionada.

Para poder corregir o cambiar este su valor de ppm a mg/Nm³, nos valemos en utilizar la siguiente fórmula.

$$\frac{mg}{Nm^3} = ppm (gas\ medido) \times K \times \left(\frac{\%O_2[Cn] - \%O_2[ref.]}{\%O_2[Cn] - \%O_2[med.]} \right)$$

Siendo:

Ppm = Medida en partes por millón del gas.
K = Constante de corrección para gases
 $\%O_2[Cn]$ = Porcentaje de oxígeno a condiciones normales. (21%)
 $\%O_2[ref]$ = Porcentaje de oxígeno referencial. (7%)
 $\%O_2[med]$ = Porcentaje de oxígeno medido.

K (constante de corrección de acuerdo al gas)

	<i>K</i>
<i>CO</i>	1,25
<i>SO₂</i>	2,86
<i>NO_x</i>	2,05

3.5.1.2 Estudio del comportamiento de las emisiones de gases al ambiente (SO₂, NO_x, CO) durante el periodo (2013-2015).

Para describir analíticamente la problemática encontrada se pone a consideración los monitoreos de la calidad del aire, tomados aleatoriamente durante el período 2013 -2015, se detallan los parámetros a ser analizados de los muestreos de campo tomados por las empresas dedicadas a este fin y su posterior correlación con las unidades en Mg /Nm³ a que deben ser corregidos los gases producidos según lo establece el marco legal. Cabe recalcar que el análisis corresponde a las emisiones producidas por los hornos H2A y H2B con su respectivo año y mes hasta Marzo del 2015 como se muestra a continuación, luego de cada recuadro encontraremos un breve análisis de esta investigación.

Cuadro N° 6: Monitoreo de emisiones de gases ambiente.

MONITOREO DE EMISIONES DE GASES EN HORNO H2A							
AÑO 2013							
FECHA:		20. de AGO.	13. de SETP.	31. de OCT.	15 de NOV.	12. de DIC.	
	%	CO2	12,39	11,73	12,06	11,8	11,95
PARÁMETROS	%	O2	6,4	6,23	8,84	8,76	7,54
	ppm	CO	3,33	72	100,5	2	59
	ppm	SO2	374	324	460	381,5	486
	ppm	NO	203,6	237,3	206,5	187,5	248
	ppm	NO2	0	0	0	0	0
	°C	T gases	435	374,9	405,65	440,75	419,2
	°C	T ambiente	22,06	21,4	25,5	26,8	32
	%	Exc. de aire	41,22	39,66	68,36	67,30	52,68

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Cuadro N° 7 : Correlación de los resultados monitoreados de ppm a unidades normadas Mg/Nm3

CAMBIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A UNIDADES SEGÚN NORMATIVA AMBIENTAL						
GASES	L.M.P	mg /Nm3 GS				
CO	50	4,00	85,39	144,78	2,86	76,79
SO2	1650	1026,34	878,89	1515,64	1248,77	1446,65
Nox	700	401,18	462,20	488,54	440,69	530,05

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Lo anterior mostrado se resume de la siguiente manera: en el cuadro N°6 se detallan los resultados de los monitoreos ambientales en el horno H2A tomados en las fechas indicadas y en el año 2013.

En el cuadro N°7 se muestran estos resultados corregidos o cambiados a unidades según lo establece la norma; de color rojo están los valores máximos permisibles y de color amarillo observamos los parámetros cuyo valor excede al valor máximo establecido, para el monóxido de carbono encontramos algunas particularidades en los meses Septiembre, Octubre y Diciembre con valores de 85,39-144,78 y 76,79 Mg/Nm³ respectivamente, estos valores exceden el margen permitido.

Los valores para el dióxido de azufre, si bien están enmarcados dentro de lo permisible existen valores relativamente preocupantes para los meses de Octubre con 1515,64 Mg/Nm³ y Diciembre de ese año con una concentración 1446,65 Mg/m³; valores cercanos a los límites máximos permisibles.

Por otro lado los óxidos de nitrógeno se encuentran estables muy por debajo de los límites máximos permisibles

Cuadro N° 8: Monitoreo de emisiones de gases ambiente.

MONITOREO DE EMISIONES DE GASES EN HORNO H2B							
AÑO 2013							
FECHA:			20. de AGO.	13. de SETP.	31. de OCT.	15 de NOV.	12. de DIC.
PARÁMETROS	%	CO2	12,60	12,17	12,38	12,5	12,6
	%	O2	5,13	5,67	7,15	6,98	6,12
	ppm	CO	27,66	31,61	2,5	2	60,5
	ppm	SO2	476,33	327,66	506,5	425,5	516
	ppm	NO	250,66	237,66	214	188,5	270,5
	ppm	NO2	0	0	0	0	0
	°C	T gases	457,06	429,5	409	410,45	431,5
	°C	T ambiente	22,3	24,63	26,4	25,1	36,1
	%	Exc. de aire	30,40	34,78	48,54	46,82	38,68

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Cuadro N° 9 : Correlación de los resultados monitoreados a unidades normadas.

CAMBIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A UNIDADES SEGÚN NORMATIVA AMBIENTAL						
GASES	L.M.P	mg /Nm3 GS				
CO	50	30,53	36,12	3,16	2,50	71,23
SO2	1650	1202,55	856,35	1465,21	1215,97	1389,37
Nox	700	454,38	445,99	444,50	386,79	522,97

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Durante ese mismo año y con las muestras tomadas en los mismos meses en el horno H2B sucedía lo siguiente; el monóxido de carbono se encontraba estable a excepción del último mes en el que se registró un valor de 71,23 mg/Nm³ un valor por encima del margen permisible.

El dióxido de azufre aunque los valores se encontraron dentro de los márgenes permisibles se muestra una concentración relativamente alta para el mes de Octubre con un valor de 1465,21 Mg/Nm³.

Los óxidos de nitrógeno se encontraron estables en ese año; su valor no supero los límites máximos establecidos.

Cuadro N° 10 : Monitoreo de emisiones de gases ambiente.

MONITOREO DE EMISIONES DE GASES EN HORNO H2A								
AÑO 2014								
FECHA:		31. de JUL.	14. de AGO.	5. de SETP.	23. de OCT.	14 de NOV.	12. de DIC.	
PARAMETROS	%	CO2	11,26	11,57	11,44	11,7	11,55	11,34
	%	O2	6,92	5,48	4,09	5,77	10,78	6,37
	Ppm	CO	63	64,1	0	24,5	6,5	30
	Ppm	SO2	566,5	474,5	640	408	299,5	396
	Ppm	NO	265	231	339	257	174,5	214,5
	Ppm	NO2	0	0	0	0	0	0
	°C	T gases	449,3	440,85	436,5	447,05	457,8	457,05
	°C	T amb.	26,9	27,8	25	25,2	26,5	28,3
	%	Exc. aire	46,22	33,20	22,74	35,63	99,19	40,94

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Cuadro N° 11 : Correlación de los resultados monitoreados a unidades normadas.

CAMBIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A UNIDADES SEGÚN NORMATIVA AMBIENTAL							
GASES	L.M.P	mg /Nm3 GS					
CO	50	78,38	72,35	0,00	28,18	11,14	35,92
SO2	1650	1612,01	1224,94	1516,38	1073,33	1174,13	1084,48
Nox	700	541,44	428,18	576,72	485,45	491,19	421,79

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Durante el año 2014 y en los meses indicados en los cuadros 10 y 11 podemos observar claramente que los problemas para el monóxido de carbono continúan presentando ciertos inconvenientes en los meses de Julio con una concentración de 78,38 Mg/Nm3 y Agosto con una concentración de 72,35 Mg/Nm3 valores por encima del límite permitido, estos valores mejoraron en los meses posteriores.

Por otro lado, los valores en lo concerniente al dióxido de azufre se encontraron dentro de lo permisible aunque nuevamente hubo valores preocupantes para los meses de Julio con una concentración de 1612,01 Mg/Nm3 y Septiembre con una concentración de 1516,38Mg/Nm3 valores inquietantes que se aproximan al margen no permitido.

Los valores del óxido de nitrógeno no supusieron preocupación alguna para este año.

Cuadro N° 12 : Monitoreo de emisiones de gases ambiente.

MONITOREO DE EMISIONES DE GASES EN HORNO H2B								
AÑO 2014								
FECHA:			31. de JUL.	14. de AGO.	5. de SETP.	23. de OCT.	14 de NOV.	12. de DIC.
PARAMETROS	%	CO2	11,55	12,05	11,48	11,70	12,01	11,59
	%	O2	5,06	4,98	5,14	5,21	11,53	4,96
	Ppm	CO	0	0	2	2	24,3	11,5
	Ppm	SO2	675,5	464,9	652,5	470,5	279,5	446,5
	Ppm	NO	297	277	305	259	117	223,5
	Ppm	NO2	0	0	0	0	0	0
	°C	T gases	450,8	464,9	473,25	453,45	450	459,15
	°C	T ambiente	25,1	28	25	27,4	28,4	31,8
%	Exc. de aire	29,85	29,23	30,47	31,03	114,49	29,08	

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Cuadro N° 13 : Correlación de los resultados monitoreados a unidades normadas.

CAMBIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A UNIDADES SEGÚN NORMATIVA AMBIENTAL							
GASES	L.M.P	mg /Nm3 GS					
CO	50	0,00	0,00	2,21	2,22	44,95	12,56
SO2	1650	1697,88	1162,70	1648,35	1193,85	1182,50	1115,29
Nox	700	536,02	497,42	553,23	471,88	355,42	400,85

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Continuando con el análisis se presenta los resultados de los monitoreos de emisiones de gases al ambiente en el horno H2B para los meses detallados en el cuadro N°12 y su posterior corrección a unidades norma en el cuadro N°13

Observamos que existen valores considerablemente altos para el dióxido de azufre en el mes de Julio con una concentración de 1697,88 Mg/Nm³ superior a los límites máximos exigidos, por otro lado también existe un valor relativamente alto para el mes de Septiembre con una concentración de 1648,35 Mg/Nm³ que si bien se encuentra normado sugiere preocupación ya que se encuentra en un punto crítico.

La incidencia de las elevadas concentraciones de emisiones de dióxido de azufre en los meses Julio y Septiembre para este horno coincide con los resultados de las concentraciones de dióxido de azufre para el horno H2A.

Las concentraciones de NO_x se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles para el horno H2B.

Cuadro N° 14 : Monitoreo de emisiones de gases ambiente.

MONITOREO DE EMISIONES DE GASES EN HORNO H2A					
AÑO 2015					
FECHA:			22. de ENE.	26. de FEB.	26. de MARZO.
PARAMETROS	%	CO₂	12,71	11,03	11,55
	%	O₂	10,58	9,4	10,12
	ppm	CO	10,5	431,5	4,5
	ppm	SO₂	308,5	562	493,5
	ppm	NO	150	239,5	164
	ppm	NO₂	0	0	0
	°C	T gases	441,5	461,2	446,9
	°C	T ambiente	30,8	31,5	32,4
	%	Exceso de aire	95,48	76,20	87,46

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Cuadro N° 15 : Correlación de los resultados monitoreados a unidades normadas.

CAMBIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A UNIDADES SEGÚN NORMATIVA AMBIENTAL				
GASES	L.M.P	mg /Nm3 GS		
CO	50	17,65	65,69	7,25
SO2	1650	1186,20	1941,11	1817,31
Nox	700	414,13	593,96	433,63

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Como podemos observar en el cuadro N°15 existen inconvenientes en el horno H2A para el monóxido de carbono con una concentración de 65,69 Mg/Nm3 en el mes de Febrero; valor superior al límite máximo permitido.

Existe un aumento en las concentraciones de emisiones de dióxido de azufre para el mes de Febrero con un valor de 1941,11Mg/Nm3 superior al valor de referencia y en Marzo con una concentración de 1817,31, los óxidos de nitrógeno se siguen manteniendo estables con valores por debajo de lo permitido.

Cuadro N° 16 : Monitoreo de emisiones de gases ambiente.

MONITOREO DE EMISIONES DE GASES EN HORNO H2B					
AÑO 2015					
FECHA:		22. de ENE.	26. de FEB.	26. de MARZO.	
PARAMETROS	%	CO2	12,01	11,59	11,58
	%	O2	9,97	10,43	9,05
	ppm	CO	0	0	0
	ppm	SO2	346	688,5	556,5
	ppm	NO	171.5	255	154
	ppm	NO2	0	0	0
	°C	T gases	446,75	456,7	421,3
	°C	T ambiente	30,8	31,5	31,9
	%	Exceso de aire	35,6	99,2	40,9

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Cuadro N° 17 : Correlación de los resultados monitoreados a unidades normadas.

CAMBIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A UNIDADES SEGÚN NORMATIVA AMBIENTAL				
GASES	L.M.P	mg /Nm3 GS		
CO	50	0	0	0
SO2	1650	1256,01	2608,09	1864,62
Nox	700	446,24	692,38	369,85

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Según los resultados de emisiones de gases al ambiente para el horno H2B mostrado en el cuadro N°17 existen concentraciones de emisiones por encima del límite permitido para el dióxidos de azufre en el mes de Febrero con un valor de 2608,09 Mg/Nm³ y en el mes de Marzo con un valor de 1864,62 Mg/Nm³.

Los demás parámetros (CO y NO_x) se encuentran normados según lo establecido en el marco legal, aunque existe un valor relativamente alto en el mes de Febrero para los óxidos de nitrógeno con una concentración de 692,38 Mg/Nm³.

3.5.2 Consumo de combustible en los hornos H2A y H2B.

El consumo de combustible para los hornos H2A y H2B bordea aproximadamente los 2465 barriles por mes, el tipo de combustible que se utiliza es un fuel Oil N°4. A continuación presento el consumo de combustible durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre del año 2015.

Cuadro N° 18 : Consumo de combustible en hornos H2A y H2B.

Meses	Horno H2A	Horno H2B
Julio	1058 bls/mes	1058 bls/mes
Agosto	1232,5 bls/mes	1232,5 bls/mes
Septiembre	1155 bls/mes	1155 bls/mes

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

El consumo de combustible nos podría generar un punto partida para determinar cuan eficaz podría resultar nuestra propuesta si lográramos reducir el consumo de combustible actual en los hornos, el proponer mejoras al proceso de combustión a partir de mantenimientos eficaces, mejoras en la parte operativa, o con la introducción de tecnologías que contribuyan a mejorar el proceso generaríamos una combustión más completa reduciendo así la proporción de componentes inquemados y por consiguiente reduciríamos el consumo de combustible.

3.5.2.1 Diagnóstico de la relación aire combustible en los hornos.

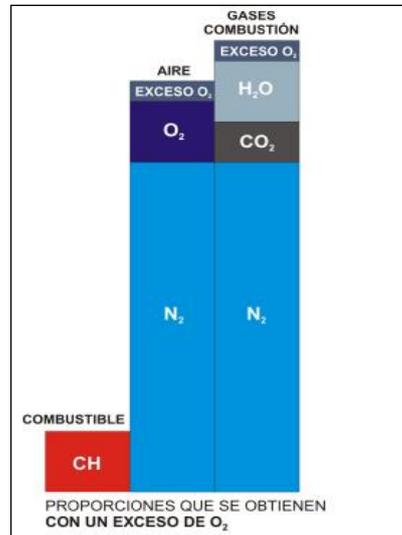
- 1.) Con un aire en exceso en la mezcla se produce un aumento en los gases de combustión principalmente los de nitrógeno y oxígeno, consecuentemente disminuye la temperatura de salida de los gases y el rendimiento en el horno también disminuye como se muestra en la gráfica. (TESTO, 2010)

El gráfico N°10 es una representación clara de las proporciones que reaccionarían o los productos que obtendríamos si trabajáramos con un excesivo aire en la mezcla aire-combustible.

El combustible empleado únicamente reacciona con el oxígeno del aire, es por esta razón que la proporción de nitrógeno contenido en aire reaccionará completamente y formará parte de los productos de combustión como lo podemos observar en el gráfico.

Si se utiliza un excesivo aire en el proceso de combustión notaremos la presencia de CO₂, H₂O, O₂ como reacciones en las siguientes proporciones.

Gráfica N° 10 Proporciones de gases obtenidos con exceso de aire.



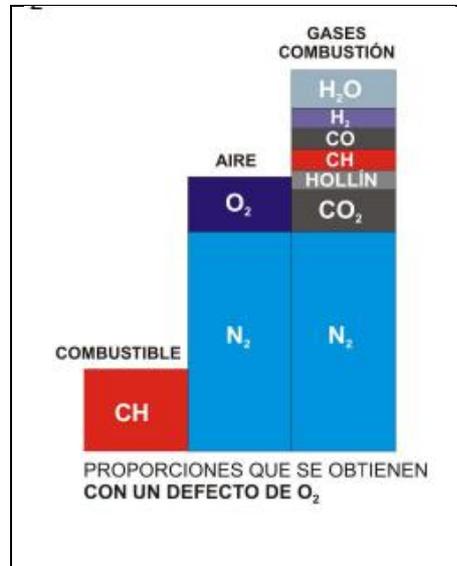
Fuente: Optimización de la combustión. Formación en control de procesos

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

2.) Con un defecto de aire en el proceso de combustión queda combustible inquemado desaprovechándoseos parte de sus componentes, existen además inquemados en la combustión concluyendo que este tipo de combustión no es segura. (TESTO, 2010)

En el gráfico N°11 se presentan las proporciones de gases obtenidos si se trabaja con un escaso aire en la mezcla aire combustible. Como ya lo mencionamos el nitrógeno contenido en el aire pasa directamente a formar partes de los productos combustionados, se puede notar la presencia de gases como el dióxido de carbono, carbono en forma el hollín, monóxido de carbono, el propio combustible, hidrógeno gaseoso, vapor de agua. Aunque la gráfica no lo denote la presencia del dióxido de azufre también se genera en esta forma de combustión.

Gráfica N° 11 Proporciones de gases obtenidos con defecto de aire.



Fuente: Optimización de la combustión. Formación en control de procesos

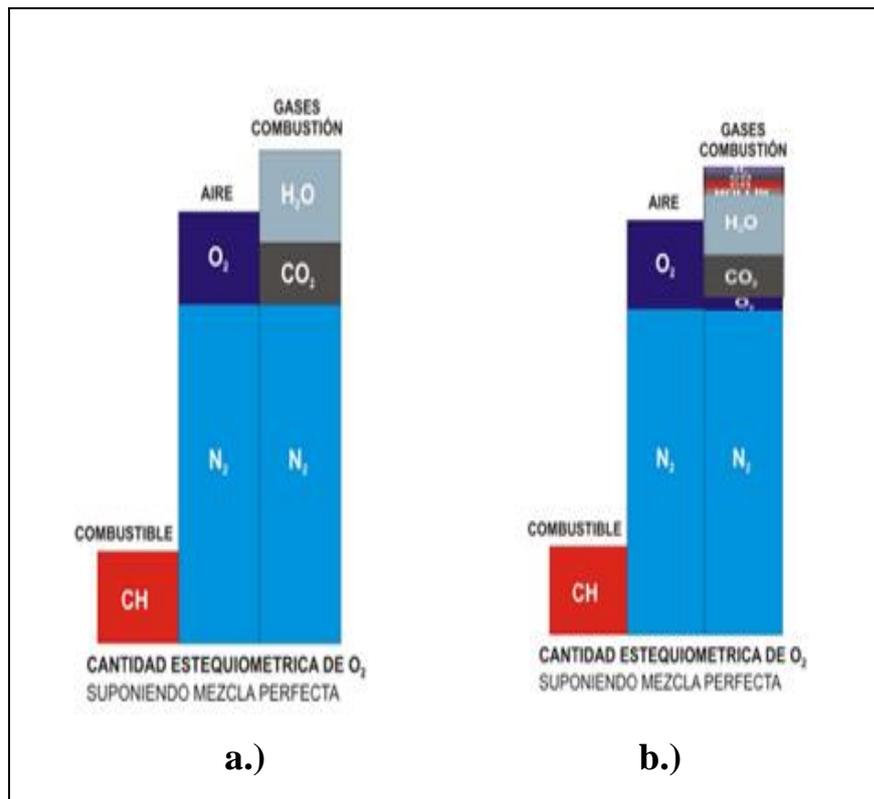
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

- 3.) Para que pueda generarse una buena mezcla la relación aire-combustible debe ser la apropiada. Se detallan dos gráficas que hacen referencia a este fenómeno: En el gráfico N°12 la figura A supone una mezcla perfecta pero en la mayoría de los casos estos no sucede y en la figura B del mismo gráfico se representa gráficamente lo que realmente sucede con una buena relación entre el aire y el combustible. (TESTO, 2010)

Una mezcla perfecta en el proceso de combustión garantiza la no presencia de humos y de gases nocivos al ambiente pero por lo general este proceso de mezcla perfecta no ocurre, lo que sí es posible generar es una adecuada proporción entre

la mezcla aire-combustible que nos permita reducir la niveles de emisiones de gases que vayan a reaccionar como se observa en la figura 14 b.

Gráfica N° 12 Proporciones de gases obtenidos con una buena mezcla aire-combustible.



Fuente: Optimización de la combustión. Formación en control de procesos

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Para que se genere un correcto proceso de combustión es indispensable el aire que le suministremos a la mezcla, este debe ser solo el necesario.

3.5.3 Tipos de fuel oíl empleados en el proceso de combustión para hornos petro-químicos.

El nombre del fuel oíl proviene de una connotación en inglés cuyo significado en español es gasolina, claro está que no es la comúnmente conocemos, esta posea otras características. El fuel oíl se lo considera como un residuo o una fracción obtenida del petróleo que es procesado a partir de la destilación atmosférica, posee además ciertas consideraciones generales específicas que a continuación son detalladas:

- Es considerado el combustible más pesado obtenido del petróleo en el proceso de destilación.
- Se lo obtiene en la mayoría de los casos por destilación atmosférica a un volumen de entre un 30 y un 50% del volumen total del crudo.
- Su punto de ebullición oscila entre los 175°C y los 600°C.
- Es de color negro y está compuesto por moléculas de carbono, azufre y otros compuestos.
- El fuel Oíl es empleado en varias industrias, en gran medida para la generación de energía eléctrica, en hornos industriales y en calderos industriales.

El fuel Oíl es clasificado por clases considerando el punto de ebullición al que es obtenido, sus componentes químicos principales y los usos que se les vaya a dar.

Cuadro N° 19 : Tipos de Fuel Oil

Tipo de fuel Oil	Características
N°1	Es la fracción que hierve después de la gasolina
N°2	Es el combustible para motores a diésel (maquinarias, camiones que soportan grandes cargas)
N°3	Es un tipo de fuel Oil muy poco utilizado y comercializado.
N°4	Es una mezcla de fuel Oil destilado con residuos generalmente es considerado como una mezcla entre el fuel Oil N°2 y El fuel Oil N°6, se lo conoce como diésel destilado o como fuel Oil residual
N°5 y N°6	Son considerados como los remanentes del crudo y es un Fuel Oil altamente pesado.

Fuente: Enciclopedia virtual Wikipedia.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

3.5.3.1 Análisis de las características del combustible (fuel oil), empleado en el proceso de combustión.

Como ya se mencionó el tipo de fuel Oil empleado como medio de combustible para los hornos H2A y H2B es el fuel Oil N°4, se detallan las principales características del combustible empleado para el proceso de combustión en los hornos H2A y H2B de una muestra tomada el 6 de Noviembre del 2013.

Cuadro N° 20: Características del fuel Oil empleado en el proceso de combustión

CARACTERÍSTICAS DEL FUEL OÍL N°4							
TANQUE	GRAVEDAD	PTO INFLAMACIÓN	PTO CONGELACIÓN	BSW	VISC	CENIZA	% S
71	0.9567	120°C	6 °C	0,1%	4106	0,03	1,43

Fuente: Fuente directa.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Según el análisis mostrado las características del combustible son apropiadas para el proceso de combustión a excepción del porcentaje de azufre en su contenido.

Por lo general, como ya lo mencionamos el trabajar con fuel Oíl implica tener problemas de emisiones de gases al ambiente ya que dentro de su composición se encuentran partículas de azufre y de nitrógeno, además de otros compuestos los mismos que en el proceso de combustión reaccionarían y formarían los gases de combustión. Si el tipo de fuel Oíl es considerablemente pesado los niveles de emisiones aumentarían.

El tipo de fuel Oíl que se emplea en Refinería Cautivo podríamos catalogarlo como un combustible de mediano impacto de ser tratado correctamente. Su composición porcentual en azufre es relativamente alta para el control de emisiones al ambiente ya que al trabajar con un porcentaje de 1,4% de azufre en su contenido el nivel de emisiones fluctuará entre 1883 a 1900 Mg/m³ gs. Aunque esta consideración es hipotética se la puede evidenciar con los resultados de los monitoreos mostrados.

En el cuadro N°21 se detallan las características del combustible de una muestra tomada el 22 de octubre del 2015, como podemos apreciar existe un ligero aumento en el porcentaje de azufre contenido en el combustible lo cual es directamente proporcional al nivel de concentración de emisión del dióxido de azufre. En los resultados de los monitoreos de este año (2015) tanto para el horno H2A y H2B correspondientes a los meses de febrero y marzo se pueden observar

altas concentraciones de dióxidos de azufre lo que ratifica que se está trabajando con un combustible de un contenido de azufre inapropiado.

Cuadro N° 21 : Características del fuel Oil empleado en el proceso de combustión

CARACTERÍSTICAS DEL FUEL OÍL N°4							
TANQUE	GRAVEDAD	PTO INFLAMACIÓN	PTO CONGELACIÓN	BSW	VISC	CENIZA	% S
200	0.9561	124°C	6°C	0,1%	4106	0,02	1,47

Fuente: Fuente directa de investigación.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

3.5.4 Mantenimiento de un Horno Industrial

La limpieza y el mantenimiento de un horno industrial comprenden los trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el buen desempeño dentro del proceso de producción de este equipo. Su principal objetivo es el de regular y optimizar el correcto funcionamiento del mismo. Este objetivo deriva en unos objetivos específicos que persiguen lo siguiente:

- Evitar y reducir las fallas presentes en un Horno Industrial.
- Minimizar el grado de gravedad de los fallos que puedan existir.
- Evitar los paros no programados durante el proceso de producción.
- Evitar los accidentes originados por fallas presentes en estos equipos.
- Conservar y garantizar el tiempo de vida útil de estos equipos.
- Reducir costos futuros por negligencias en el cumplimiento de los mantenimientos programados.

3.5.4.1 Mantenimiento de los Hornos de Refinería Cautivo.

Refinería Cautivo cada año realiza un mantenimiento programado a todas sus unidades y equipos con los que cuenta; a este proceso se lo conoce como “Paro de Planta”. El tipo de mantenimiento se lo puede considerar como del tipo correctivo-preventivo y como bien mencionamos se lo realiza cada año pero también puede surgir ante la necesidad de optimizar el proceso o por una mala calidad del producto final.

Un porcentaje del presupuesto general de la empresa es destinado a este proceso.

Ahora bien, el mantenimiento de los hornos H2A y H2B de Refinería Cautivo se manifiesta principalmente en los siguientes puntos:

- **Cambio de atomizadores en los quemadores:** Los atomizadores son una de las partes principales de un quemador ya que permiten la expulsión del combustible. Pueden presentarse deterioros en sus orificios de atomización.
- **Diseño y construcción de anillos refractarios:** Pueden surgir inconvenientes relacionados a la posición de estos anillos. Problemas de centralidad y uniformidad entre el anillo refractario, la bayoneta del quemador y la boquilla.
- Reparación de las paredes aislantes del horno a fin de reducir pérdidas energéticas, contaminación o precautelar la seguridad en general.

- Limpieza interna y externa de tuberías.
- Reemplazo de tuberías por presencia de desgaste o formación de coque.
- Limpieza de las diferentes partes y zonas de los hornos.

Un buen mantenimiento garantiza al equipo un tiempo de vida útil más prolongado, además garantiza la buena predisposición del equipo para su operatividad, jamás un mantenimiento podría considerárselo como improductivo si se dan las condiciones necesarias y si se respetan los tiempo de productividad que se tengan en proceso.

El mantenimiento anual que se les brinda a estos equipos garantiza las condiciones que requiere el crudo para ser procesado, garantiza además el correcto proceso de combustión dentro de los hornos, evita paros de plantas no necesarios y contribuye a mejoras con el medio ambiente, es un proceso indispensable que asiste directa e indirectamente a todo el proceso de destilación de crudo.

3.5.4.2 Limpieza con aire a presión en las zonas de convección y radiación de los hornos.

Es un tipo de mantenimiento periódico que se ejecuta en los hornos y que puede ser considerado como un mantenimiento del tipo preventivo.

A esta operación se lo conoce comúnmente como sopleteo de líneas o baqueteo de las tuberías, paredes refractarias, chimenea, dampers, quemadores y demás partes ubicadas en las diferentes zonas del horno.

Técnicamente consiste en la inyección de aire a presión ayudado por un compresor; este aire ingresa a través de las ventanas provistas en los hornos con el objetivo de eliminar y pulverizar las partículas o sedimentos que se encuentren localizados en las tuberías y demás partes del horno.

Por lo regular este trabajo lo desempeñan dos personas equipadas correctamente con los equipos de seguridad correspondientes.

El problema surge cuando los trabajos de monitoreos de emisiones de gases al ambiente son realizados a la par o después del trabajo de baqueteo en el horno. Introducir en el interior del horno aire a presión generaría turbulencias en los gases de escape, formación de partículas suspendidas entre otros; es por esta razón que no es recomendable la toma de muestras cuando se esté baqueteando ni posterior a este proceso, ya que de hacerlo los resultados no serían 100% confiables. Por lo general se debe esperar un tiempo prudencial de aproximadamente 2 horas para que las condiciones dentro del horno se estabilicen.

3.6 Diagnóstico del problema: Análisis y conclusiones.

Como se puede evidenciar en el apartado 3.5.1.2 donde se presentan los monitoreos durante el período 2013 hasta marzo del 2015 existen problemas relativos al control de emisiones, claro está y debo mencionarlo que los monitoreos presentados fueron escogidos de manera aleatoria ya que los resultados normalmente fijados en informes mensuales podrían no evidenciar el problema debido a que los mismos son presentados a manera de promedios.

Para que los resultados de los monitoreos de emisiones de gases al ambiente puedan ser favorables debe existir un trabajo coordinado entre la parte operativa del horno y las condiciones del fluido a ser utilizado como medio de combustión.

Una buena y correcta combustión garantizaría la disminución de las emisiones particularmente las concentraciones de monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno o en su defecto los mantendría dentro de los límites permisibles fijados según la norma. La formación de estos dos gases obedece a las condiciones operativas de combustión que se produzcan en los hornos.

Las altas concentraciones de dióxidos de azufre responden también al proceso de combustión pero además están vinculadas al tipo de fuel Oil empleado y las características de su composición, dicho de otro modo si el fuel Oil presentará una carga elevada en azufre, los resultados se reflejarían en una elevada concentración de emisiones de dióxidos de azufre.

Dentro de las características del combustible empleado podemos observar que existe un alto porcentaje de azufre 1,47% en su composición que generalmente induce a la formación de dióxidos de azufre.

A lo anterior mencionado y para una mejor comprensión se detalla un cuadro donde se sintetiza el diagnóstico de las principales causas que estarían dando lugar a la problemática encontrada.

Cuadro N° 22 : Síntesis del diagnóstico del problema.

Problema y causas	Incidencia en el problema	Observaciones
Quemadores y accesorios en malas condiciones por	Derrame de combustible, formación de coque, incrustaciones, calidad de la llama deficiente. Estos factores inciden en una mala combustión y por consiguiente en la formación de gases de combustión	El trabajo de mantenimiento en las plantas de refinería la libertad se la realiza cada año, además existen paros de planta no programados que surgen ante la necesidad de inconvenientes o fallos operacionales.
Intermitente mal direccionamiento del proceso de combustión en los hornos de Refinería Cautivo	Va direccionada a la parte operativa encargada del proceso de combustión en los hornos, existe cierto grado de desconocimiento de las consecuencias que se producen si no existe un adecuado proceso de combustión en los hornos de Refinería Cautivo.	Una buena operación de los hornos también sugiere una capacitación concreta del análisis del proceso de combustión que contribuya a mejorar las condiciones operativas en las fuentes de combustión y reducir el impacto ambiental que podría generar dicho proceso
Combustible empleado en el proceso de combustión.	Existe una concentración de azufre considerablemente alto en el contenido del combustible utilizado (1,47%), lo cual genera una producción elevada de dióxidos de azufre al ambiente	La generación de gases está estrechamente relacionada a la parte operativa dentro del proceso de combustión y al combustible que se esté empleando en el proceso.

Fuente: Fuente directa de investigación.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

En el cuadro anterior podemos observar tres aspectos de interés relevante en el estudio de esta problemática, en primera instancia se presenta como una de las causas el deterioro de los quemadores y los demás accesorios que lo componen. Habitualmente cada cierto tiempo y cuando lo requieren estos quemadores son reemplazados debido a una mala operación; producto de la formación de sedimentos en sus estructuras, derrames de aceite o fuel oíl desde los quemadores, por defectos en la calidad de la llama, entre otros factores.

El reemplazo de estos quemadores en los hornos muchas veces pasa desapercibido por no comprometer el proceso de general de producción de refinación de crudo.

La parte operativa en el proceso de combustión dentro de los hornos juega un papel predominante para la solución de la problemática. También es cierto manifestar que existe un bajo nivel de conocimiento más que todo del proceso de combustión vinculado a la generación de gases de combustión y los efectos que trae consigo. A partir de una correcta disposición corrigiendo las condiciones operativas garantizaremos que las condiciones ambientales mejoren considerablemente.

Finalmente y para concluir con los causales que están generando esta problemática y no menos importante es el tipo de combustible empleado en el proceso de combustión. Para que se produzca una generación considerable de emisiones vinculadas al dióxido de azufre en los hornos (lo que actualmente está

sucediendo) debe de existir una alta concentración de azufre en las propiedades del fuel oíl empleado.

En síntesis los tres aspectos que acabo de detallar son sumamente importantes si pretendemos corregir el desperfecto, ya que los tres están estrechamente vinculados e influyen directamente en el proceso de combustión, aunque el objetivo primordial siempre será el de reducir las concentraciones de emisiones de dióxidos de azufre al ambiente por su condición de gas altamente tóxico y es por esta razón que el enfoque principal tiene como protagonista al tipo de combustible que se está empleando.

3.7 Encuesta

A partir de un banco de preguntas con base en el objetivo general de este trabajo investigativo se elabora una encuesta con la finalidad de obtener la información necesaria por parte de los trabajadores de Planta Cautivo respecto a esta problemática, con estos resultados mostraremos la importancia del proyecto.

3.7.1 Población.

Determinamos nuestra población considerando el número de trabajadores con los que cuenta Refinería Cautivo, un total de 32 trabajadores distribuidos de la siguiente manera; en el área de Operaciones 12 trabajadores, en el departamento de Almacenaje 8 trabajadores, en el departamento de Generación Eléctrica 4

trabajadores, 4 trabajadores en el área de Facilidades de Refinación y 4 personas para el área de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional. En el cuadro N°23 se puede observar esta distribución de personal.

3.7.2 Tamaño de muestra.

Por tratarse de una población relativamente pequeña he considerado utilizar el número total de la población como nuestro tamaño de muestra; es decir 32 trabajadores.

Cuadro N° 23 Tamaño de la Muestra (personal que trabaja en planta Cautivo)

DEPARTAMENTO	N° TRABAJADORES
OPERACIONES	12
ALMACENAJE Y TRANSFERENCIA	8
GENERACION ELÉCTRICA Y VAPOR	4
FACILIDADES DE REFINACIÓN	4
SEGURIDAD	4
TOTAL	32

Fuente: Refinería Cautivo.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

3.7.3 Tabulación y Análisis de la información recolectada.

Diseñado el cuestionario de la encuesta (Ver anexo 11 formato de encuesta) procedemos a tabular la información recabada y posterior a aquello emitiremos un análisis breve sobre cada pregunta.

PREGUNTAS Y TABULACIÓN:

1.- ¿Conoce Ud. acerca de los límites máximos permisibles en cuanto a emisiones de gases al ambiente en los hornos H2A y H2B de Refinería Cautivo?

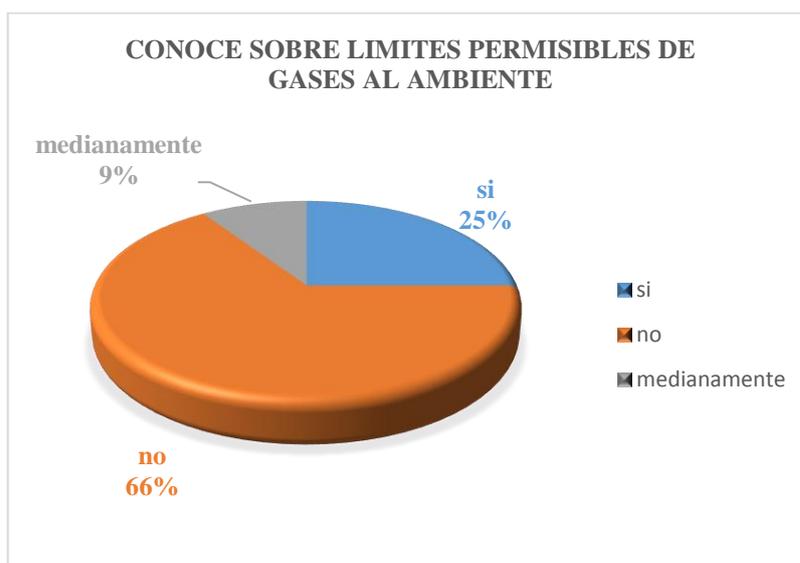
Cuadro N° 24 Límites máximos permisibles para emisiones de gases en fuentes fijas de combustión.

ITEM	VALORACION	ENCUESTADOS	
		F	%
1	si	8	25
	no	21	66
	medianamente	3	9
	TOTAL	32	100

Fuente: Trabajadores de Refinería Cautivo

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Gráfico N° 13 Límites máximos permisibles para emisiones de gases en fuentes fijas de combustión.



Fuente: Trabajadores de Refinería Cautivo

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Análisis.- El cuadro N° 24 y la gráfica N°13 muestran las respuestas al cuestionamiento sobre el grado de conocimiento que tienen los trabajadores de Refinería Cautivo acerca de los valores límites máximos permisibles para emisiones de gases en los hornos H2A y H2B, de los cuales el 66% de los encuestados indico que desconoce dichos valores en cuestión, el 25% de los encuestados mencionan que afirmativamente ellos tienen un claro conocimiento acerca de estos valores y el 9% representa a los individuos que tienen una postura medianamente aceptable hacia esta pregunta.

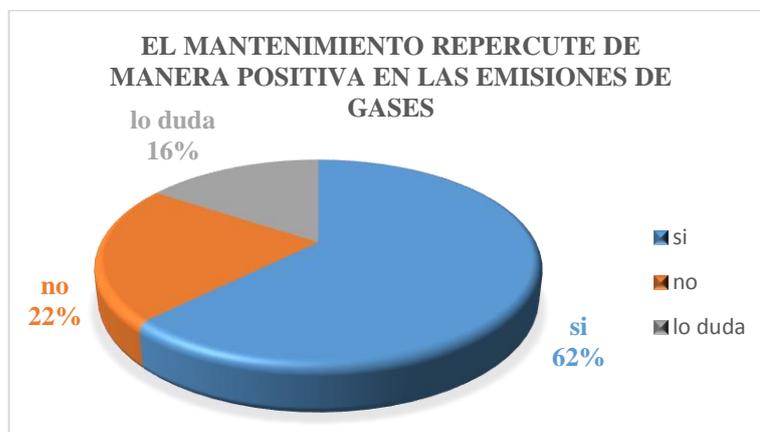
2.-¿Considera que el mantenimiento y buen funcionamiento de los quemadores repercute de manera positiva en la generación de emisiones de gases?

Cuadro N° 25 Mantenimiento preventivo de los quemadores de los hornos.

ITEM	VALORACION	ENCUESTADOS	
		F	%
2	si	20	62
	No	7	22
	lo duda	5	16
	TOTAL	32	100

Fuente: Trabajadores de Refinería Cautivo
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Gráfico N° 14 Mantenimiento preventivo de los quemadores de los hornos.



Fuente: Trabajadores de Refinería Cautivo
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Análisis.- La pregunta N°2 cuestiona el mantenimiento de los quemadores y su incidencia en la generación de gases al ambiente, ante esta pregunta el 62% de los encuestados afirmó que el buen funcionamiento de los quemadores contribuye de manera positiva en la generación de gases al ambiente, el 22% afirma que el buen funcionamiento de los quemadores no aporta en su totalidad en la generación de gases y el 16% de los encuestados afirma tener incertidumbre en cuanto al cuestionamiento.

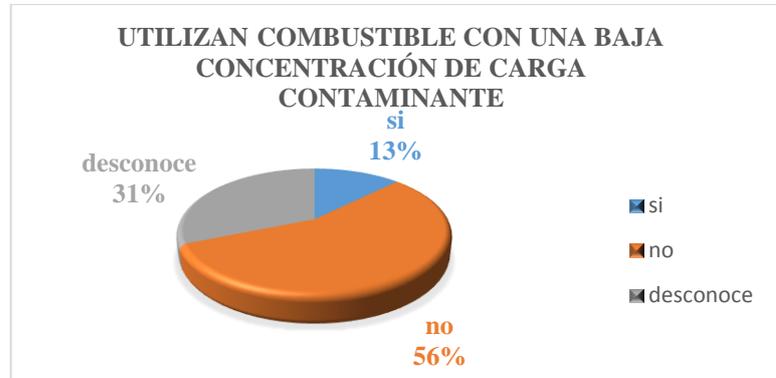
3.- ¿Considera Ud. que se esté utilizando un combustible con una baja concentración de carga contaminante conociendo los resultados expuestos en los monitoreos ambientales?

Cuadro N° 26 Carga contaminante en el combustible empleado en el proceso de combustión.

ITEM	VALORACIÓN	ENCUESTADOS	
		F	%
3	si	4	13
	no	18	56
	desconoce	10	31
	total	32	100

Fuente: Trabajadores de Refinería Cautivo
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Gráfico N° 15 Carga contaminante en el combustible empleado en el proceso de combustión.



Fuente: Trabajadores de Refinería Cautivo
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Análisis.- De acuerdo con los resultados obtenidos en base a esta pregunta acerca de la carga contaminante del combustible empleado en el proceso de combustión el 56% de los encuestados respondieron que se está utilizando un combustible con una alta carga contaminante de acuerdo a los resultados de los monitoreos mostrados, el 13% indica que si se está empleando un combustible adecuado y el 31% indica desconocer sobre a la pregunta en mención.

4.- ¿Conoce de algún sistema o mecanismo que me permita reducir los niveles de emisiones de gases al ambiente desde los hornos H2A y H2B?

Cuadro N° 27 Mecanismo o sistema para reducir emisiones de gases al ambiente

ITEM	VALORACIÓN	ENCUESTADOS	
		F	%
4	si	10	31
	No	22	69
	TOTAL	32	100

Fuente: Trabajadores de Refinería Cautivo
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Gráfico N° 16 Mecanismo o sistema para reducir emisiones de gases al ambiente



Fuente: Trabajadores de Refinería Cautivo.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Análisis.- Se le pregunto a los trabajadores de Refinería Cautivo si conocían de algún sistema o mecanismo que les permita disminuir los niveles de emisiones de gases en los hornos H2Ay H2B llegando a la conclusión que el 69% de los encuestados no conoce acerca de lo preguntado, y el 31% mencionan si conocer de un sistema vinculado a mejorar los valores de emisiones de gases al ambiente.

5.- (Preámbulo a la propuesta)¿Considera oportuno, viable y benéfico la propuesta de realizar un estudio técnico para optimizar los niveles de emisiones de gases en los dos hornos?

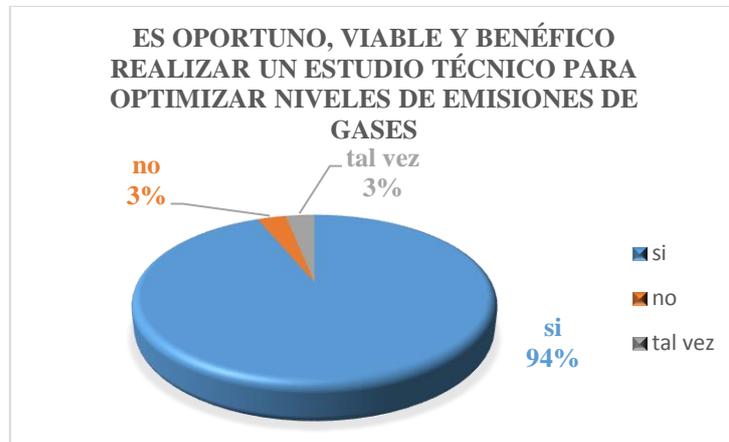
Cuadro N° 28 Vialidad de la propuesta.

ITEM	VALORACIÓN	ENCUESTADOS	
		F	%
5	si	30	94
	no	1	3
	tal vez	1	3
	TOTAL	32	100

Fuente: Trabajadores de Refinería Cautivo

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Gráfico N° 17 Vialidad de la propuesta.



Fuente: Trabajadores de Refinería Cautivo.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Análisis.- Socializando una breve introducción de lo que se pretende realizar con este estudio técnico se le pregunto a los trabajadores de Refinería Cautivo acerca de la vialidad de este proyecto indicando que el 94% de los encuestados si considera benéfico y de gran aporte realizar este estudio, el 3% afirma que no es necesario, y el 3% de los encuestados mantiene incertidumbre sobre la pregunta en mención.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA TÉCNICA PARA OPTIMIZAR LOS NIVELES DE EMISIONES DE GASES AL AMBIENTE.

4.1 Alternativas de solución al problema planteado.

Cuadro N° 29 : Alternativas de solución al problema planteado.

Problema y causas	Incidencia en el problema	Alternativas de solución
Quemadores y accesorios en malas condiciones por	Derrame de combustible, formación de coque, incrustaciones, calidad de la llama deficiente. Estos factores inciden en una mala combustión y por consiguiente en la formación de gases de combustión	Mantenimiento.- Mantenimiento periódico de los quemadores y demás accesorios que lo componen. Del mismo modo una correcta coordinación con los trabajos afines a los hornos de Refinería Cautivo.
Intermitente mal direccionamiento del proceso de combustión en los hornos de Refinería Cautivo	Va direccionada a la parte operativa encargada del proceso de combustión en los hornos, existe cierto grado de desconocimiento de las consecuencias que se producen si no existe un adecuado proceso de combustión en los hornos de Refinería Cautivo.	Capacitación.- Capacitación dirigida al personal técnico encargado de la operación de los hornos relacionada al proceso de combustión, ajustes operativos, inspecciones, entre otros.
Combustible empleado en el proceso de combustión.	Existe una concentración de azufre considerablemente alto en el contenido del combustible utilizado (1,47%), lo cual genera una producción elevada de dióxidos de azufre al ambiente	Combustible (fuel oil).- Proponer una alternativa de mejora optimizando la calidad del combustible a partir de un tratamiento químico o dosificación de un aditivo comercial.

Fuente: Fuente directa de investigación.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

En el cuadro N° 29 se muestran los posibles enfoques problemáticos para este estudio y propongo para cada una de sus causales una potencial alternativa de solución que permita mitigar dicha situación.

4.2 Mantenimiento correctivo-preventivo de quemadores de gasóleo o Fuel oil

Como primera solución de mejora se presenta un modelo de planificación correspondiente al mantenimiento correctivo y preventivo de los quemadores utilizados en los hornos H2A y H2B de Refinería Cautivo, para fortalecer este punto tan importante para el proceso de combustión sintetizo los problemas más comunes que se originan por un incorrecto funcionamiento en el quemador, luego se detalla brevemente los pasos a seguir para corregir cualquier desperfecto en el quemador a partir de un pequeño manual de procedimiento.

En el manual encontraremos: La tarea a desarrollar, el objetivo del mantenimiento, su frecuencia de realización, el tiempo estándar que se necesita para realizar la operación y los recursos que utilizaremos para desarrollarlo.

La ejecución de este mantenimiento lo detallo en el inciso 4.6.1 de este capítulo.

4.2.1 Mantenimiento periódico de los quemadores y accesorios.

Uno de los inconvenientes puntuales e importantes que derivan a la formación de emisiones elevadas de gases al ambiente se da por un deficiente mantenimiento en los dispositivos encargados de producir precisamente la combustión, este es el caso de los quemadores y sus accesorios.

Los desperfectos encontrados en estos mecanismos provocan la denominada mala combustión y entre sus principales fallos encontrados podemos mencionar los siguientes:

1. Turbulencia y formación de gases de combustión.
2. Chispeo o chisporroteo en la cámara de combustión.
3. Patrón de la llama incontrolable (Inestabilidad).
4. Formación de sedimentos “coke”.
5. Derrames de combustible.

Para poder determinar la periodicidad con la que un quemador es reemplazado o sujeto a trabajos de mantenimientos nos valemos de la información brindada por el departamento de mantenimiento de las dependencias de Refinería La Libertad.

Cada año se efectúan mantenimientos programados para cada una de las

estaciones de refinación con las que cuenta este complejo industrial, el tipo de mantenimiento que se realiza se lo podría considerar como del tipo preventivo, este mantenimiento general que se lo efectúa anualmente brinda las garantías necesarias para operar los equipos de una forma segura durante todo el año.

Los hornos H2A y H2B, sus partes y accesorios también forman parte de este mantenimiento macro que se efectúa en la estación de Refinación Cautivo, aunque el tema del mantenimiento de los quemadores pase a formar parte de un mantenimiento correctivo y muy constante durante todo el año ya que surge ante la necesidad de un desperfecto o falla en sus estructuras.

La cualificación técnica en el grado operacional de estos equipos ocasiona en ciertas ocasiones el deterioro de sus componentes obligando así a un procedimiento de restauración de los equipos (quemadores). Comúnmente los fallos antes mencionados se dan por un defecto en los orificios atomizadores, lo cual sugiere una regulación de estos inyectores o en su defecto un cambio de los mismos.

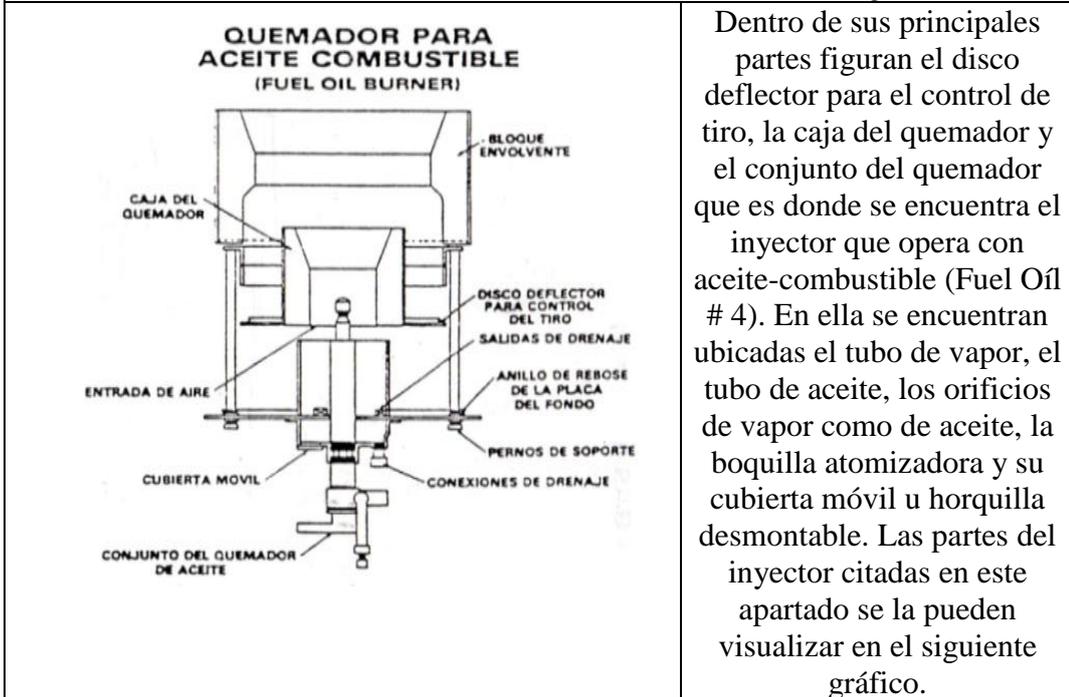
Suelen presentarse defectos en las boquillas de atomización, estos se presentan como desperfectos en los orificios de expulsión del combustible provocando un chispeo de las gotas atomizadas generando inestabilidad en la llama, también puede darse el caso de una incorrecta construcción del anillo refractario o de una incorrecta localización de la boquilla atomizadora con respecto al anillo refractario.

Para lo anterior descrito se plantea un manual básico acerca del procedimiento óptimo para el mantenimiento de un quemador que utilice fuel Oil como medio combustible.

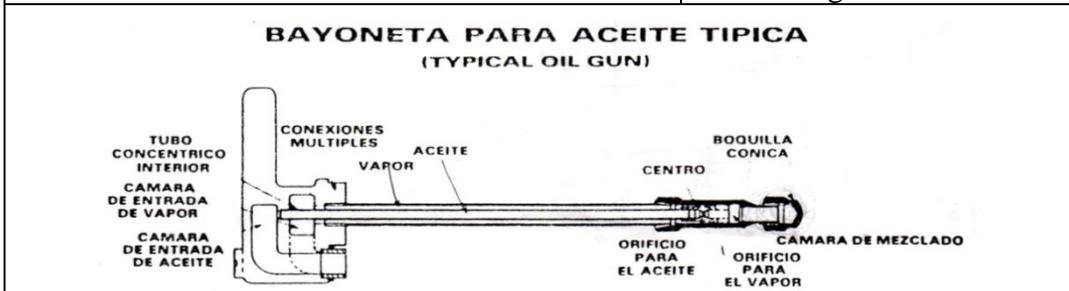
Cuadro N° 30: Manual de procedimiento para el mantenimiento de un quemador a gasoil.

MANUAL DE PROCEDIMINETO PARA EL MANTENIMINETO DE QUEMADORES			
TAREA:	Mantenimiento mecánico de quemadores de pulverización con fluido auxiliar de la marca John Zinc de los hornos H2A y H2B de Refinería Cautivo.	TIEMPO ESTÁNDAR:	8 horas por quemador
OBJETIVO:	Proponer un manual de procedimientos vinculado al mantenimiento de quemadores y accesorios a partir de una descripción sistemática de los pasos que deben ejecutar para realizar esta operación; y de esta manera garantizar el correcto funcionamiento de los quemadores.	FRECUENCIA :	Cuando la ocasión lo amerite. Se recomienda realizar inspecciones técnicas diariamente.
RECURSOS HUMANOS	Dos personas calificadas para realizar la operación	RECURSOS MATERIALES	Herramientas manuales
DEPARTAMENT O ENCARGADO	Departamento de mantenimiento de RLL.		
PROCEDIMIENTO			
1.- Verificar el desperfecto en el quemador, generalmente viene dado por una inspección visual dentro de la cámara de combustión.			
2.- Verificar que la eventual falla o desperfecto obedece a un fallo mecánico únicamente, es decir se deben verificar que los suministros que utiliza el quemador para producir la combustión estén operando con total normalidad.			
3.- Verificar que el suministro de combustible, vapor y de aire estén operando con total normalidad.			
4.-los quemadores que utilizan fuel Oil o aceite -combustible están compuestos por las siguientes partes como se puede apreciar en la figura mostrada a continuación.			

MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO DE QUEMADORES



Dentro de sus principales partes figuran el disco deflector para el control de tiro, la caja del quemador y el conjunto del quemador que es donde se encuentra el inyector que opera con aceite-combustible (Fuel Oil # 4). En ella se encuentran ubicadas el tubo de vapor, el tubo de aceite, los orificios de vapor como de aceite, la boquilla atomizadora y su cubierta móvil u horquilla desmontable. Las partes del inyector citadas en este apartado se la pueden visualizar en el siguiente gráfico.



Este tipo de quemadores particularmente requieren un mayor grado de limpieza debido a las propiedades del combustible utilizado, principalmente los fallos se encuentran en el dispositivo atomizador de combustible.

Para desmontar el inyector del conjunto quemador se sugiere cumplir con el siguiente procedimiento:

- 1.- Se cierra la entrada de aceite y se introduce vapor a la boquilla de aceite.
- 2.- Se afloja la cubierta móvil desajustando los pernos de soporte. Se separa dicha cubierta para extraer de ella el inyector de gasóleo.
- 3.- Las conexiones de vapor y de aceite se encuentran dentro de la cubierta móvil.
- 4.- Las partes fijas permanecen con la guía del inyector.
- 5.- La conexión entre el inyector y el cuerpo del inyector esta sellado con empaques para el suministro de aceite y para el de vapor
- 7.- Se procede a limpiar la bayoneta con una mezcla de diésel- gasolina que nos permita remover sedimentos o suciedades.
- 8.- Se verifica que la boquilla de atomización se encuentre en buen estado, de lo contrario se procede al recambio de dicha pieza.

Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

4.2.2 Coordinación entre el proceso de limpieza de los hornos y el proceso de monitoreo de gases de combustión.

La coordinación entre el proceso de limpieza de los hornos H2A y H2B respecto a los trabajos de monitoreo de emisiones gaseosas surge ante la problemática de la no confiabilidad de los resultados de emisiones de gases monitoreados si estos son tomados después de que se realiza el trabajo de limpieza en los hornos o de realizar las dos actividades al mismo tiempo.

Imagen N° 3 Limpieza y monitoreo de emisiones al ambiente en los hornos H2A y H2B



Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

En la imagen N°3 se puede observar el trabajo de monitoreo de emisiones de gases al ambiente al mismo tiempo que se realizan los trabajos de limpieza en la zona de convección del horno.

El objetivo de la limpieza con aire a presión en los hornos es la de eliminar el hollín y demás partículas que se encuentren localizadas en la zona de convección y parte de la zona de conducción; por ello se sugiere no realizar trabajos de monitoreo de emisiones de gases cuando se estén realizando estas actividades de limpieza ya que alterarían de manera significativa las muestras tomadas.

Cuando los trabajos de monitoreos requieren su pronta ejecución se debe esperar un mínimo de 2 horas promedio para que las partículas suspendidas se estabilicen y así obtener datos confiables.

El trabajo de limpieza con aire a presión en los hornos H2A y H2B se lo realiza los días lunes, miércoles y viernes de 8h00 a 10h00 am., mientras que los monitoreos de emisiones de gases al ambiente para los hornos se lo realiza los días viernes en horario incierto las empresas participantes pueden tomar las muestras sin previo aviso.

Es por esta razón que es importante coordinar el trabajo de limpieza con aire a presión en los hornos H2A y H2B con los trabajos de monitoreo de emisiones de gases; para lograrlo, se sugiere trabajar con el siguiente cuadro de registro.

Cuadro N° 31 : Formato de registro para trabajos afines a los hornos H2A y H2B.

TRABAJO DE LIMPIEZA EN LOS HORNOS H2A Y H2B				MONITOREO DE EMISIONES DE GASEOSAS				
FECHA	HORA/INI	HORA/ FIN	OBSERV.	FECHA	EMPRESA	HORA/INI.	HORA/FIN	OBSERV.
Xx/xx	Vv/vv	Yy/yy	nnnnnnn	Xx/xx	chming	Vv/vv	Zz/zz	nnnnnnn

Fuente: Fuente directa de investigación.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

4.3 Combustible utilizado en los hornos H2A y H2B.

Se menciona en el capítulo anterior el combustible fuel Oil #4 empleado para producir la combustión en los hornos H2A y H2B de acuerdo a los análisis químicos realizados presenta una concentración de Azufre un tanto elevada, producto de aquello las concentraciones de emisiones por de la oxidación de este compuesto SO₂ en algunos meses presentan valores fuera de los límites máximos permitidos según la normativa en vigencia.

4.3.1 Tipo de fuel oil empleados en el proceso de combustión.

De acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1983 de los productos derivados del petróleo específicamente de los requisitos que deben ser considerados para el fuel Oil encontramos que este derivado se lo clasifica de la siguiente manera:

Fuel Oil liviano es inherente a los comercializados como Fuel Oil N°4-A y Fuel Oil N° 4-B.

Fuel Oil pesado es inherente a los comercializados como fuel Oil N°6.

En la imagen N°4 tomada del servicio ecuatoriano de normalización INEN 1983 se establecen los requisitos físico-químicos para determinar los tipos de fuel Oil.

Los componentes residuales presentes en el fuel Oil pesado y liviano deben permanecer uniformes durante el almacenamiento.

Imagen N° 4 Requisitos fisicoquímicos para el Fuel Oil liviano y pesado.

Requisitos	Unidad	4A		4B		6		Método de ensayo
		mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	
Gravedad API a 15,6 °C	°API	Reportar		Reportar		Reportar		ASTM D287
Densidad a 15,6 °C	kg/m ³	Reportar		Reportar		Reportar		ASTM D287
Punto de inflamación	°C	60	--	60	--	60	--	ASTM D93
Punto de escurrimiento	°C	--	12	--	10	--	15	ASTM D97
Viscosidad cinemática a 50 °C	cm ² /s ^a	4	5,1	4,2	5,1	5,1	6	ASTM D445
Contenido de agua y sedimento	% ^b	--	0,5	--	1	--	--	ASTM D1796
Contenido de cenizas	% ^c	--	0,1	--	0,2	--	0,2	ASTM D482
Contenido de azufre	% ^c	--	1,5	--	2,3	--	2,5	ASTM D1552
^a 1 cSt = 10 ⁻² cm ² /s = 10 ⁻⁶ m ² /s ^b % corresponde a fracción de volumen expresada en porcentaje. ^c % corresponde a fracción de masa expresada en porcentaje.								

Fuente: Norma NTE-INEN 1983

Elaborado por: Jorge Iván Perero De La Cruz.

4.3.2 Alternativa de mejora reduciendo la concentración de Azufre en el combustible.

De la muestra más recientemente tomada el 22 de octubre del 2015 se puede evidenciar un alto contenido de azufre en el combustible fuel Oíl empleado en los hornos de Refinería Cautivo; tomando como referencia los valores descritos en el capítulo III cuadro N°5 (“variabilidad de los gases de combustión”) del presente estudio donde se presenta la variabilidad del dióxido de azufre de acuerdo al valor porcentual de azufre contenido en el combustible.

Trabajar con un combustible con este margen de concentración implica tener efectos adversos relacionados a los niveles de SO₂ generados desde estas fuentes fijas de combustión, de manera que si el valor referencial del contenido de azufre en el combustible es de 1,47% hipotéticamente el nivel de emisiones originado por este gas fluctuará en valores de 1883 a 1900 mg/m³ gs cifra que está muy por encima de los valores referenciales de acuerdo a la normativa ambiental vigente, el cual establece un valor de 1650 mg/m³ gs para el dióxido de azufre (SO₂).

Cuadro N° 32: Características del fuel Oíl empleado en el proceso de combustión

CARACTERÍSTICAS DEL FUEL OÍL N°4							
TANQUE	GRAVEDAD	PTO INFLAMACIÓN	PTO CONGELACIÓN	BSW	VISC	CENIZA	% S
200	0.9561	124°C	6°C	0,1%	4106	0,02	1,47

Fuente: Fuente directa de investigación.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Según la imagen N°4 donde se establecen los valores referenciales de máximos y mínimos del contenido de azufre para determinar el tipo de fuel Oil y según los datos obtenidos de las características del combustible empleado en los hornos de Refinería Cautivo se puede confirmar que el combustible utilizado en los hornos es un Fuel Oil liviano de denominación 4-A aunque su rango porcentual se aproxime a considerarlo como un fuel Oil del tipo 4-B.

El impacto provocado por las emisiones de dióxido de azufre al ambiente es considerablemente alto por ser un gas sumamente agrio de alto impacto corrosivo y erosivo durante todo el proceso de combustión. Para disminuir estas concentraciones evidentemente se necesita implementar medidas correctivas que disminuyan la concentración de azufre en el combustible, es por ello que es imperativo un tratamiento en el fuel oil.

Para mejorar esta condición se propone más adelante un modelo de aditivación basado en un químico que nos permita mejorar el proceso de combustión, claro está que el objetivo de este químico no garantiza una disminución considerable del azufre en el combustible, sin embargo la implementación de este químico si nos garantizará una combustión más eficiente convirtiendo el azufre en cantidades de SO₂ moderadas y valores que se sujeten a los valores máximos establecidos según la norma, coadyuvando además en disminuir los compuestos metálicos de azufre, sodio y vanadio retenidos en forma de incrustaciones en las paredes del horno, de sus ventajas y principales características ahondaremos en apartados posteriores.

Por otro lado, para que esta condición pueda ser mejorada podemos implementar una pequeña reconfiguración en el fuel oíl N#4 empleado en proceso de combustión que consista en la inyección de un hidrocarburo más liviano pudiendo ser el Diesel #1 procesado en la misma planta, que nos permita reducir en gran medida las concentraciones de azufre en el combustible.

La inyección de mezcla entre el fuel Oíl N#4 con el Diesel#1 dependerá del caudal de combustible empleado en los hornos y mucho dependerá también de las condiciones operativas óptimas para desarrollar el proceso de combustión sugiriendo además que un combustible demasiado diluido provocaría derrames innecesarios en el proceso de encendida de los quemadores.

4.4 Capacitación.

Como otra alternativa al problema de emisiones de gases al ambiente en los hornos de Refinería Cautivo se propone otorgar y afianzar conocimientos generales respecto al proceso de combustión y los diversos ajustes operativos vinculados a este proceso, para conseguirlo proponemos el siguiente plan de capacitación técnica dirigida al personal de Refinería Cautivo específicamente a las personas encargadas de operar los hornos H2A y H2B., tiene una duración de 20 horas y será evaluada por el jefe de operaciones de dicha entidad. (Ver cuadro N°35 programa de capacitación). A continuación se presenta el contenido programático de la capacitación.

4.4.1 Asistencia técnica al proceso de combustión en los Hornos.

El objetivo como ya lo mencionamos es redimensionar el grado de conocimiento operacional por parte del personal encargado de realizar los ajustes operativos al sistema de combustión en cada una de las fuentes de combustión descritas, para ello es imperante que se refuercen ciertos conocimientos generales que garanticen la optimización en la combustión como:

- **¿Qué es un horno Industrial?**

Se conoce como un horno industrial a los equipos que buscan o hacen posible la entrega de calor a un fluido en proceso. La utilización de estos dispositivos es muy versátil ya que solo puede ser el calentar un fluido o gasificar dicho fluido, cambiar las propiedades del fluido químicamente entre otros; su utilización depende de las condiciones del proceso y transformación que el fluido exija.

- **Principales características de los hornos tipo cabina con tubos horizontales.**

Refinería Cautivo para su producción de refinación de crudo emplea dos hornos o fuentes fijas de combustión cuya descripción es H2A y H2B, son del tipo vertical y cuentan con 8 quemadores cada uno.

De acuerdo a su constitución sus principales características son:

- 1.- Un cilindro u hogar vertical de acero sobre soportes revestidos de hormigón.
- 2.- Su base se encuentra a 7 pulgadas del suelo.
- 3.- Están recubiertos internamente por material refractario.
- 4.- Está compuesto por tubos horizontales y en su interior pasa el fluido a ser calentado. Los tubos se unen a partir de unos codos de radio corto 180°.
- 5.- El número de quemadores en ambos hornos es de 8 quemadores y sus bloques envolventes están ubicados sobre el piso de los hornos dispuestos simétricamente.
- 6.- En su parte posterior está ubicada la puerta general de acceso con una mirilla principal. En las paredes laterales del hogar se ubican varias mirillas.
- 7.- En la parte baja se encuentran las entradas de vapor.
- 8.- Las líneas de proceso (fluido calentado) sale por la parte baja y por la parte superior ingresa el fluido a ser calentado.
- 9.- La zona de convección está compuesta por tubos llamados tubos de convección ubicados de forma horizontal, en esta zona es donde se desarrolla el proceso de baqueteo llamado también “sopleteo de hollín”.
- 10.- La chimenea es construida en acero revestida en su interior con hormigón, entre sus principales partes se destacan la válvula mariposa llamada comúnmente

dampers, un termopar o medidor de temperatura y las conexiones manuales para medir el tiraje en el horno. Se denomina tiro al mecanismo utilizado para la eliminación de los gases de combustión y este tipo de tiro a su vez puede ser del tipo natural o forzado.

11.- En este tipo de hornos industriales se distinguen dos zonas: La zona de convección y la zona de radiación. (Escobar, s.f.)

- **¿Qué es la combustión?**

Es un proceso químico de oxidación entre un combustible y un medio oxidante que por lo general es aire donde se libera energía calórica y luminosa en un ambiente cerrado. (Zabala, 2003)

- **La combustión en hornos empleados en refinación de crudo.**

Para una refinería la forma más importante de generar energía es el calor. En el proceso de combustión en los hornos interviene un aire atmosférico con sus proporciones constantes de 20% de O₂ y el 76% de N₂ con un exceso del mismo del 15 al 25 de unidades porcentuales. Además para que se produzca la combustión se necesita un medio combustible que para nuestro caso en los hornos de Refinería Cautivo se emplea un fuel Oil N°6(aceite- combustible) tratado con Diesel N°2. (Morales, et al., 2004)

Los quemadores de estos hornos utilizan un mecanismo de fluido auxiliar compuesto por vapor que ayuda a atomizar el combustible.

El calor se transmite por tres formas distintas en el interior del horno estas son: Aproximadamente del 60 al 70% de calor es transferido en el hogar en forma de radiación. Los gases de combustión son aprovechados en la zona de convección transfiriendo este calor a manera de convección y por ultimo está el calor transmitido en forma de conducción a través de las paredes del sistema de tuberías. (Giuliano, 1975)

- **Reacciones básicas que se generan en el proceso de combustión.**

Las reacciones que se producen fruto del proceso de combustión en la cámara de combustión de los hornos dependerán de la calidad de la combustión que se esté empleando en el equipo. Por lo general se conocen estas reacciones:

Cuadro N° 33: Reacciones químicas que se producen en el proceso de combustión

Combustible	Reacción
Carbón a CO	$2C + O_2 \rightarrow 2CO$
Carbón a CO ₂	$C + O_2 \rightarrow CO_2$
Monóxido de carbono	$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$
Hidrógeno	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$
Azufre a SO ₂	$S + O_2 \rightarrow SO_2$

Fuente: Enciclopedia virtual Wikipedia.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

- **¿Cuáles son los límites máximos de emisiones de gases al ambiente desde fuentes fijas de combustión?**

Según el Acuerdo Ministerial N° 091. Del Registro Oficial 430 del 2 de Enero del 2007. Se fijan los Límites Máximos Permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas de combustión para actividades hidrocarburíferas.

Cuadro N° 34 : Límites Máximos Permitidos para emisiones de gases en fuentes fijas de combustión (calderos, hornos y calentadores).

CONTAMINANTE	TIPO DE COMBUSTIBLE		
	GLP (GAS)	DIESEL	BUNKER FUEL OÍL
MATERIAL PARTICULADO (MP)	N/A	150	150
ÓXIDOS DE CARBONO (CO)	N/A	50	50
ÓXIDOS DE HIDRÓGENO (NO _x)	400	550, *700	550, *700
ÓXIDOS DE AZÚFRE (SO ₂)	30	1650	1650
HAPs			
COVs	5	10	10

Mg/Nm³: miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, es decir:(mil trece milibares de presión [1013 mbar]) en base seca y corregidos al 7 % de oxígeno. ***Instaladas y operando antes de enero del 2003.**

Fuente: Acuerdo Ministerial N°091 L.M.P, para emisiones de gases a la atmosfera.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

- **Factores que influyen en el rendimiento de la combustión.**

El rendimiento en la combustión puede variar según el diseño individual que tiene el horno, la carga del horno, el exceso de aire, la temperatura del gas de los gases de combustión y el mantenimiento que se le realice al horno.

Una pérdida de al menos 1% en el rendimiento de la combustión se debe posiblemente a un aumento del 2% en el exceso de aire o de un incremento en la temperatura de los gases de combustión.

La mayoría de los temas indicados anteriormente se encuentran en el contenido de este trabajo investigativo, el trabajo expuesto nace con el objetivo de sintetizar dichos contenidos, hacerlos entendibles y aportar en el control de emisiones de gases al ambiente en los hornos H2A y H2B de refinería Cautivo.

4.4.2 Ajustes operativos en el proceso de combustión.

Los ajustes operativos en el proceso de combustión van dirigidos expresamente a los quemadores y sus accesorios por ser ellos los responsables de generar el calor dentro del horno. La mala combustión ligada a problemas con los quemadores puede presentarse debido a fallos relacionados a:

- **Aire Insuficiente**

La insuficiencia de aire en los hornos de proceso es uno de los problemas de mayor importancia en el proceso de combustión. Su solución simplemente radica en regular dicha condición hasta su margen referencial óptimo de operación. Para poder contrarrestar esta problemática también se debe inspeccionar de manera general a todos los quemadores que el flujo de vapor sea el indicado, que la presión del aceite y del atomizador sea el correcto.

Se debe asegurar también que las entradas a los diferentes flujos no se encuentren obstruidas por materiales o agentes extraños y que todos los quemadores manejen suministros de combustibles y entradas de aire aproximadamente equivalentes.

- **Falta de presión de atomización.**

Los aceites combustibles de viscosidades bajas requieren presiones bajas de atomización, por consiguiente los combustibles con viscosidades altas requieren presiones elevadas para ser atomizados. Si existe un cambio en la viscosidad del combustible ya sea por un cambio repentino de combustible o por una variación de temperatura en el combustible se sugiere una revisión de la presión de atomización de acuerdo a la calidad del combustible.

- **Defecto por deficiencia del flujo de vapor de atomización.**

Se debe verificar que el suministro de vapor esté operando con normalidad, verificando que el flujo de vapor sea el adecuado. De presentarse deficiencias por vapor atomizante se verificara que no existan suciedades u otras partículas que puedan impedir el flujo correcto de vapor hacia la bayoneta del quemador, para estos casos se recomienda hacer un mantenimiento correctivo del quemador especialmente de la su sistema de atomización.

- **Vapor húmedo.**

El vapor de atomización debe encontrarse en estado limpio y seco con una temperatura sugerida de entre 10 a 20 °F que permita una garantía óptima de operación.

- **Combustible frío (aceite pesado).**

Los quemadores empleados en los hornos H2A y H2B operan con un combustible pesado (fuel oil N#4) con una elevada viscosidad. El fuel oil debe ser calentado a una temperatura adecuada para que el proceso de atomización sea el adecuado. Cualquier disminución en la temperatura del combustible aumentara su viscosidad.

- **Defectos en la punta del atomizador.**

La calidad de atomización del fuel oil en los quemadores mucho depende de las condiciones físicas de las boquillas atomizadoras y de todo el conjunto atomizador, es por esta razón que el número de orificios dispuestos en las boquillas de atomización, sus canales, sellos y todo lo demás debe encontrarse en perfecto estado, aunque usualmente estos accesorios son objeto de desgaste en su interior.

Cuando existe un deficiente proceso de combustión se pueden alojar partículas de

carbono, silicio y demás sedimentos generando una acción erosiva en la superficie de estas piezas metálicas, otros de los compuestos altamente erosivos son el azufre, compuestos de cloruro y en algunos casos los ácidos anhídridos que afectan severamente al equipo a partir de la corrosión causando severos daños principalmente a la boquilla atomizadora.

Algunos de los inconvenientes encontrados en la bayoneta atomizadora de combustible fueron:

- 1.- se amplían los orificios por donde circula el aceite-combustible.
- 2.- se amplían los orificios atomizadores produciéndose una reducción en la estabilización del fuego.
- 3.- deterioro en la cámara de dispersión, el orificio de salida se desgasta producto de la formación de coke y sedimentos.

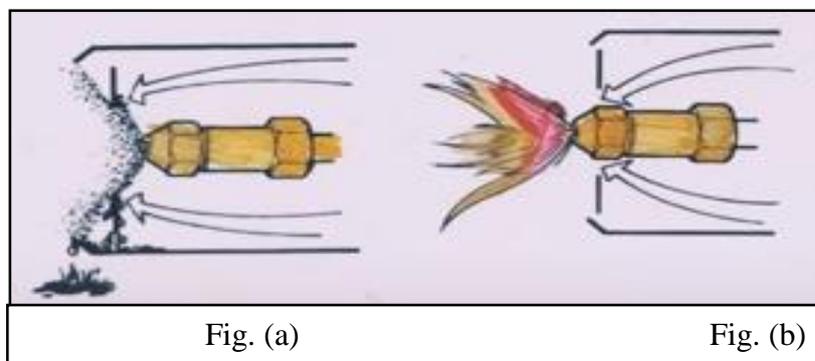
- **Localización correcta de la boquilla de atomización con respecto al anillo refractario.**

En la imagen N°5 (a) se puede notar que la posición de la boquilla atomizadora esta sobre el tabique del anillo refractario situación que reduciría la estabilización d la llama causando un aumento en la amplitud de las mismas.

En esta posición también se acumulara coke y se derramara combustible en la boquilla del quemador.

En la imagen N°5 (b) se puede observar que la boquilla de atomización se encuentra en una posición demasiado baja con respecto al anillo refractario, esta posición aumentara la amplitud en la llama afectando los bordes del anillo refractario golpeándolos. Se producirá además la acumulación de coque en los bordes del anillo refractario y es común un derramamiento de combustible.

Imagen N° 5 Incorrecta posición entre el atomizador y el anillo refractario.

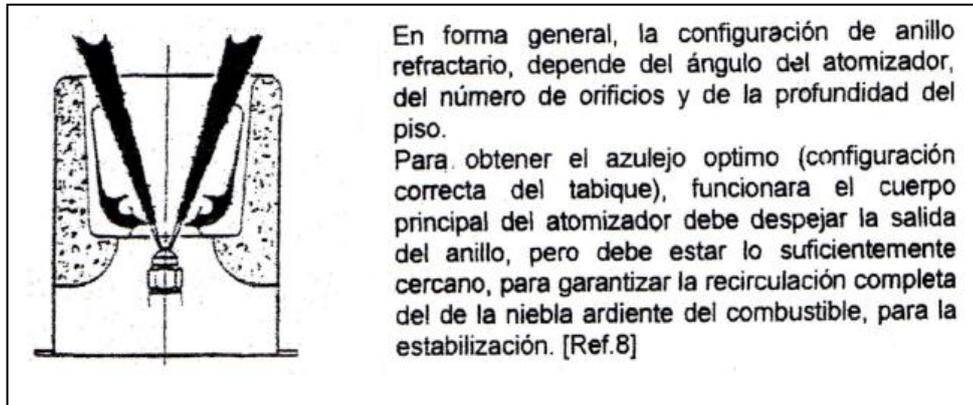


Fuente: Videos sobre boquillas del quemador Javier Ponce.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Para una localización apropiada de la boquilla con respecto al anillo refractario debemos configurar correctamente el ángulo del atomizador, el número de orificios que tiene la boquilla atomizadora y la profundidad del piso.

Para obtener una configuración correcta del tabique, el cuerpo del atomizador debe encontrarse un tanto despejado con respecto al anillo refractario pero sin alejarlo demasiado del mismo, esto garantiza una circulación óptima de la llama generando mayor estabilidad.

Imagen N° 6 correcta posición entre el atomizador y el anillo refractario.



Fuente: fuente secundaria tesis Ing. Eduardo Cazar.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

4.4.3 Optimización del exceso de aire en el proceso de combustión.

El porcentaje en el suministro de aire en el proceso de combustión es una de las principales variables que se deben considerar para el buen manejo de emisiones de gases, es por esta razón que de manera generalizada cito ciertas consideraciones al respecto:

El porcentaje de oxígeno en los hornos debe ser una medida establecida de entre el 3% y el 5%. (Escobar, s.f.)

Cuando el porcentaje de oxígeno supera el 5% evidenciamos demasiado aire en la entrada del quemador señal de mala combustión. Por otra parte esto se puede deber a que el horno se encuentre con fugas.

Cuando existe un nivel porcentual de oxígeno por debajo del 3%, con seguridad nos encontraremos con una combustión incompleta lo que incidiría en la elevación de los niveles de emisiones de gases al ambiente.

En los hornos H2A y H2B de Refinería Cautivo se emplean suministros de aire un tanto exagerados, en los monitoreos aleatorios descritos en el capítulo N°3 se encuentran los niveles de oxígeno que se utilizaron en esos años; como una medida referencial y a manera de promedio durante el año 2013 para el horno H2A se empleó un porcentaje de oxígeno de 7,55% cifra superior a la referencial, lo cual sugiere emplear los correctivos directos para este caso. En el año 2014 el porcentaje de oxígeno promedio tuvo un valor de 6,56 y para el año 2015 presentó un valor de 10,03 muy elevado considerando el valor de referencia.

Para el horno H2B los porcentajes de oxígeno también fueron elevados registrando valores promedios para el año 2013 de 6,21%, para el año 2014 de 6,14% y para el año 2015 un valor de 9,71%.

Como conclusión considero que se deben disminuir estos valores porcentuales al margen referencial establecido para poder minimizar el nivel de emisión de gases en estas dos fuentes fijas de combustión y poder aumentar la eficiencia de estos equipos ya que el calor generado por la combustión no se perdería en calentar tanto aire.

Mantener un grado óptimo de operación en el porcentaje de oxígeno empleado en el proceso de combustión contribuye significativamente en la generación de gases.

Los NO_x u óxidos de nitrógeno se forman principalmente por elevadas temperaturas y elevados excesos de aire.

Optimizar la combustión implica mantener excesos de aire bajos, esto representaría no superar el 20% porcentual establecido teóricamente.

4.4.4 Verificación constante del estado de la llama.

Para hacer posible esta condición mucho se necesita de la parte operativa encargada de la operación de los hornos, la verificación constante en la calidad de la llama garantiza en gran medida un proceso de combustión óptimo.

En la gráfica N°8 y N°9 del capítulo III se muestran los distintos tipos de llamas que se pueden generar en una cámara de combustión, en este apartado se menciona además los posibles inconvenientes que estaría acarreado la formación del tipo de llama existente.

Como aporte al problema vinculado a una mala calidad en la llama se pretende realizar unos simples cuestionamientos y resolverlos a fin de acceder un

conocimiento fácil de comprender cuando se evidencian problemas relativos a la forma y calidad de la llama.

- **¿Por qué se produce la llama de forma oblicua?**

Una forma oblicua o inclinada en la llama puede ser debido a un desgaste en la boquilla de atomización o bien pueden alojarse suciedades en su estructura que impiden una atomización correcta y fluida del combustible. Cuando observamos esta forma en la llama debemos revisar si existen deterioros en los orificios de pulverización o coking en la punta de la boquilla.

Otra consideración no menos importante es la instalación del inyector atomizador con respecto al anillo refractario, si este se encuentra descentrado producirá una llama con estas características.

Debemos asegurar que el suministro de aire a más de ser adecuado mantenga asimetría en la proporción de aire necesaria para la combustión.

- **¿Por qué se producen las llamas con chispas (bengalas)?**

Estas llamas se producen por una mala pulverización de las gotas del fuel Oil, el tamaño de las gotas no es el adecuado, en estos casos existen gotas pulverizadas tan gruesas que se craquean en la llama antes de humedecerse, al craquearse se

forman unas pequeñas moléculas de carbono produciéndose de esta manera las bengalas o chispas en las llamas.

Las gotas tan gruesas de fuel Oil no se queman todas y así pueden depositarse una capa de hollín y de coke en la superficies del cuerpo del horno y del quemador, cuando esto sucede se produce un ensuciamiento en la cámara de combustión que disminuye la transmisión de calor generando una mala rentabilidad en los equipos y un innecesario exceso en el consumo de combustible.

La condición de chispas en las llamas también puede ser asintomática de un elevado exceso de aire.

- **¿Si hay hollín en la llama?**

Cuando existe demasiado hollín en la llama se puede afirmar que existe un déficit en la entrada de aire, el objetivo de un proceso de combustión es buscar una correcta atomización del combustible con una correcta mezcla de aire, para solucionar este percance podemos regular la boquilla de atomización así como también aportar un correcto volumen de aire al quemador.

- **¿Por qué se producen llamas demasiado largas?**

Evidenciar llamas demasiado largas significará que la combustión esté tardando mucho en producirse.

Se puede deber a un ángulo de pulverización demasiado pequeño o bien que estemos suministrando un combustible muy frío que por lo general tarda mucho en quemarse.

La formación de este tipo de llama obedece también a un incorrecto posicionamiento del cabezal de combustión.

4.5 Provisión de aditivo comercial (químico) como alternativa de mejora en la combustión.

Como un medio eficaz que nos permita mitigar los niveles de emisiones de gases a la atmósfera se propone la Aditivación de un químico al combustible (fuel Oil) empleado en los hornos de refinería Cautivo.

El nombre de este producto es Qualco R-4 y es un aditivo especialmente producido para trabajar con fuel oil pesado, en su formulación se encuentran una serie de compuestos que actúan durante todo el proceso de combustión contribuyendo a catalizar el combustible desde su almacenamiento hasta su salida como gases de combustión.

4.5.1 Ventajas de la utilización de un químico comercial.

Este producto está especialmente diseñado para trabajar con combustibles (fuel oil) con porcentajes de azufre que se encuentren alrededor del 2% y cuyas viscosidades sean de alrededor del 5000 segundos Redwood.

- Las ventajas que nos brindaría aditivar con el producto Qualco R-4 se encuentran:
- Aumento en la productividad de los equipos y la disminución en el consumo de combustible.
- Nos permite reducir costos en mantenimientos, con la utilización de este químico reduciríamos el margen de ensuciamiento en los equipos, evitaremos la producción de incrustaciones en los tubos y demás partes de los hornos.
- Minimiza los niveles de emisiones de gases al ambiente al mejorar el proceso de combustión.

4.5.2 Características del químico a utilizarse.

Entre sus principales características y beneficios de este componente aditivo catalizador se mencionan.

- Es un solvente de lodos, gomas y resinas.
- Es un homogeneizador.
- Inhibidor de corrosión.
- Es un catalizador de la reacción de combustión.
- Es un desincrustante.
- Es un inhibidor de reacciones que producen daño en los equipos y alteran el medio ambiente.

La proporción óptima y sugerida técnicamente se redacta en la siguiente información.

Un barril de Qualco R-4 aditivará a 4000 barriles de combustible. Relación de aditivación sugerida (1:4000).

El aditivo puede ser aditivado de forma manual o utilizando los mecanismos de inyección a partir de bombas dosificadoras (proceso automatizado).

Nota: la relación de aditivación es solamente sugerida la misma que puede estar sujeta a variaciones en función de las condiciones del proceso y mejoras en la combustión.

4.6 Ejecución de la propuesta.

4.6.1 Ejecución del mantenimiento

A continuación se desarrolla el proceso de mantenimiento de un quemador de gasoil que utiliza vapor como fluido auxiliar, se detalla paso a paso el procedimiento a seguir para desmontar el quemador de gasoil y proceder a darle el mantenimiento respectivo a cada una de sus partes. La remoción de los sedimentos y demás partículas se lo realiza utilizando Diesel N°1 procesado en la misma instalación.

1.- se realiza el chequeo respectivo mediante la observación directa del quemador defectuoso, por lo regular suele darse por un derrame de combustible en las paredes del quemador o por una incorrecta atomización de la mezcla aire-combustible con vapor asistido originando llamas inestables y de baja calidad.

En el imagen N°7 se observa derrame de Gasoil por las paredes de la campana del quemador.

Imagen N° 7 Verificación del estado defectuoso de un quemador de gasoil.



Fuente: Fuente directa de investigación.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

2.- Se bloquea el suministro de entrada de combustible y se introduce vapor en el inyector de atomización del gasóleo.

3.- Se empieza el desmontaje de la cubierta móvil desajustando los pernos soporte, de esta manera lograremos separar la cubierta para extraer de ella el inyector de gasóleo. Las partes fijas permanecerán en la guía del inyector.

Imagen N° 8 Desmontaje de la cubierta móvil.



Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

4.- Culminado el procedimiento anterior procedemos a desmontar la campana o caja del quemador desajustando los pernos soportes que la contienen. Ver imagen N°9

Imagen N° 9 Desmontaje de la campana o caja del quemador principal.



Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

5.- Una vez concluido el proceso de desmontaje de la campana del quemador, se verifica que el estado del anillo refractario se encuentre en buenas condiciones, se limpian las superficies de estas estructuras metálicas ya que en su interior suele alojarse suciedades y demás sedimentos. El derrame de combustible es muy común encontrarlo por los canalillos de estos dispositivos. Ver imagen N°10.

Imagen N° 10 Derrame de combustible por los surcos de la campana.



Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

6.- Cuando se hayan desmontado la cubierta móvil que contiene el inyector, la campana del quemador y sus accesorios, se procede a tapar el agujero del quemador defectuoso con un disco ciego impidiendo la salida de calor y de gases que podrían generar alguna explosión como lo podemos observar en la Imagen N°11

Imagen N° 11 Partes del quemador y sellado del orificio de donde fue desmontado el quemador



Fuente: Fuente directa de investigación
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

7.- En la imagen N°12 se puede observar la extracción del inyector de gasóleo separándolo de su receptor o cuerpo del inyector y de su cubierta móvil.

Imagen N° 12 Extracción del inyector de su receptor y de su cubierta móvil.

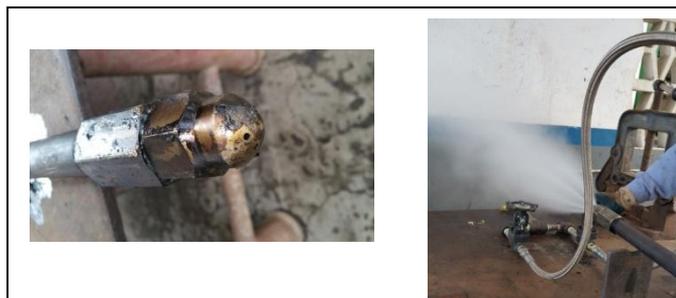


Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

8.- A continuación se efectúa un trabajo de inspección revisando las partes desmontadas, principalmente se inspecciona el inyector de gasóleo verificando que la boquilla atomizadora se encuentre en buen estado libre de obturaciones, se realiza la limpieza al inyector de combustible eliminando los sedimentos o sustancias que se encuentren alojadas en el interior de las tuberías de vapor y de gasóleo.

Realizada la limpieza procedemos hacer las pruebas de atomización con la ayuda de vapor de agua, estas pruebas nos garantizará que las tuberías de vapor y de gasóleo estén libres de obturaciones como se puede apreciar en las ilustraciones.

Imagen N° 13 Limpieza y pruebas de atomización del inyector de gasóleo.



Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

9.- Concluido el proceso de limpieza del inyector y de las demás partes del quemador se efectúa una última inspección chequeando el inyector de gasóleo verificando la limpieza de sus cañería, que las paredes del anillo refractario se encuentren en buenas condiciones y debidamente alineadas, hecho este trabajo empezamos a retirar del disco ciego del quemador ausente y se procede al ensamblaje de todas las piezas y componentes del quemador en el orden en el que fueron desmontados. Para el montaje del inyector se debe poner mucha atención en su alineación con respecto al bloque del refractario ubicado en el piso del quemador. Ver imagen 14.

Imagen N° 14 Montaje del quemador y del inyector de gasóleo.



Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

Montado el quemador y sus demás componentes se realizan las conexiones de los suministros de entrada de vapor, gasóleo, aire entre otras. Ver imagen N°15.

Imagen N° 15 Conexión de las entradas de aire, vapor y gasóleo.



Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

10.- Concluido el proceso anterior verificamos que todo esté conectado, procedemos al encendido del quemador ayudados por una llama piloto (antorcha), a continuación regulamos la calidad de la llama regulando las entradas de aire y de gasóleo junto con el vapor. Ver imagen N°16.

Imagen N° 16 Encendido del quemador.



Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

4.6.2 Ejecución de la Capacitación.

El presente programa de capacitación está dirigido al personal operativo encargado de la operación de los hornos H2A y H2B de Refinería Cautivo.

Cuadro N°35: Programa de capacitación

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN	
Nombre del curso:	Mejoras en el proceso de combustión.
Objetivo:	Culminado el proceso de capacitación el participante podrá sugerir y plantear soluciones a los diversos inconvenientes encontrados en el proceso de combustión dirigido al tema medioambiental
Duración:	20 horas. Durante 4 días jornada de 5 horas por día.
N° de participantes:	
Dirigido a:	Técnicos de operaciones de Refinería Cautivo
Temas	Duración
1.- Asistencia técnica al proceso de combustión en hornos industriales 1.1 ¿Qué es un horno industrial? 1.2 Principales características de los hornos verticales 1.3 ¿Qué es combustión? 1.4 ¿La combustión en hornos de refinación de crudo? 1.5 Reacciones básicas que se generan en el proceso de combustión? 1.6 ¿Cuáles son los Límites Máximos Permisibles para emisiones de gases al ambiente desde fuentes fijas de combustión? 1.7 Factores que influyen en el rendimiento de la combustión.	5 horas
2.- Ajustes operativos en el proceso de combustión. 2.1 Insuficiencia de aire. 2.2 Insuficiencia en la presión de atomización 2.3 Defecto por deficiencia del flujo de vapor de atomización. 2.4 Vapor húmedo. 2.5 Combustible frío. 2.6 Defectos en la punta del atomizador. 2.7 Correcta localización de la boquilla del inyector respecto al anillo refractario llamado también bloque envolvente.	5 horas

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN	
<p>3.- Optimización del exceso de aire en el proceso de combustión.</p> <p>3.1 cuál es el porcentaje óptimo de Oxígeno en el horno.</p> <p>3.2 ¿Qué sucede cuando el porcentaje de Oxígeno supera el 5%?</p> <p>3.3 ¿Qué sucede cuando el porcentaje de Oxígeno es menor al 3%?</p> <p>3.4 si utilizamos un porcentaje de Oxígeno adecuado ¿Qué beneficios adquiere la llama?</p> <p>3.5 ¿Cuánto es el porcentaje de exceso de aire promedio que debe coexistir a un volumen determinado de combustible?</p>	5 horas
<p>4.- Verificación constante del estado de la llama.</p> <p>4.1 ¿Por qué se genera una llama de forma oblicua?</p> <p>4.2 ¿Por qué se genera una llama con chispas?</p> <p>4.3 ¿Qué sucede si hay hollín en la llama?</p> <p>4.4 ¿Por qué se generan llamas demasiado largas?</p>	5 horas

Fuente: Fuente directa de investigación.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

4.6.3 Ejecución de la provisión del aditivo comercial como alternativa de mejora en el proceso de combustión.

El aditivo se lo podrá dosificar al combustible de dos maneras posibles: manual y automática.

1.- El proceso se lo podrá realizar de manera manual adicionando el químico directamente al tanque de almacenamiento de combustible (fuel oil) de acuerdo a la proporción establecida previamente.

2.- El proceso automatizado corresponde a aditivar el químico a través de un sistema de tuberías por medio de bombas dosificadoras de químico.

La dosificación del químico (aditivo R-4) responde a una sugerencia de uso con una proporción de 1:4000, es decir: un barril de aditivo aditivará a 4000 barriles de fuel oíl.

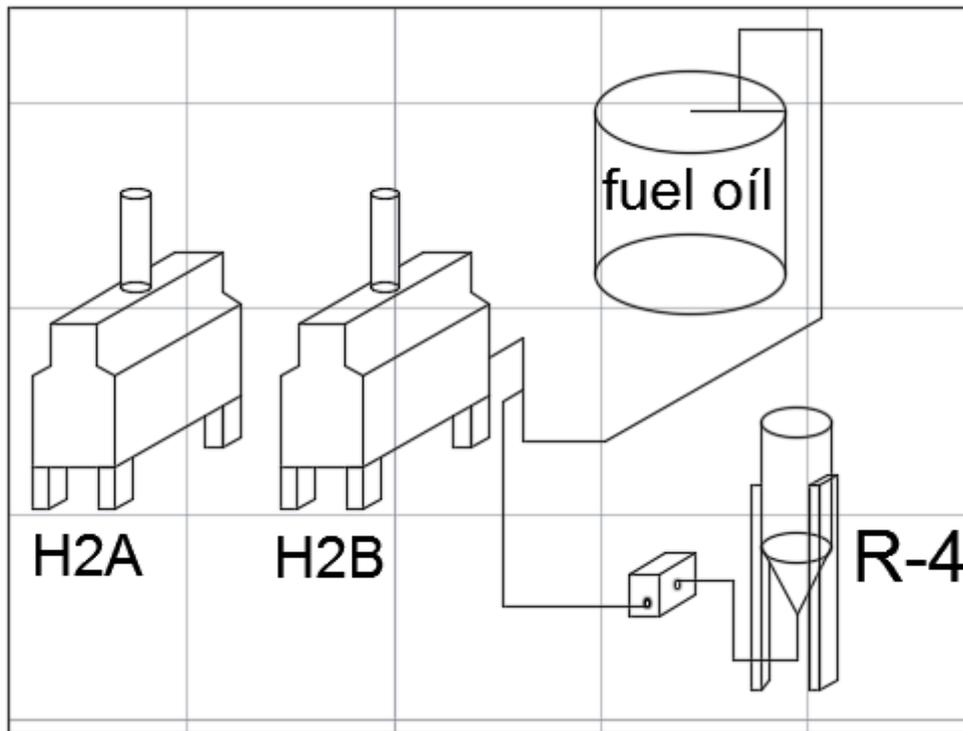
Los hornos de Refinería cautivo H2A y H2B mantienen un consumo base de combustible (fuel oíl) de 2200 barriles por mes (volumen de combustible utilizado en ambos hornos). Este correspondería a un consumo anual de 26400 barriles de combustible por año, ahora bien; según la proporción de aditivación sugerida necesitaremos un volumen anual de aditivo R-4 de 6,6 barriles.

Para lograr suministrar el aditivo utilizaremos el proceso automatizado que consiste en la inyección del químico hacia las líneas que llevan la carga de combustible a los hornos, este procedimiento utiliza un tanque de almacenamiento que contendrá el químico, un soporte para el tanque de almacenamiento y bomba dosificadora de químico como componentes principales de nuestro sistema.

El control de la dosificación diaria del aditivo se fundamentara a partir del control diario en nivel de los tanques de almacenamiento del aditivo, proporción dependerá del consumo de combustible diario que se esté utilizando en los hornos.

A continuación observamos un diagrama del proceso con la aditivación del químico.

Gráfico N° 18 diagrama de la aditivación del químico al tanque de combustible.



Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

4.7 Evaluaciones de mejora.

Las tres propuestas planteadas en el presente trabajo investigativo contribuyen de manera significativa al proceso de combustión vinculado a la parte medioambiental disminuyendo considerablemente el nivel de emisividad de gases de combustión en los hornos H2A y H2B hacia valores relativamente controlados.

Para determinar una valoración favorable a esta propuesta técnica nos regimos a

un proceso de simulación que consistirá en asumir la propuesta basada en la capacitación y el mantenimiento de quemadores como un hecho que contribuirá directamente en el mejoramiento de la combustión.

La contribución al problema por parte de la dosificación del aditivo mucho dependerá de los análisis de gases al ambiente que se hagan posterior a la implementación de este químico.

4.7.1 Verificación de la disminución en los niveles de emisiones de gases al ambiente.

A continuación presentamos un monitoreo no certificado hecho con base en simulación que contiene en primera instancia los monitoreos realizados en los hornos H2A y H2B de Refinería Cautivo durante un periodo normal e trabajo.

Cuadro N° 36 : Monitoreo de emisiones de gases al ambiente en los hornos H2A y H2B (sin la implementación de la propuesta)

PARÁMETRO		CAUTIVO H2A			CAUTIVO H2B		
		M1	M2	M3	M1	M2	M3
%	CO2	12,5	12,62	12,39	12,49	12,73	12,6
%	O2	6,26	6,12	6,4	5,27	4,98	5,15
ppm	CO	45	53	49	48	39	47
ppm	SO2	678,5	654,5	598,8	675	654	680
ppm	NO	202	204	205	247	252	253
ppm	NO2	0	0	0	0	0	0
°C	T gases	439,2	439,2	426,6	458,8	455,2	457,2
°C	T ambiente	22,6	23,1	20,5	22,8	22	22,1
%	Exceso de aire	31,30	30,20	32,50	31,40	29,10	30,40

Fuente: Simulación de monitoreo de emisiones de gases en H2A y H2B.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

En el cuadro N° 36 se muestran los monitoreos de emisiones de gases en los dos hornos de refinería cautivo tomando tres muestras por cada horno, en el presente recuadro se observan valores de oxígeno considerablemente altos, lo que implica un mal manejo en el proceso de combustión y generación de gases, observamos además los valores en partes por millón analizados por el equipo testo 3XL que posteriormente serán corregidos a unidades norma.

Cuadro N° 37: Corrección a unidades norma de los monitoreos realizados en H2A y H2B. (Sin la implementación de la propuesta)

FECHA DE MUESTREO		CAUTIVO A				CAUTIVO B			
mg C/m3 GS									
CO	50	53,48	62,40	58,79	NC	53,46	42,65	51,95	C
SO2	1650	1844,27	1762,29	1643,24	NC	1719,28	1635,63	1718,90	NC
NOx	700	394,24	394,40	403,93	C	451,73	452,53	459,20	C

Fuente: Simulación de monitoreo de emisiones de gases en H2A y H2B.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

En el cuadro N°37 se muestran los resultados convertidos a sus unidades en Mg/m3 y se puede observar que existen valores para el SO2 muy por encima de los límites máximos permitidos, situación similar la observamos en el comportamiento para el CO.

A continuación presentamos el análisis de gases de combustión asumiendo que se han implementado los correctivos en cuanto a mantenimiento y capacitación, así como también la implementación de la inyección del aditivo al combustible empleado en los hornos.

Cuadro N° 38: Monitoreo de emisiones de gases al ambiente en los hornos H2A y H2B (con la implementación de la propuesta)

PARÁMETRO		CAUTIVO H2A			CAUTIVO H2B		
		M1	M2	M3	M1	M2	M3
%	CO2	12,5	12,62	12,39	12,49	12,73	12,6
%	O2	3,26	4,12	3,4	3,27	3,98	4,15
ppm	CO	45	53	49	48	39	47
ppm	SO2	678,5	654,5	598,8	675	654	680
ppm	NO	202	204	205	247	252	253
ppm	NO2	0	0	0	0	0	0
°C	T gases	439,2	439,2	426,6	458,8	455,2	457,2
°C	T ambiente	22,6	23,1	20,5	22,8	22	22,1
%	Exceso de aire	31,30	30,20	32,50	31,40	29,10	30,40

Fuente: Simulación de monitoreo de emisiones de gases en H2A y H2B.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

En el cuadro N°38 a manera de simulación se corrigió el volumen porcentual de oxígeno a valores referenciales de entre (3-5%), valores coherentes que garantizan un correcto manejo en la combustión, manejar estos valores en oxígeno obedecen a una correcta disposición en la operación de los quemadores gracias al mantenimiento brindado en los mismos. El personal en esta instancia ya está capacitado en los temas vinculados al proceso de combustión, conocen el proceso y además verifican el grado de contaminación que existe.

Cuadro N° 39 : Corrección a unidades norma de los monitoreos realizados en H2A y H2B. (Con la implementación de la propuesta)

FECHA DE MUESTREO		CAUTIVO A				CAUTIVO B			
mg C/m3 GS									
CO	50	44,44	45,00	48,77	C	47,43	40,14	48,86	C
SO2	1650	1532,38	1553,49	1363,14	C	1525,34	1539,53	1616,89	C
NOx	700	327,57	347,67	335,08	C	400,77	425,94	431,95	C

Fuente: Simulación de monitoreo de emisiones de gases en H2A y H2B.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

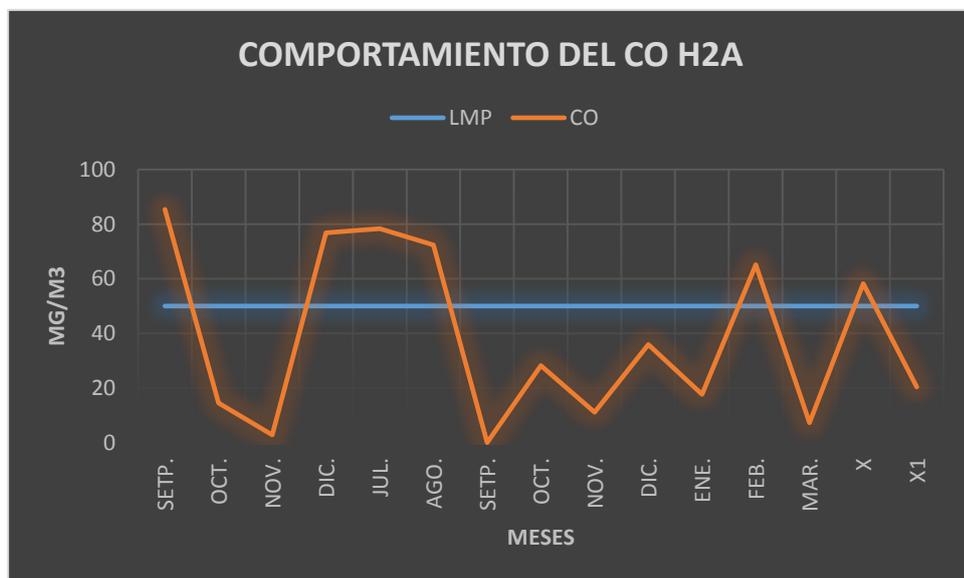
En el cuadro N°39 y a manera de simulación presento los valores corregidos según la normativa ambiental en vigencia, como podemos observar los valores se encuentran controlados y dentro de los límites máximos permisibles según lo establece la norma, esto se produjo gracias al aporte en el mantenimiento de los equipos destinados a producir la combustión, la comunicación y el trabajo conjunto con los operadores encargados de operar los hornos y además con la contribución de la Aditivación del químico R-4 que mejoro las condiciones en el proceso de combustión en sus etapas de pre-combustión, combustión y post combustión.

4.7.2 Representación estadística de los datos y resultados obtenidos, implementando los correctivos detallados en la propuesta.

Considerando los monitoreos de emisiones de gases al ambiente utilizados en el presente estudio durante el periodo 2013-2105 y que fueron mostrados en el capítulo III se presenta una representación estadística del comportamiento de los gases de combustión respecto a sus límites máximos permisibles durante este periodo, por otro lado se puntualiza a manera de simulación el comportamiento de los gases de combustión de acuerdo a los resultados de los monitoreos mostrados en los recuadros 37 y 39; estas dos tendencias estarán representadas en las gráficas de control. Los monitoreos realizados antes de que se realice los correctivos o que se aplique la propuesta estarán representados con la letra X y la letra X1

representará la tendencia una vez se hayan tomado los correctivos o se haya implementado la propuesta técnica del presente estudio.

Gráfico N° 19 Gráfica de control del comportamiento del CO en el horno H2A.



Fuente: Simulación de monitoreo de emisiones de gases en H2A.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

En el gráfico N°19 se muestra el comportamiento del gas monóxido de carbono (CO) para el horno H2A durante los meses aleatoriamente escogidos para el presente estudio y además se detallan los dos últimos monitoreos a manera de simulación que destacan el accionar de la propuesta ante la problemática.

El objetivo de la optimización con respecto a este gas será el de mantenerlo bajo lo establecido en la normativa ambiental cuyo valor referencial se sujeta en el

orden de 50 Mg/m³ gs como podemos observar en la gráfica existen picos considerables que deben ser controlados.

La formación de este gas mucho dependerá del porcentaje de oxígeno empleado en los hornos, para disminuir el nivel de emisión de CO se debe emplear correctamente la relación aire combustible, con la implementación de la propuesta se disminuirá paulatinamente el excesivo aire empleado en el horno H2A y se reducirá el nivel de emisividad producto de este gas.

Gráfico N°20 gráfica de control del comportamiento del SO₂ en el horno H2A.



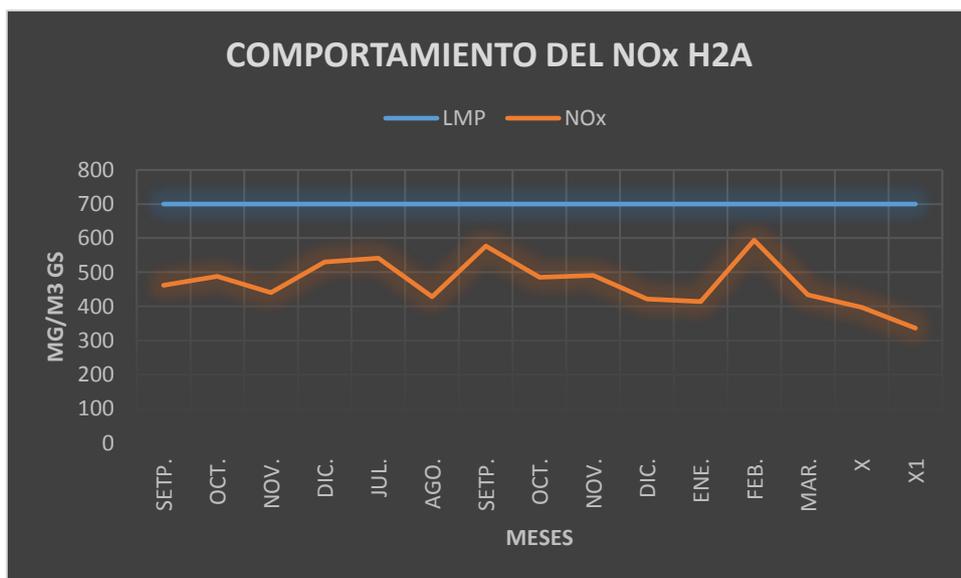
Fuente: Simulación de monitoreo de emisiones de gases en H2A.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

El gráfico N°20 nos muestra el comportamiento del dióxido de azufre SO₂ en el horno H2A durante los meses escogidos aleatoriamente para el presente estudio y se incluye además los resultados a manera de simulación de un monitoreo realizado una vez implementada la propuesta, esta tendencia está representada con la letra X1.

Se puede apreciar un aumento en el nivel de emisión de SO₂ durante los meses de Febrero y Marzo del 2015 sin embargo existe una tendencia preocupante en los meses de Octubre del 2013 y Julio y Septiembre del 2014, como bien lo manifestamos la producción de los SO₂ mucho depende del contenido de azufre que tenga el combustible sin embargo una combustión más eficiente tenderá a convertir el azufre en cantidades moderadas de SO₂.

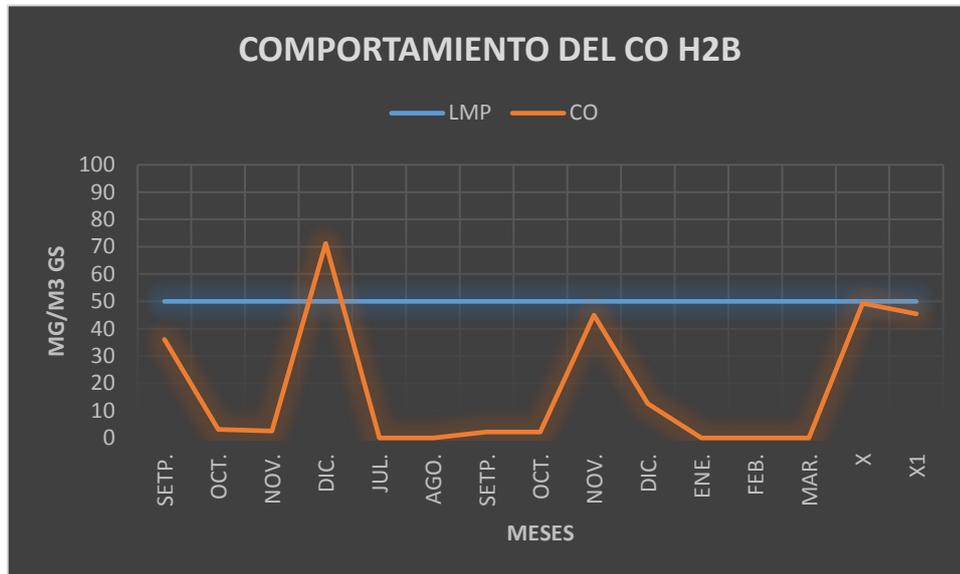
Gráfico N° 21 Gráfica de control del comportamiento del NO_x en el horno H2A.



Fuente: Simulación de monitoreo de emisiones de gases en H2A.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

En el gráfico N° 21 nos muestra el comportamiento del óxido de nitrógeno NO_x para el horno H2A con respecto a su límite máximo de referencia con un valor de 700 mg/m³ como podemos observar los valores no superan el límite máximo permisible, existen picos relativamente altos pero no sugieren preocupación alguna.

Gráfico N° 22 Gráfica de control del comportamiento del CO en el horno H2B.



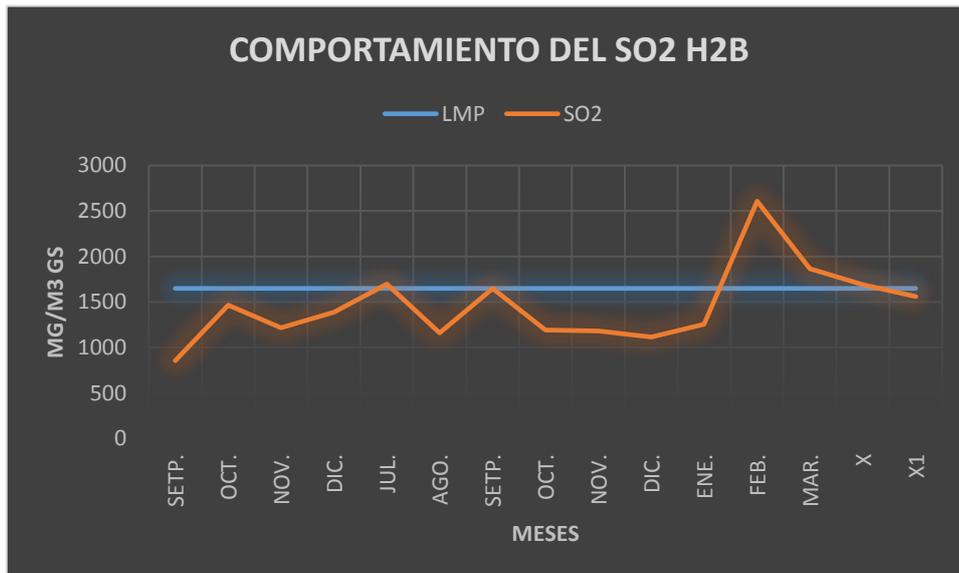
Fuente: Simulación de monitoreo de emisiones de gases en H2B.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

En el gráfico N°22 se muestra el comportamiento del monóxido de carbono (CO) para el horno H2B durante los meses escogidos aleatoriamente para el presente estudio, como podemos observar existen picos importantes en los meses de Septiembre y Diciembre del año 2013, además se evidencia un valor preocupante en el mes de Noviembre del año 2014, estos valores son asintomáticos de un exceso en el oxígeno en la cámara de combustión sin embargo observamos que también existen valores bastante bajos para este gas lo que hace entrever que durante estos meses no hubo un correcto monitoreo de emisiones al ambiente, obtener datos puntualizados en 0 haría notar una posible falla en el equipo analizador de gases.

Por lo general los valores en partes por millón del CO medido fluctuarán en valores de entre 20 a 40 ppm con un buen manejo de combustión implementado.

Con la propuesta implementada se observa una disminución considerable de este gas, la tendencia está representada con la letra X1 en la gráfica.

Gráfico N° 23 Gráfica de control del comportamiento del SO2 en el horno H2B.



Fuente: Simulación de monitoreo de emisiones de gases en H2B.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

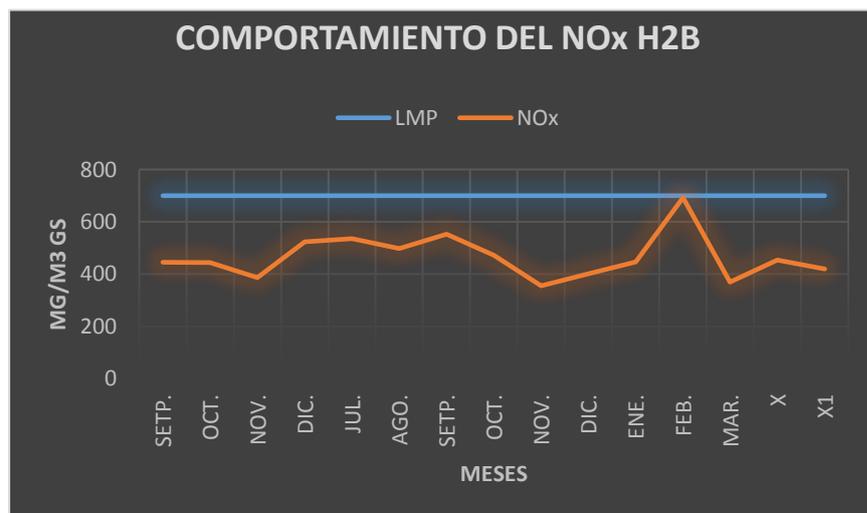
En la gráfica N° 23 se muestra el comportamiento del dióxido de azufre para el horno H2B como podemos observar existe un comportamiento similar a lo mostrado en el horno H2A, esta razón obedece a que se está quemando el mismo combustible con las mismas propiedades, la variabilidad en la generación de los dióxidos de azufre en ambos hornos es mínima en términos de comparación.

Se observa un valor considerablemente alto en el mes de febrero del año 2015 que continúa con una tendencia a la baja en el mes de marzo pero que no supone el control definitivo ya que continúa este valor fuera del rango permisible.

Con el tratamiento en el combustible y demás correctivos indicados en la propuesta se logra controlar esta condición, cabe mencionar que el proceso de implementación de la propuesta está sujeto a un trabajo de simulación y su representación la podemos observar con la letra X1.

Mantener valores altos respecto a este gas es asintomático de utilizar un combustible con una concentración de alrededor del 1,4% como efectivamente se lo pudo comprobar mediante el análisis realizado en Octubre del 2015.

Gráfico N° 24 Gráfica de control del comportamiento del NOx en el horno H2B.



Fuente: Simulación de monitoreo de emisiones de gases en H2B.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

El gráfico N° 24 nos muestra el comportamiento del óxido de nitrógeno NOx para el horno H2B con respecto a su límite máximo de referencia con un valor de 700 mg/m³ como podemos observar los valores no superan el límite máximo permisible, existen un pico relativamente alto que se acerca en gran medida al límite máximo establecido pero que en el mes posterior fue controlado.

Con la implementación de nuestra propuesta logramos afianzar este comportamiento manteniendo al NOx controlado, la generación de este gas obedece a una elevada temperatura de gases y a mantener excesos de aire altos, al generarse una mejor afinidad en el proceso de combustión objeto de este estudio.

CAPÍTULO V

ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA PROPUESTA.

5.1 Inversiones de mejoras y prevención.

Para determinar las soluciones de mejoras y prevención en fuentes fijas de combustión de Refinería Cautivo es necesario identificar rubros que implican una inversión Inicial en Activos; y el respectivo Financiamiento para los costos y gastos inmersos en el desarrollo de la propuesta del tema.

5.2 Inversión en activos.

Para poner en marcha las respectivas mejoras se considera la inversión de Activos los cuales se detallan en la cuadro N° 40

Cuadro N° 40 Inversión en Activos

Inversión Activos			
Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Bomba dosificadora de aditivo	1	\$ 500,00	\$ 500,00
Analizador de Gases Testo 3XL	1	\$ 18.000,00	\$ 18.000,00
Soporte de tanques	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Tanques de Aditivos	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Accesorios para Tuberías	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Netbook Lenovo	2	\$ 500,00	\$ 1.000,00
Total Activos			\$ 19.700,00

Fuente: Fuente Directa de Información
Elaborado por: Jorge I. Perero de la Cruz

5.3 Costos y gastos de la propuesta.

Para cumplir con las actividades programadas para la mejora en funcionamiento de los Hornos y prevención en la contaminación de los niveles de emisiones se requiere incurrir en varios gastos sean estos de materiales, movilización, viáticos y sueldos de personal que se identificaron para llevar a cabo el desarrollo de la propuesta. Ver cuadro 41.

Cuadro N° 41 COSTOS OPERACIONALES

COSTOS Y GASTOS			
Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
MATERIALES			\$ 1.822,00
Químico R-4	15	\$ 62,00	\$ 930,00
Casco certificado con barbuquejo	4	\$ 20,00	\$ 80,00
Mascarilla con filtros certificada	4	\$ 25,00	\$ 100,00
Calzado de seguridad punta de acero	4	\$ 80,00	\$ 320,00
Arnés de seguridad con Línea de vida	4	\$ 75,00	\$ 300,00
Guantes para temperatura	4	\$ 8,00	\$ 32,00
Tapones auditivos	4	\$ 15,00	\$ 60,00
PERSONAL			\$ 20.400,00
Técnico Residente	1	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00
Ingeniero Supervisor	1	\$ 4.800,00	\$ 4.800,00
Operador de Bombas	1	\$ 4.800,00	\$ 4.800,00
Monitoreador	1	\$ 4.800,00	\$ 4.800,00
TRANSPORTE			
Traslado del Químico	1	\$ 600,00	\$ 600,00
TOTAL COSTO Y GASTOS			\$ 22.822,00

Fuente: fuente directa de información

Elaborado por: Jorge I. Perero de la Cruz

Plan de Financiamiento

Según los datos detallados anteriormente la inversión en activos, el valor de los costos y Gastos ascendieron a una inversión total de \$ 42522,00 donde el 46% corresponde a la adquisición de equipos y el 54% restante será destinado para la operación de actividades en el control de emisiones de gases al ambiente.

Cuadro N° 42 Inversión Total

INVERSION TOTAL	
Inversión en Activos	\$ 19.700,00
Costo de Operación	\$ 22.822,00
TOTAL	\$ 42.522,00

Fuente: fuente directa de información.

Elaborado por: Jorge I. Perero de la Cruz

La inversión Total que se presenta en el cuadro N°42 se financiará en un 88% con un crédito a la Corporación Nueva Huancavilca por un valor de \$38000,00, el 12% será con un capital propio de \$ 5000,00, el préstamo se financiará a 3 años plazo con una tasa de interés del 12% anual.

Cuadro N° 43 Estructura de Capital

		MONTO
Capital Propio	11,8%	5.000,00
Capital Ajeno	88,2%	38.000,00
TOTAL		\$ 43.000,00

Fuente: fuente directa de información.

Elaborado por: Jorge I. Perero de la Cruz

En la siguiente ecuación financiera se podrá calcular la amortización por el préstamo de \$38.000,00 realizado a la Corporación Huancavilca.

$$A = \frac{VP * i}{1 - (1 + i)^{-n}}$$

$$A = \frac{38.000,00 * 0,125/12}{1 - (1 + 0,125/12)^{-36}}$$

A = \$ 1.262,14

Para la amortización del préstamo financiado a 3 años plazo, se realizarán 36 pagos mensuales de \$ 1262,14 con una tasa de interés del 1% al mes. En el cuadro N°44 se muestra la amortización del préstamo por un valor total de \$ 45.437,18 que corresponde al capital más los intereses que genera el financiamiento.

Cuadro N°44 Tabla de Amortización

TABLA DE AMORTIZACIÓN				
Préstamo \$ 38.000,00			Periodo 36	
Tasa 1%				
No.	Capital	Intereses	Total Dividendo	Amort. Capital
1	882,14	380,00	1.262,14	37.117,86
2	890,97	371,18	1.262,14	36.226,89
3	899,87	362,27	1.262,14	35.327,02
4	908,87	353,27	1.262,14	34.418,14
5	917,96	344,18	1.262,14	33.500,18
6	927,14	335,00	1.262,14	32.573,04
7	936,41	325,73	1.262,14	31.636,62
8	945,78	316,37	1.262,14	30.690,85
9	955,24	306,91	1.262,14	29.735,61
10	964,79	297,36	1.262,14	28.770,82
11	974,44	287,71	1.262,14	27.796,39
12	984,18	277,96	1.262,14	26.812,21

No.	Capital	Intereses	Total Dividendo	Amort. Capital
13	994,02	268,12	1.262,14	25.818,19
14	1.003,96	258,18	1.262,14	24.814,23
15	1.014,00	248,14	1.262,14	23.800,22
16	1.024,14	238,00	1.262,14	22.776,08
17	1.034,38	227,76	1.262,14	21.741,70
18	1.044,73	217,42	1.262,14	20.696,97
19	1.055,17	206,97	1.262,14	19.641,80
20	1.065,73	196,42	1.262,14	18.576,07
21	1.076,38	185,76	1.262,14	17.499,69
22	1.087,15	175,00	1.262,14	16.412,54
23	1.098,02	164,13	1.262,14	15.314,52
24	1.109,00	153,15	1.262,14	14.205,53
25	1.120,09	142,06	1.262,14	13.085,44
26	1.131,29	130,85	1.262,14	11.954,15
27	1.142,60	119,54	1.262,14	10.811,55
28	1.154,03	108,12	1.262,14	9.657,52
29	1.165,57	96,58	1.262,14	8.491,95
30	1.177,22	84,92	1.262,14	7.314,72
31	1.189,00	73,15	1.262,14	6.125,73
32	1.200,89	61,26	1.262,14	4.924,84
33	1.212,90	49,25	1.262,14	3.711,95
34	1.225,02	37,12	1.262,14	2.486,92
35	1.237,27	24,87	1.262,14	1.249,65
36	1.249,65	12,50	1.262,14	0,00
TOTALES	38.000,00	7.437,18	45.437,18	

Fuente: fuente directa de información.

Elaborado por: Jorge I. Perero de la Cruz

Para considerar los valores de interés en los costos anuales, se realizó un resumen de los valores a desembolsar por cada año. Ver cuadro N°45

Cuadro N° 45 Resumen de la Tabla de Amortización

RESUMEN DE TABLA DE AMORTIZACION				
No.	Capital	Intereses	Total Dividendo	Amort. Capital
1	\$ 11.187,79	\$ 3.957,93	\$ 15.145,73	\$ 26.812,21
2	\$ 12.606,68	\$ 2.539,04	\$ 15.145,73	\$ 14.205,53
3	\$ 14.205,53	\$ 940,20	\$ 15.145,73	\$ -

Fuente: fuente directa de información.

Elaborado por: Jorge I. Perero de la Cruz

Mediante el análisis económico se proyectan los costos en el desarrollo de la propuesta para el control de emisiones gaseosas en los hornos de Planta Cautivo. De igual manera se encontrarán valores por inversiones en activos, equipos y capital de trabajo para llevar a cabo las actividades operativas. Para el respectivo análisis también se requiere de los ingresos que esta generará por el periodo de 5 años con una tasa activa del 12% como mínimo de rentabilidad de la propuesta.

A través del análisis económico se obtendrá como resultado el respectivo Flujo de caja con un detalle de los ingresos y egresos que se generen por cada año proyectado, los flujos Netos producto de la diferencia de los ingresos menos los egresos son la base para la evaluación económica y estimar la rentabilidad por medio la Tasa Interna de retorno (TIR) y el Valor presente Neto (VNA). Otros de los métodos para la evaluación económica es el análisis Costo-Beneficio que mide la rentabilidad, para su cálculo se dividen los valores presente de Ingreso y Costos obteniendo un valor mayor a 1 lo que indica que el proyecto es rentable.

Capital de Operaciones

En el Cuadro N°46 se detalla el Capital de Operaciones que sirve para enfrentar todos los costos antes de que el proyecto empiece a generar ingresos, se debe especificar un valor por cada rubro para cubrir el primer año de funcionamiento.

Cuadro N° 46 Capital de Operaciones

COSTO ANUAL DE OPERACIÓN					
Detalle	2016	2017	2018	2019	2020
Materiales	1822,00	1985,98	2164,72	2359,54	2571,90
Personal	20400,00	22236,00	24237,24	26418,59	28796,26
Transporte	600,00	654,00	712,86	777,02	846,95
GASTOS OPERACIONALES	22822,00	24875,98	27114,82	29555,15	32215,12
GASTOS FINANCIEROS	3957,93	2539,04	940,20	0,00	0,00
TOTAL COSTO OPERACIONAL	26779,93	27415,02	28055,02	29555,15	32215,12

Fuente: fuente directa de información.

Elaborado por: Jorge I. Perero de la Cruz

Estimación de Ingresos

A través del resumen de los ingresos se logra determinar los valores que se generan por cada periodo por el servicio de mantenimiento de quemadores, Asistencia Técnica y la Aditivación del químico para la mejora de los niveles de contaminación en los Hornos de Refinería Cautivo.

Cuadro N° 47 Estimación de Ingresos

Detalle	PERÍODOS				
	2015	2016	2017	2018	2019
Mantenimiento de Quemadores en Hornos H2A y H2B	\$ 18.300,00	\$ 19.947,00	\$ 21.742,23	\$ 23.699,03	\$ 25.831,94
Asistencia Técnico de Procesos de Combustión	\$ 14.000,00	\$ 15.260,00	\$ 16.633,40	\$ 18.130,41	\$ 19.762,14
Aditivación del Químico en Hornos H2A y H2B	\$ 10.560,00	\$ 11.510,40	\$ 12.546,34	\$ 13.675,51	\$ 14.906,30
Total	\$ 42.860,00	\$ 46.717,40	\$ 50.921,97	\$ 55.504,94	\$ 60.500,39

Fuente: fuente directa de información.

Elaborado por: Jorge I. Perero de la Cruz

Estado de Flujo de Caja

En el respectivo Flujo de caja se resume información sobre los ingresos a futuro y costos operativos con sus respectivos movimientos al año, de esta forma se ve la disponibilidad de efectivo en un determinado tiempo. Ver cuadro N°48.

Cuadro N°48 Flujos de Caja

FLUJO EFECTIVO						
Detalle	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Inversión Inicial	-\$ 42.522,00					
INGRESOS		\$ 42.860,00	\$ 46.717,40	\$ 50.921,97	\$ 55.504,94	\$ 60.500,39
Mantenimiento de Quemadores en Hornos H2A y H2B		\$ 18.300,00	\$ 19.947,00	\$ 21.742,23	\$ 23.699,03	\$ 25.831,94
Asistencia Técnico de Procesos de Combustión		\$ 14.000,00	\$ 15.260,00	\$ 16.633,40	\$ 18.130,41	\$ 19.762,14
Aditivación del Químico en Hornos H2A y H2B		\$ 10.560,00	\$ 11.510,40	\$ 12.546,34	\$ 13.675,51	\$ 14.906,30
EGRESOS		\$ 26.779,93	\$ 27.415,02	\$ 28.055,02	\$ 29.555,15	\$ 32.215,12
Gastos Operacionales		\$ 22.822,00	\$ 24.875,98	\$ 27.114,82	\$ 29.555,15	\$ 32.215,12
Gastos Financieros		\$ 3.957,93	\$ 2.539,04	\$ 940,20	\$ 0,00	\$ 0,00
Saldo Final (Flujo Caja)	-\$ 42.522,00	\$ 16.080,07	\$ 19.302,38	\$ 22.866,95	\$ 25.949,79	\$ 28.285,27
<u>TIR</u>		38,94%				
<u>VAN</u>		\$ 78562,57				

Fuente: fuente directa de información.

Elaborado por: Jorge I. Perero de la Cruz

Con los valores disponibles en el Flujo de Caja se podrá calcular el Valor actual Neta y la Tasa Interna de Retorno. Para el año 2016 \$16080,07; para el 2017 \$19302,38; para el 2018 \$22866,95; para el 2019 \$25949,79 y para el 2020 \$28285,27.

Tasa Interna de Retorno

Es la tasa de interés efectiva que permite que el valor actual de los flujos de efectivos de una inversión sea igual a cero. Consiste en determinar si el proyecto es aceptado o rechazada dependiendo si cumple con la siguiente condición:

- Si $TIR >$ tasa de mínima descuento: El proyecto es aceptable
- Si $TIR <$ Tasa de mínima descuento: El proyecto no es aceptable.

A través del cálculo de la tasa interna se conocerá el tipo de interés que se obtiene al invertir los \$42.522,00 y recibir en un futuro \$112.484,46; considerando una tasa mínima de descuento del 12% como porcentaje estimado a ganar durante los 5 años.

Aplicando las funciones que tiene Excel para calcular la TIR se obtuvo una tasa del 38,94% la misma que se comprueba con exactitud a través del método de Interpolaciones. Para ello se requiere calcular un VAN de una tasa de descuento del 38 y 39% respectivamente con la siguiente formula:

$$VAN = \frac{\sum Rt}{(1+i)^t} = 0$$

- t: el tiempo del flujo de caja
- i - la tasa de descuento
- R_t - el flujo neto de efectivo (la cantidad de dinero en efectivo, entradas menos salidas) en el tiempo t.

Cuadro N°49 Interpolaciones

AÑOS	Flujos Futuros	COMPROBACION TIR			
		38%	11.652,22	39%	11.568,39
2016	16.080,07	38%	11.652,22	39%	11.568,39
2017	19.302,38	38%	10.135,67	39%	9.990,36
2018	22.866,95	38%	8.701,04	39%	8.514,59
2019	25.949,79	38%	7.155,13	39%	6.951,44
2020	28.285,27	38%	5.651,52	39%	5.451,13
			43295,58		42.475,91
VAN 1			773,58	VAN 2	(46,09)

Fuente: Fuente directa de información.

Elaborado por: Jorge I. Perero de la Cruz

Después de obtener los respectivos VAN se realiza la interpolación con los siguientes datos:

- VAN 2= -46,09 con tasa i_2 39%
- VAN 1= 773,58 con tasa i_1 38%

$$TIR = i_1 + (i_2 - i_1) \left[\frac{VAN_1}{VAN_1 - VAN_2} \right]$$

$$TIR = 38\% + (1) \left[\frac{773,58}{773,58 + 46,09} \right]$$

$$TIR = 38\% + (1)[0,943]$$

$$\mathbf{TIR = 38,94}$$

Como resultado de la ecuación matemática financiera se obtuvo una TIR de 38,94 la misma que se calculó con las funciones financieras de Excel, lo que se considera factible al ser superior a la tasa mínima de descuento del 12%.

Valor actual Neto (VAN)

Permite obtener el valor actual de cada uno de los flujos obtenido por cada año, descontando la tasa mínima de descuento del 12%, a este valor se le resta la Inversión Inicial de \$42.522,00 y se obtendrá el valor Actual Neta.

El mismo nos indica que debe existir una ganancia y debe ser positivo > 0 para que sea un proyecto viable.

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+i)} + \frac{Q_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+i)^n}$$

VAN = Valor Actual Neto

A = Desembolso Inicial requerido para la Inversión

i = Tasa de descuento aplicable a la inversión

Q1, Q2,... Qn = Flujo de caja de cada periodo

Cuadro N° 50 Valor Actual Neto (VAN)

AÑOS	Flujos Futuros	i	VNA
2016	16.080,07	12%	14.357,20
2017	19.302,38	12%	15.387,74
2018	22.866,95	12%	16.276,24
2019	25.949,79	12%	16.491,56
2020	28.285,27	12%	16.049,82
			78.562,57

Fuente: fuente directa de información.

Elaborado por: Jorge I. Perero de la Cruz

El valor actual neto (VAN) obtenido en el cuadro No. , es de \$ 78.562,57 es igual al que se obtuvo con el análisis de las funciones financieras de Excel

Por lo que se determina la factibilidad de la inversión, ya que supera la inversión inicial de \$42.522,00.

Ambos indicadores están relacionados porque a través del cálculo de la TIR permitirá que el VAN sea igual a cero, lo que indica que el proyecto responde con una mayor rentabilidad que la estimada, en este caso se estima que sea mayor a la tasa mínima del 12%.

5.4 Análisis del Costo-Beneficio

$$\text{Relacion Beneficio/Costo} = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}}$$

Tasa de descuento	12%
-------------------	-----

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Valor Presente
Beneficio		16080,07	19302,38	22866,95	25949,79	28285,27	\$ 78.562,57
Costo	-42522						\$ 42.522,00

<u>Relación Beneficio / Costo</u>	\$ 1,85
--	----------------

Fuente: Fuente directa de información.

Elaborado por: Jorge I. Perero de la Cruz

El valor costo-beneficio de 1,85 superior a 1 indica que nuestra propuesta es aceptada en términos económicos.

5.5 Conclusiones y recomendaciones.

CONCLUSIONES

Se establece un marco legal en gestión ambiental vinculado a la generación de gases por combustión en fuentes fijas exponiendo de manera gráfica los valores máximos permisibles para los diferentes gases contaminantes de acuerdo al combustible empleado.

De acuerdo con el diagnóstico se establece los factores que inciden en un aumento en los niveles de emisiones de gases al ambiente siendo estos los siguientes; quemadores defectuosos, combustible empleado en el proceso de combustión con una elevada concentración de carga contaminante, desconocimiento generalizado en temas de legislación ambiental y proceso de combustión en hornos por parte de los trabajadores.

Se proponen tres medidas correctoras, la primera consiste en el correcto mantenimiento y buena disposición de los quemadores, una capacitación direccionada a mejorar el proceso de combustión en los hornos y legislación ambiental; y la implementación de un proceso adicional que nos permita mejorar la calidad del combustible a partir de un tratamiento químico.

Las conclusiones en criterios financieros indican que nuestra tasa interna de retorno de 38,94% es factible al ser mayor a la tasa de descuento del 12%. El valor actual neto de \$78562,57 también es aceptado ya que supera el valor de la

inversión inicial de \$42522,00, y el costo beneficio calculado es superior a 1 indicando que por cada dólar invertido se recibirá \$1,85 dólares; \$0,85 dólares de beneficio adicional afirmando la viabilidad de nuestra propuesta.

Recomendaciones.

Recomiendo la socialización y capacitación del personal que opera en Refinería Cautivo en temas vinculados a la calidad del aire, normativa ambiental vigente para emisiones de gases en fuentes fijas de combustión, logrando corregir cualquier anomalía concerniente a estos temas, proporcionando soluciones a un problema relativamente no visible.

Se recomienda la realización de un mantenimiento preventivo y correctivo de los quemadores, realizar capacitaciones periódicas vinculadas al proceso de combustión en los hornos y legislación ambiental vigente y por último la implementación de un proceso adicional que consiste en la aditivación de un químico comercial que permita mejorar la calidad del combustible empleado.

Mantener los regímenes de operación en ambos hornos de manera estandarizada mediante un buen manejo de la relación aire-combustible a la que deben ser operados, se hace hincapié en la utilización de un combustible que contenga una concentración de azufre por debajo del 1,47% en su composición o en su defecto la implementación de un tratamiento químico.

Concluido el análisis financiero de nuestro estudio se recomienda la implementación de la propuesta técnica para mejorar los niveles de emisiones de gases en los hornos H2A y H2B de Refinería Cautivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Constituyente, A. (2008). *Constitucion de la Republica del Ecuador*. Quito: Registro Oficial N° 449.
- Elbe, B. L. (1987). *Combustion, flamas explosiones de gases* .
- EP-Petroecuador. (2011). Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador.
- EP-Petroecuador. (2015). *Institucion misión, visión y valores*. Obtenido de <http://www.eppetroecuador.ec/?p=1936>
- Escobar, I. C. (s.f.). *Refinación de Petróleo -Hornos Verticales*. Esmeraldas: Dirección de Hidrocarburos.
- F.A. Willian, A. W. (1985). *Teoría de la Combustión*.
- Giuliano, S. (1975). *La Combustión Teoría y aplicaciones*.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero*. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/mae-apoya-la-reduccion-de-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-en-el-sector-energetico/>
- Morales, C. R. (2004). *Optimización de la Combustión en Hornos y Calderas Industriales*.
- National Geographic. (1996-2013). *CONTAMINACION DEL AIRE*. Obtenido de <http://nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/contaminacion-aire>
- RAOHE. (2007). *Limites Máximos Permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de Fuentes Fijas para actividades Hidrocarburíferas*. Quito.
- Rodríguez, J. P. (2014). *Análisis del Proceso Productivo de Energía con Propuesta para Optimizar el Rendimiento en Hornos de Refinería Cautivo de E.P. Petroecuador*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/4138#sthash.D7dZ6XmD.dpuf>
- Shield, C. (s.f.). *Tipos, características, y Funciones "calderas"* . Compañía Editorial Continental.
- TESTO. (2010). *Optimización de la Combustión*. Obtenido de <http://www.tiemporeal.es/archivos/optimizacioncombustion.pdf>

TULAS. (2003). *Tulas libro VI Anexo 4*. Obtenido de http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/TEXTO_UNIFICADO_LEGISLACION_SECUNDARIA_i.pdf

Zabala, G. (2003). *Apuntes de Combustión*. Riobamba: Tercera Edición.

ANEXOS DE TESIS

ANEXO N° 1 MONITOREO DE EMISIONES DE GASES AL AMBIENTE.

No	LOCALIZACIÓN	ORIGEN DE LA DESCARGA	FECHA DE MEDICIÓN	RESULTADOS				EMISIÓN				LÍMITES PERMISIBLES		CUMPLE CON LA NORMA		OBSERVACIONES		
				CO	NOx	SO ₂	PM ₁₀	CO	NOx	SO ₂	CO	NOx	SO ₂	CO	NOx		SO ₂	
1	Balneario	Humo antiguo PABSONS FII ^a										50	700	1650				
2	Balneario	Humo eléctrico nuevo PABSONS FII ^a										50	700	1650				
3	Balneario	Humo Universal TI ^a										50	700	1650				
4	Refinería/Cuente	Calentamiento de carga de refinación (Humo H2A Cuente) ⁶	5/11/15	25	23	687	28	23	611	37	612	2404	50	700	1650	S	S	N
5	Refinería/Cuente	Calentamiento de carga de refinación (Humo H2B Cuente) ⁶	5/12/15	4	24	643	4	24	643	18	738	2502	50	700	1650	S	N	N
6	Cuente	Caldera No 1 Cuente ^a										50	700	1650				
7	Cuente	Caldera No 2 Cuente ^a										50	700	1650				
8	Cuente	Caldera No 3 Cuente ^a										50	700	1650				
9	Cuente	Caldera 4 - Superior Boiler Water ^a										50	700	1650				
10	Cuente	Caldera 5 - Superior Boiler Water ^a										50	700	1650				
11	Cuente	2 Calderas - Generador 8 ^a										1500	2000	700				
12	Cuente	2 Calderas - Generador 9 ^a										1500	2000	700				
13	Punta Blanca	Generación eléctrica (Turbinas No. 2) ^a										150	400	700				
14	Punta Blanca	Generación eléctrica (Turbinas No. 2) ^a										150	400	700				
15	Punta Blanca	Generación eléctrica (Turbinas No. 3) ^a										150	400	700				
16	Punta Blanca	Generación eléctrica (Turbinas No. 4) ^a										150	400	700				
17	Punta Blanca	Generación eléctrica (Turbinas No. 5) 6 ^a										150	400	700				
18	Punta Blanca	Turbina 7 y 8 con 6 ^a										150	400	700				
19	Punta Blanca	Caldera 2 RESTOR ^a										50	700	1650				
20	Punta Blanca	Caldera 3 SUPERON ^a										50	700	1650				
21	Punta Blanca	Caldera 4 EQUILIBRIAR ^a										50	700	1650				
22	Punta Blanca	Caldera 5 HINO (Plant Recovery Steam Generator) ^a										50	700	1650				

FÓRMULAS DE CÁLCULO

$$CO_x(mg/Nm^3) = \frac{20,94 - O_{2-m}}{20,94 - O_{2-am}} \times CO_{ppm} \times \frac{PM_{air}}{RT} \times \frac{28}{22,41}$$

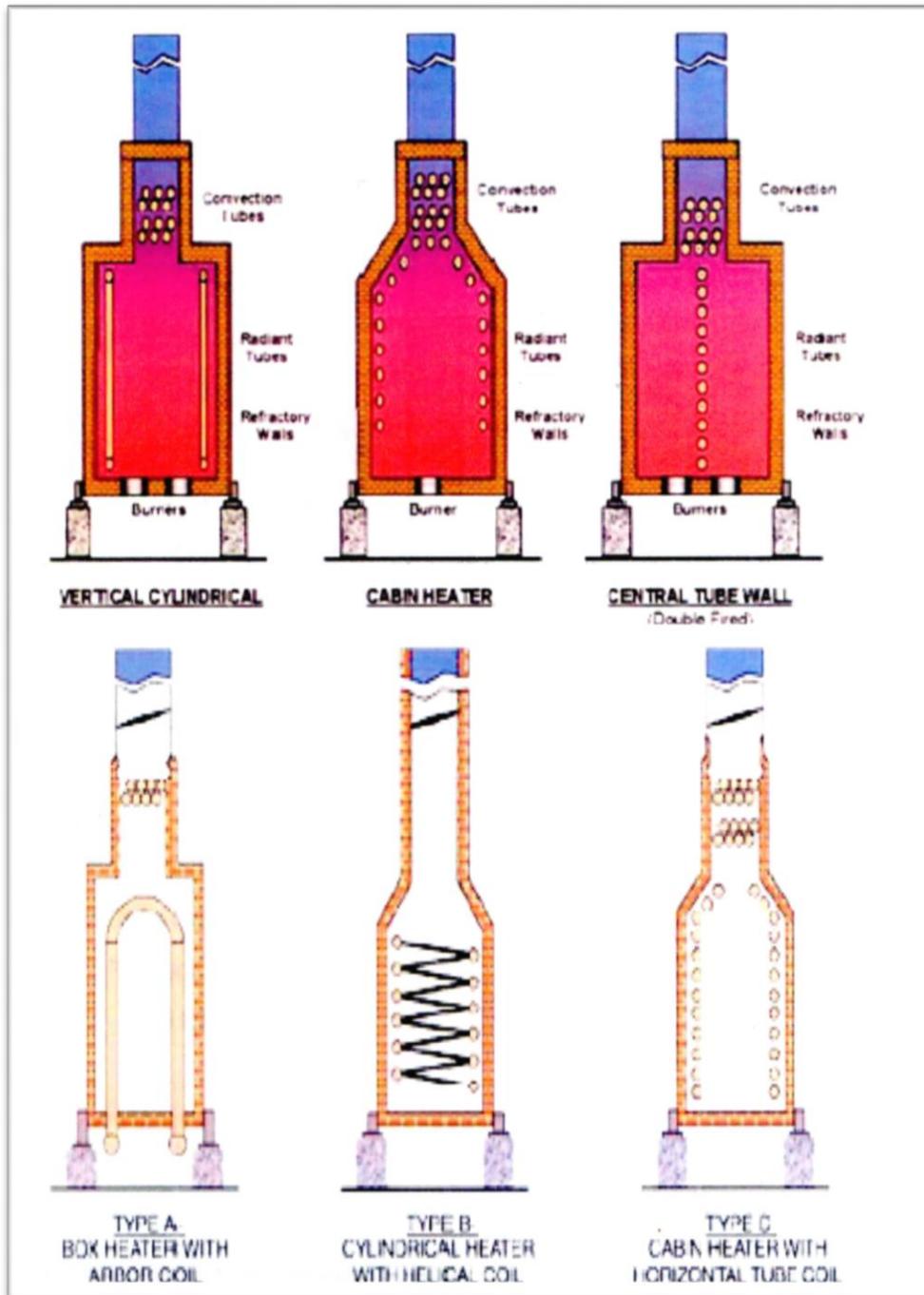
$$NO_x(mg/Nm^3) = \frac{20,94 - 15}{20,94 - O_{2-am}} \times NO_x \times \frac{46}{22,41}$$

$$SO_2(mg/Nm^3) = \frac{20,94 - 15}{20,94 - O_{2-am}} \times SO_2 \times \frac{64}{22,41}$$

Ing. Ender Jumbo
Técnico Responsable

Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

ANEXO N° 2 TIPOS DE HORNOS DE PROCESO



Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

ANEXO N° 3 PRESENCIA DE PARTÍCULAS DE AZUFRE EN LOS TUBOS DE LOS HORNOS



Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

**ANEXO N° 4 MONITOREO DE EMISIONES DE GASES AL AMBIENTE
EN LOS HORNOS H2A Y H2B DE REFINERÍA CAUTIVO**



Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

**ANEXO N° 5 PROCESO DE DOSIFICACIÓN DEL QUIMICO
COMERCIAL R-4**



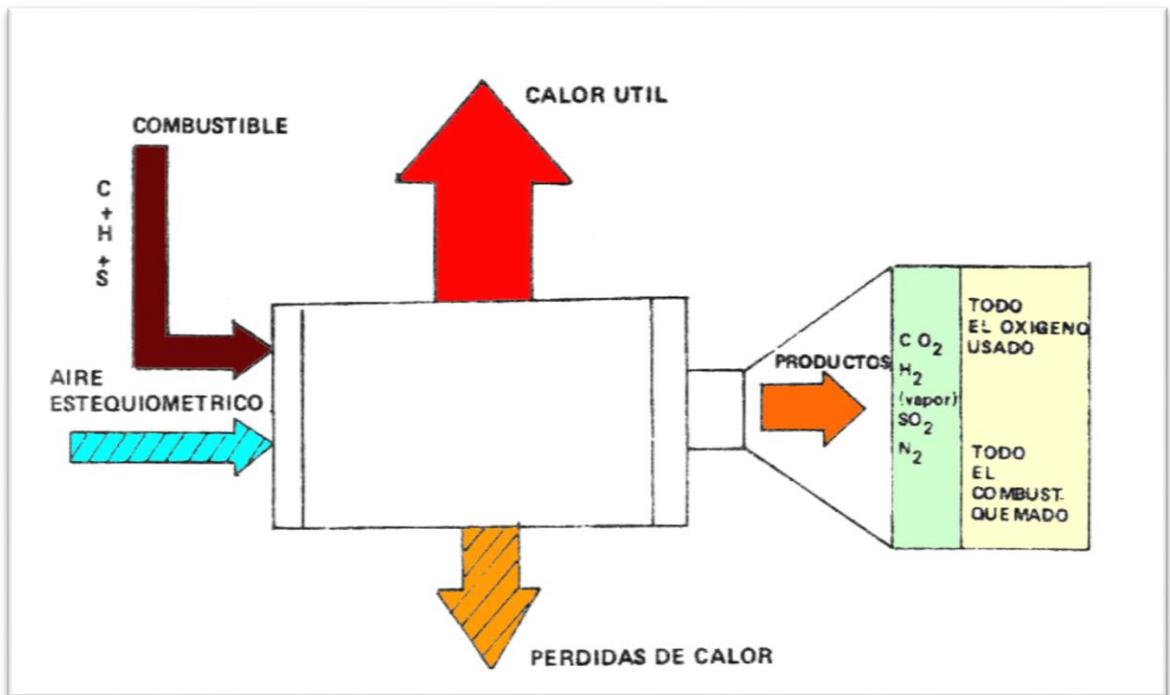
Fuente: Fuente directa de investigación.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

ANEXO N° 6 PROCESO DE COMBUSTIÓN



Fuente: Universal Oil Products (U.O.P) “Estudio de la combustión”
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

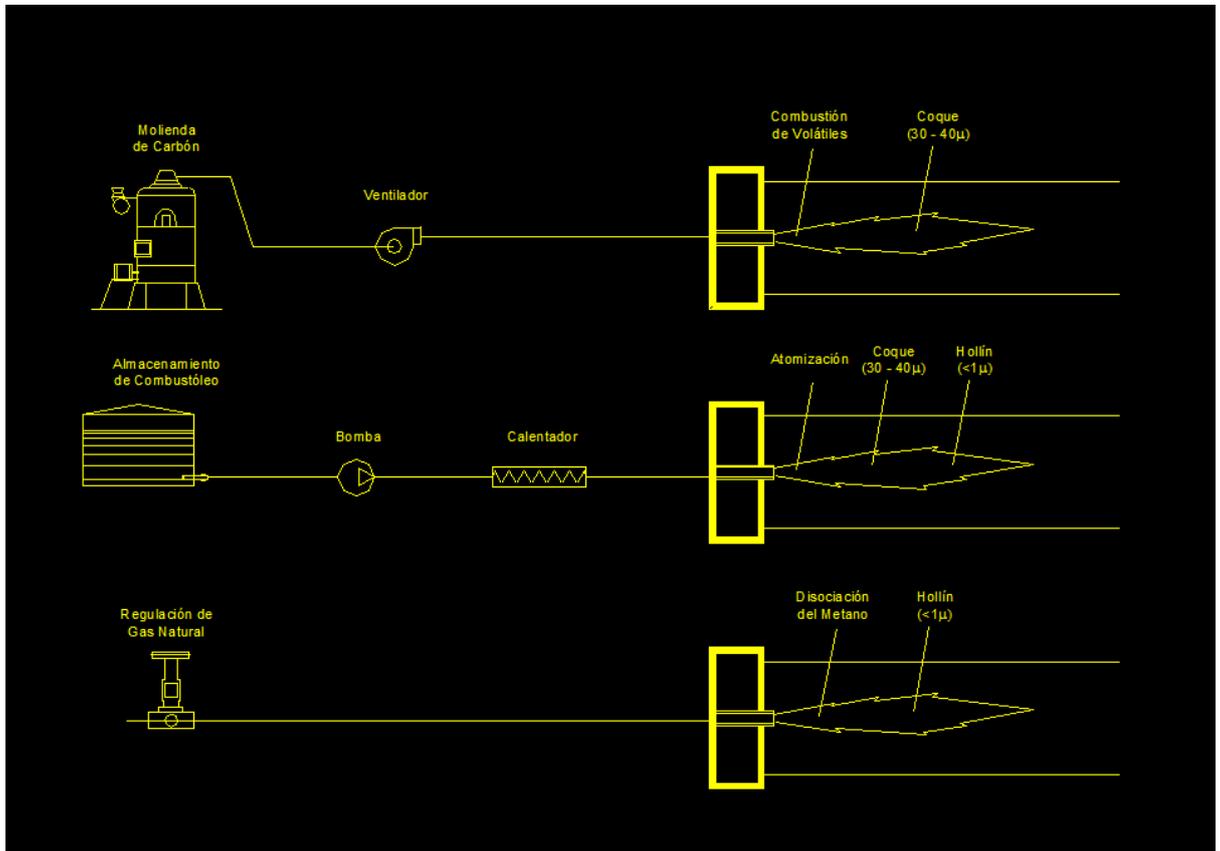
ANEXO N° 7 RELACIÓN ESTEQUIOMETRICA AIRE-COMBUSTIBLE



Fuente: Universal Oil Products (U.O.P) "Estudio de la combustión"

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

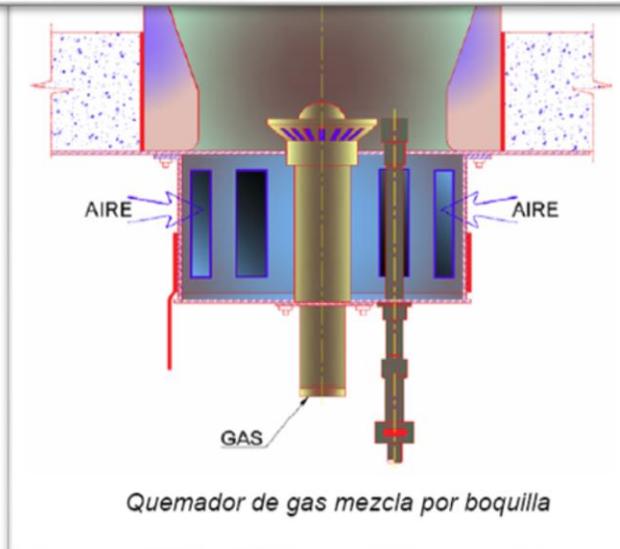
ANEXO N° 8 DIAGRAMA DE RECORRIDO DEL COMBUSTIBLE HACIA EL QUEMADOR



Fuente: Universal Oil Products (U.O.P) “Estudio de la combustión”

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

ANEXO N° 9 QUEMADORES DE FUEL OÍL



Fuente: Fuente directa de información.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

ANEXO N° 10 EQUIPO ANALIZADOR DE GASES TESTO 3XL



Fuente: Fuente directa de información.
Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.

ANEXO N°11 FORMATO DE ENCUESTA

Encuesta dirigida al personal que trabaja en Refinería Cautivo.

1.- ¿Conoce Ud. acerca de los límites máximos permisibles en cuanto a emisiones de gases al ambiente en los hornos H2A y H2B de Refinería Cautivo?

Si
No
Medianamente

2.-¿Considera que el mantenimiento y buen funcionamiento de los quemadores repercute de manera positiva en la generación de emisiones de gases?

Si
No
Lo duda

3.- ¿Considera Ud. que se esté utilizando un combustible con una baja concentración de carga contaminante conociendo los resultados expuestos en los monitoreos ambientales?

Si
No
desconoce

4.- ¿Conoce de algún sistema o mecanismo que me permita reducir los niveles de emisiones de gases al ambiente desde los hornos H2A y H2B?

Si
No

5.- (preámbulo a la propuesta)¿Considera oportuno, viable y benéfico la propuesta de realizar un estudio técnico para optimizar los niveles de emisiones de gases en los dos hornos?

Si
No
Tal vez.

Fuente: Fuente directa de información.

Elaborado por: Jorge Perero De La Cruz.