Universidad Técnica Federico Santa María
Sede Viña del Mar - José Miguel Carrera

PROPUESTA DE REEMPLAZO DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO COMO AGENTE REDUCTOR EN EL PROCESO DE REFINO A FUEGO.

Trabajo de Titulación para optar al Título de Técnico
Universitario en Minería y Metalurgia

Alumno:
Diego Ignacio Nochez Maulen

Profesor Guía:
Erik Kohnenkamp

DEDICATORIA

Diego Ignacio Nochez Maulen

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia por el constante apoyo y motivación para sacar todo este proceso adelante.

Como también a mi pareja krishna, la cual fue un pilar fundamental en todo esto, la cual me aconsejo y me ayudo a que todo esto fuera posible.

Además de agradecer la excelencia de profesores que se me presentaron durante este largo proceso, los cuales siempre dieron todo lo posible para que lográramos aprender de la mejor manera, como también las diversas ayudas las cuales nos brindaron.

Y sobre todo agradezco la calidad de compañeros que me tocaron, los cuales siempre estuvieron apoyándome constantemente, ayudándome y enseñándome. De igual manera hay que mencionar que todos cumplían un rol fundamental en nuestro en nuestro grupo, y todos teníamos algo que aprender del otro.

Finalmente me voy contento, por todas las enseñanzas adquiridas en estos años de estudio, las cuales darán grandes frutos una vez me encuentre ejerciendo esta hermosa carrera la cual estudie.

RESUMEN

El presente trabajo se basa en la búsqueda de un posible sustituto del combustible actualmente utilizado en las plantas de refinación a fuego, directamente enfocados en el proceso de refino a fuego empleado mediante los hornos basculantes.
Para realizar este proceso se llevan a cabo dos etapas las cuales son:

- Oxidación
- Reducción

Nuestro enfoque como ya mencionamos va directamente enfocado en esta zona en particular del proceso de reducción, la cual al transcurso de los años gracias a los problemas ambientales y el calentamiento global es necesario para todas las empresas, comenzar a buscar nuevas innovaciones para llevar a cabo sus procesos.
Esto ya que al presentar problemas ambientales más grandes o graves, es de vital importancia implementar métodos más amigables con el medio ambiente.

Dentro del primer capítulo se dará una introducción sobre en qué consiste el proceso de refinación a fuego, señalando dentro de este, los diversos equipos y subprocesos empleados en este método de reducción, para concluir se indicarán las emisiones generadas tanto en el proceso de reducción como en el proceso de moldeo al utilizar gas licuado de petróleo como agente.

Ya en nuestro segundo capítulo, mencionaremos los diversos combustibles posiblemente empleables en este método de reducción, por lo cual deberemos mencionar los diversos equipos a variar, tanto en el horno basculante, como los métodos de almacenamiento de estos combustibles, ya que al presentar un nuevo combustible es necesario reemplazar/sustituir diversas piezas y equipos, esto basándonos en que no todos los combustibles presentan las mismas propiedades o requieren las mismas manipulaciones de uso y almacenamiento.

Además de presentar en este mismo capitulo un listado de posibles combustibles sustitutos para el actualmente utilizado “GLP”, presentando sus propiedades y cualidades, los cuales procederemos a comparar en nuestro tercer capítulo, con lo cual obtendríamos una conclusión sobre estos.

Para finalizar, en este tercer capítulo como se mencionó con anterioridad, se tendrá como objetivo analizar los combustibles mencionados con anterioridad en nuestro capitulo número dos, para así determinar los posiblemente empleables, esto basándonos en sus cualidades tanto en costo, emisiones y poderes caloríficos.

Con lo cual determinaríamos si existe un posible sustituto más rentable y viable para el "GLP" o si aquel es el con mayor rentabilidad actualmente, considerando diversos factores tanto económicos como ambientales

INDICE

DEDICATORIA 2
RESUMEN 5
SIGLAS Y SIMBOLOS 3
SIGLAS 8
SIMBOLOS 8
INTRODUCCIÓN 9
OBJETIVOS 10
OBJETIVO GENERAL 10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 10
CAPITULO 1. ANTECENDENTES GENERALES 11
1.0 EQUIPOS UTILIZADOS. 12
1.1.1 HORNO BASCULANTE. 12
1.1.2 RUEDA DE MOLDEO. 15
1.2 OXIDACIÓN 17
1.2 REDUCCIÓN 19
1.2 AGENTES REDUCTORES 19
1.2 GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP) 21
1.2 MOLDEO 22
1.2 EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO 23
1.2 EMISIONES EN EL PROCESO DE REDUCCIÓN 23
1.2 EMISIONES EN EL PROCESO DE MOLDEO 24
1.2 PROBLEMAS AMBIENTALES A CAUSA DEL DIOXIDO DE CARBONO 25
CAPITULO 2. TECNOLOGÌAS Y COMBUSTIBLES PROCESOS RAF 27
2.1 TECNOLOGÍAS REQUERIDAS EN PLANTA AL EMPLEAR GLP 28
2.2 COMBUSTIBLES PROPUESTOS 30
2.2.1 KEROSENE 30
2.2.2 DIESEL 32
2.2.3 PETRÓLEO 33

2.2.4 CARBÓN 34
2.2.5 GAS LICUADO DE PETRÓLEO 35
2.2.6 GAS NATURAL 36
2.2.7 AMONÍACO 37
CAPITULO 3. ANÀLISIS Y RESULTADOS 39
1.2 ANÁLISIS DE COMBUSTIBLES PRESENTADOS 40
1.2 COMPARACIONES DE CARACTERISTICAS COMBUSTIBLES APTOS 44
1.2 COMPARANDO EFICIENCIA GLP / GAS NATURAL 47
1.2.2 COMPARANDO TIEMPOS DE REDUCCION GLP/ GAS NATURAL 47
1.2 COMPARANDO CONTENIDOS DE OXIGENO GLP / GAS NATURAL ... 48
1.2 RESULTADOS 48
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN 50
Bibliografía 52

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Horno basculante 12
Ilustración 2: Horno basculante para fundición multifuncional 13
Ilustración 3: Horno basculado mediante sistema de pistones hidráulicos 13
Ilustración 4: Crisol 14
Ilustración 5: Rueda de moldeo diversas cantidades 16/24/32 16
Ilustración 6: Método de oxidación 18
Ilustración 7: Contaminación por la industria 20
Ilustración 8: Deshielos de glaciares producto de la contaminación ambiental 25
Ilustración 9: Contaminación ambiental 26

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:Propiedades del GLP 21
Figura 2: Combustión del GLP 23
Figura 3: Emisiones de Co2 utilizando GLP 24
Figura 4: Diferencias GLP/ Gas natural 44
Figura 5: Emisiones Co2 diversos combustibles 45

Figura 6: Poderes caloríficos GLP/ GAS NATURAL 46
Figura 7: Tiempos de reducción GLP/ GAS NATURAL 47
Figura 8: Contenidos de oxigeno (PPM) GLP/ GAS NATURAL 48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: fundición mediante combustibles solidos 14
Tabla 2: fundición mediante combustibles líquidos 15
Tabla 3: fundición mediante combustibles gaseosos 15
Tabla 4: PPM presentes en cada proceso 17
Tabla 5: Elementos presentes en el cobre fundido 22
Tabla 6: Equipos a reemplazar al cambiar combustible 29
Tabla 7: Propiedades KEROSENE 31
Tabla 8: Propiedades DIESEL 32
Tabla 9: Propiedades PETRÒLEO 34
Tabla 10: Propiedades CARBÒN 35
Tabla 11: Propiedades GAS LICUADO DE PETRÒLEO 36
Tabla 12: Propiedades GAS NATURAL 37
Tabla 13: Propiedades AMONÌACO 38
Tabla 14: Análisis KEROSENE 40
Tabla 15: Análisis DIESEL 41
Tabla 16: Análisis PETRÒLEO 41
Tabla 17: Análisis CARBÒN 41
Tabla 18: Análisis GAS LICUADO DE PETRÒLEO 42
Tabla 19: Análisis GAS NATURAL 42
Tabla 20: Análisis AMONÌACO 43
Tabla 21: Comparativa de combustibles GLP/GN 49

SIGLAS Y SIMBOLOS

SIGLAS

CO_2: Dióxido de carbono

RAF: Refinación a fuego

GLP: Gas licuado de petróleo

GN: Gas natural

Zn: Zinc

SO_2: Dióxido de azufre

Fe: Fierro

Si: Silicio

S: Azufre

Mg: Magnesio

CaO: Oxido de calcio

$Na2O$: Oxido de sodio

$Cu2O$: Oxido de cobre

C: Carbono

H: Hidrógeno

N: Nitrógeno

SIMBOLOS

$Kcal$: Kilocaloría

Kg: Kilogramo

$°C$: Grados Celsius

ppm: Partes por millón

Atm: Atmosfera

Bar: Presión

INTRODUCCIÓN

La refinación a fuego es uno de los procesos metalúrgicos el cual tiene como fin purificar nuestro concentrado de cobre, este se divide en cuatro etapas las cuales van desde el carguío, la oxidación, la purificación y la reducción y moldeo del ánodo.
Las investigaciones e innovaciones son esenciales en este proceso, ya que en este proceso es requerido ir mejorando o actualizando los combustibles reductores, esto ya que hay que ir adaptándose a las normas ambientales dictadas por el ministerio del medio ambiente.

Si bien parece fácil realizar una innovación en los combustibles utilizados, hay varios factores en los cuales se deben basar para realizar estos cambios, los cuales van desde los precios, ya que la producción de este proceso metalúrgico es demasiado grande.
Como también las emisiones de contaminantes generadas por estos mismos, ya que como anteriormente se mencionó hay que ir adaptándose a las normas ambientales dictadas.

Una de las variables que son indispensables en este proceso, en el cual está directamente enfocado nuestro trabajo de título, son las emisiones de dióxido de carbono, esto ya que lasemisiones de CO_2 son una de las principales causas del efecto invernadero y calentamiento global por ende es de suma importancia controlar de mejor manera sus emisiones.

A partir de 2018 comenzó una nueva normativa ambiental que obliga a las fundiciones a capturar un mínimo de 95% de las emisiones que generan, lo cual implica un importante nivel de inversión, transferencia y adaptación de tecnologías para disminuir su impacto medioambiental. Una alternativa diferente radicaría en establecer una alianza estratégica con empresas extranjeras para adquirir tecnologías de vanguardia en los procesos de fundición y refinación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer un agente reductor, para reemplazar al gas licuado de petróleo en el proceso RAF (refinación a fuego), tomando en consideración la disminución de CO_2 emitido.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar los procesos de refinación a fuego y moldeo, en los cuales determinaremos las emisiones de CO_2 producidos actualmente en el método de reducción al emplear GLP como agente reductor tanto en el proceso RAF como en la etapa de moldeo.

2. Determinar los diversos combustibles empleables en los procesos RAF, mediante búsqueda bibliográfica, para así obtener las producciones de CO_2, costos y deficiencias de cada uno.

3. Evaluar y comparar los parámetros de los agentes reductores seleccionados para los procesos RAF, para así determinar el o los más apropiado.

CAPITULO 1. ANTECENDENTES GENERALES

1.1 Equipos utilizados

1.1.1 Horno basculante

1.1.2 Rueda de moldeo

1.2 Refinación

1.2.1 Oxidación

1.2.2 Reducción

1.3 Agentes reductores

1.3.1 Gas licuado de petróleo (GLP)

1.4 Moldeo

1.5 Emisiones de Dióxido de carbono

1.5.1 Emisiones en el proceso de reducción

1.5.2 Emisiones en el proceso de moldeo

1.6 Problemas ambientales a causa del dióxido de carbono

1.1 EQUIPOS UTILIZADOS.

1.1.1 HORNO BASCULANTE.

Estos equipos corresponden a hornos móviles de tipo crisol, los cuales se encuentran sostenidos sobre un sistema de sustentación. Estos equipos normalmente se emplean cuando es necesario realizar una producción relativamente grande de una aleación determinada. (Perez Pino & Soto Payares, 2009, p.22)

Ilustración 1: Horno basculante

Fuente 1: Google imágenes

La primera versión presentada de este horno contaba con capacidades las cuales iban desde los 70[Kg] a 750[Kg] de latón y basculaba en torno a un eje central. La deficiencia que presentaba esta primera versión es que su punto de descarga acompañaba su movimiento basculante. (Perez Pino & Soto Payares, 2009, p.22)

Ilustración 2: Horno basculante para fundición multifuncional

Fuente 2: Google imágenes

La segunda versión desarrollada de este horno fue un horno basculante en eje de piquera, el cual presentaba capacidades desde los 200[Kg] a 750[Kg] de latón.

Hoy en día es utilizado el modelo más actual de estos hornos el cual es basculado mediante un sistema de pistones hidráulicos lo cual da como resultado un mayor control de la operación de vaciado. (Perez Pino & Soto Payares, 2009, p.22)

Ilustración 3: Horno basculado mediante sistema de pistones hidráulicos

Fuente 3: Google imágenes

Los crisoles pueden llegar a ser operados mediante energía eléctrica o con la energía generada por combustibles, en relación con esto los hornos más comunes son los de inducción y resistencia. Los posibles combustibles a utilizar presentan diversas ventajas y desventajas, por lo cual es necesario enfocarse en las condiciones requeridas y propiedades de estos combustibles. (Perez Pino & Soto Payares, 2009, p.23)

Ilustración 4: Crisol

Fuente 4: Google imágenes

TABLA DE COMBUSTIBLES SOLIDOS

COMBUSTIBLE	**TIPO**	**PODER CALORIFICO (KCAL/KG)**
SOLIDO	LEÑA	3900
	CARBON MINERAL	4000 a 6000
	COQUE DE FUNDICIÓN	6200 a 7500
	COQUE DE PETRÓLEO	8000
	CARBÓN VEGETAL	6500 a 7000

Tabla 1: fundición mediante combustibles solidos

Fuente *5*: (pino, 2009)

TABLA DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS

COMBUSTIBLE	TIPO	PODER CALORIFICO (KCAL/KG)
LIQUIDO	Gasolina	10200
	Petróleo diésel	11000
	Alcohol etílico	7300
	Querosene	11600
	Petróleo – Fuel – Oíl	9820
	OC4	10000

Tabla 2: fundición mediante combustibles líquidos

Fuente 6: *(pino, 2009)*

TABLA DE COMBUSTIBLES GASEOSOS

COMBUSTIBLE	TIPO	PODER CALORIFICO (KCAL/KG)
SOLIDO	Gas licuado	10900
	Gas de coque	4500
	Gas natural	10000
	Metano	8500

Tabla 3: fundición mediante combustibles gaseosos

Fuente 7: *(pino, 2009)*

1.1.2 RUEDA DE MOLDEO.

La rueda de moldeo es una estructura circular en donde se proceden a colocar los moldes de ánodos, estos equipos pueden contar desde los 16,24 o 32 moldes, lo cual depende directamente de la magnitud de la estructura.

Estos equipos son alimentados con el cobre anódico proveniente del proceso de los hornos de refinación, este cobre transportado por un sistema de canaletas los cuales cuentan con quemadores para así evitar que el fundido absorba el oxígeno presente en el ambiente.

El objetivo de este equipo es transformar el cobre liquido en ánodos de cobre los cuales posteriormente son enviados al proceso de electro refinación para su correspondiente tratamiento. (Rodriguez, 2020)

Ilustración 5: Rueda de moldeo diversas cantidades 16/24/32

Fuente 8: *(Rodriguez, 2020)*

Este proceso de divide en tres etapas, las cuales son esenciales para lograr un ánodo de calidad.

Zona de moldeo: Este procedimiento comienza con la transferencia del cobre fundido de los hornos de refinado hacia los moldes, Este es enviado mediante unos canales en donde se emplean unos quemadores con el fin de quemar el oxígeno presente en el aire y a la vez incrementar la fluidez del fundido. (Rodriguez, 2020)

Zona de enfriamiento: Ya finalizado el proceso de moldeo, los moldes y los ánodos son rociados con agua potable, esto con el fin de evitar la contaminación. El agua es dispersada en modo de challa mediante un sistema de válvulas. (Rodriguez, 2020)

Zona de alzamiento de ánodo: Ya finalizado el proceso de enfriamiento este es enviado a una zona en donde se encargan de despegar el ánodo del molde. El ánodo es alzado por las orejas de este y es introducido en los estanques de enfriamiento. (Rodriguez, 2020)

1.2 REFINACIÓN

Este proceso en si se divide en varios subprocesos, los cuales tiene como objetivo refinar el cobre blíster proveniente del proceso de conversión, específicamente se enfoca en reducir los contenidos de azufre y oxigeno que se encuentran disueltos en este.
Dado que el cobre blíster aun cuenta con fracciones desde los 2000 a 6000 [ppm] de oxígeno y 200 a 800 [ppm] de azufre que deben ser eliminados para así evitar futuras apariciones de ampollas de dióxido de azufre [SO_2] en el ánodo. (Riveros & Gabriel, 2009)

Este es un proceso discontinuo el cual se lleva a cabo en hornos de tipo basculante, los cuales trabajan a temperaturas de 1200 $°C$, con lo cual obtendríamos un ánodo de calidad 99,7% de [Cu]. Este proceso se divide en dos etapas las cuales son las siguientes. (Riveros & Gabriel, 2009)

- oxidación
- reducción.

ETAPA DEL PROCESO	PPM DE AZUFRE	PPM DE OXÍGENO
Cobre blíster	200 - 800	2000 – 6000
Después de oxidación	10 - 40	6000 – 9000
Después de reducción	10 - 40	500 – 1800
Moldeo de ánodos	10 - 40	700 – 2000

Tabla 4: PPM presentes en cada proceso

Fuente 9: *(Sebastian, 2011)*

1.2.1 OXIDACIÓN

En esta etapa denominada oxidación, se tiene como finalidad soplar aire de proceso al cobre fundido, esto ocasionara una oxidación selectiva con fin de eliminar impurezas tales como [Zn , Fe, Al, Si, Mg]. Mientras que otras son fijadas en la fase gaseosa, Principalmente [S] y algo de [Pb, Zn, Cd] los cuales solo se pueden eliminar mediante la escorificación utilizando los siguientes fundentes [CaO] Y [$Na2O$]. La forma más eficiente de agregar los fundentes es empleando la inyección neumática la cual se lleva a cabo mediante lanzas o toberas, bajo la superficie del baño, en donde estas entraran en

contacto directo con el metal, con lo cual se estará previniendo su descomposición y dilución antes de que reaccione efectivamente con las impurezas, además de que así se estará evitando el arrastre de polvo en los gases de salida. (Ramírez, Bustamante, & Manríquez, 2003)

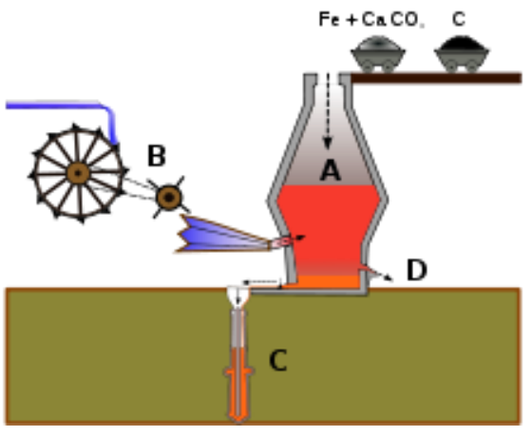

Ilustración 6: Método de oxidación

Fuente 10: Google imágenes

En esta etapa se procede a realizar diversas muestras las cuales se dejan solidificar, en donde la apariencia y fractura de la muestra, nos indicaran su condición de baño. Si se ha alcanzado un grado de saturación en oxigeno el aspecto de esta es de un color rojo ladrillo, toscamente cristalino, opaco y quebradizo. Este recibiría el nombre de "set copper". Las reacciones vendrían siendo las siguientes. (Ramírez, Bustamante, & Manríquez, 2003)

1. $4\,\mathrm{Cu} + \mathrm{O2} = 2\,\mathrm{Cu2O}$
2. $Cu2O + SiO2 = Cu2O * SiO2$
3. $5Cu2O + 2As = As2O5 + 10Cu$
4. $2Cu\ 2S + 3O2 = 2\ Cu2O + 2SO_2$
5. $As2O5 + Cu2O = Cu2O * As2O5$

A lo largo de la desulfurización, el oxígeno es inyectado dentro del baño fundido, en lo cual este mismo procede a reaccionar con el azufre disuelto en el baño, con lo que se generaría [SO_2], lo cual puede dejar burbujas y dejar el baño. La reacción de esto es la siguiente. (Ramírez, Bustamante, & Manríquez, 2003)

- $S(disuelto\ en\ el\ Cu) + O\ (Disuelto\ en\ el\ Cu) = SO_2(GAS)$

1.2.2 REDUCCIÓN

Una vez finalizado el proceso de oxidación se inicia la etapa de reducción, en donde nuestro cobre blíster cuenta con un contenido entre el 07 a 1% de oxígeno, el cual se nos presenta disuelto en metal y no como gas, lo que causaría que al reducir la temperatura este oxigeno reaccionaria de tal manera que nos produciría oxido cuproso, esto mediante la siguiente reacción. (Ramírez, Bustamante, & Manríquez, 2003; p.170)

- $2Cu\ (liquido) + O\ (disuelto\ en\ el\ Cu) = Cu2O\ (liquido\ o\ solido)$

Por eso esta etapa está enfocada en remover el exceso de oxígeno que se encuentra en el cobre fundido, para así poder obtener un cobre solido el cual presente propiedades adecuadas para su uso. El contenido de oxígeno que se espera obtener es desde los 300 a 500 $[ppm]$ lo cual llevaremos a cabo mediante la inyección de un agente reductor los cuales corresponden a hidrocarburos sólidos, líquidos o gaseosos, que aportan carbono o hidrogeno para reducir al oxígeno, mediante la formación de dióxido de carbono o vapor de agua. (Ramírez, Bustamante, & Manríquez, 2003; p.171)

Mediante la inyección de nuestro agente reductor se presentarán las siguientes reacciones las cuales son las principales

- $H2(gas) + O(disuelto\ en\ el\ Cu) = H2O\ (gas)$
- $Co(gas) + O(disuelto\ en\ el\ Cu) = CO_2(gas)$
- $C(solido) + O(disuelto\ en\ el\ Cu) = CO_2(gas)$
- $C(solido) + O(disuelto\ en\ el\ Cu) = CO(gas)$

Todas las reacciones mencionadas anteriormente pueden lugar como $(Cu2O)$, si este componente se encuentra presente.

1.3 AGENTES REDUCTORES

En el proceso de reducción se nos presentan diversos tipos de agentes reductores, anteriormente en este proceso se llevaba a cabo la utilización de troncos de eucaliptus, a lo cual actualmente han sido reemplazados por hidrocarburos , ya sean líquidos o

gaseosos tales como (GLP, Kerosene, diésel, petróleo o amoniaco). La selección de este agente se basa en la conveniencia, ya sea a tema de disponibilidad y costos. A lo cual los, los troncos de eucaliptus fueron descartados como uso reductivo por temas de seguridad, baja eficiencia y por temas ecológicos. (Ramírez, Bustamante, & Manríquez, 2003; p.172)

Un tema más a considerar en la selección de este agente es el contenido de azufre presente en nuestro combustible , ya que esto estará directamente ligado con el contenido final de azufre presente en el cobre refinado. Para minimizar las cantidades presentes en nuestro cobre refinado es necesario utilizar un combustible que cuente con un máximo de 2% de azufre, tal como el kerosene, GLP o gas natural. (Ramírez, Bustamante, & Manríquez, 2003; p.172)

Cuando es utilizado como agente reductor un hidrocarburo, generalmente se nos presenta un craqueo térmico antes de que este reaccione con el oxígeno presente en el fundido, lo cual nos generaría una baja de eficiencia y tendería a provocar hollín y emisiones de humos negros. (Ramírez, Bustamante, & Manríquez, 2003; p. 172)

Ilustración 7: Contaminación por la industria

Fuente 11: Google imágenes

1.3.1 GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

El gas licuado de petróleo o [GLP] es un hidrocarburo que se obtiene mediante la refinación del petróleo o en el proceso de separación de los gases y gasolina presentes en los líquidos de gases naturales. Se nos presenta en estado gaseoso y mediante tratamientos y compresiones podemos volverlo a estado líquido con lo cual agilizamos su manipulación. (Teps Group S.A.C., 2012; p.8)

Este es un combustible fósil en la medida que este procede del petróleo o gas natural, Además de que este combustible no lo podemos encontrar como tal en los yacimientos, El GLP se encuentra compuesto por una mezcla de propano y butano (ambos gases pesados) (Teps Group S.A.C., 2012; p.8)

Las aplicaciones de este combustible van desde el uso residencial, automotriz e industrial, como en este caso es utilizado en la refinación, gracias a su fácil transporte y almacenamiento, como además de sus bajas emisiones y costos a comparación de otros métodos utilizados. (Teps Group S.A.C., 2012; p.9)

	Propano Comercial	Butano Comercial
Presión de vapor en kPa (presión absoluta) a:		
20ºC	1.000	220
40ºC	1.570	360
45ºC	1.760	385
55ºC	2.170	580
Peso específico	0,504	0,582
Punto de ebullición inicial a 1,00 atm de presión, ºC	- 42	- 9
Peso por metro cúbico de líquido a 15,56ºC, kg	504	582
Calor específico del líquido, kilojoules por kilogramo, a 15,56ºC	1,464	1,276
Metros cúbicos de vapor por litro de líquido a 15,56ºC	0,271	0,235
Metros cúbicos de vapor por kilogramo de líquido a 15,56ºC	0,539	0,410
Peso específico del vapor (aire = 1) a 15,56ºC	1,50	2,01
Temperatura de ignición en aire, ºC	493-549	482-538
Temperatura máxima de llama en aire, ºC	1.980	2.008
Límites de inflamabilidad en aire, % de vapor en la mezcla aire-gas:		
Inferior	2,15	1,55
Superior	9,60	8,60
Calor latente de vaporización en el punto de ebullición:		
Kilojoules por kilogramo	428	388
Kilojoules por litro	216	226
Cantidad de calor total luego de la vaporización:		
Kilojoules por metro cúbico	92.430	121.280
Kilojoules por kilogramo	49.920	49.140
Kilojoules por litro	25.140	28.100

Figura 1:Propiedades del GLP

Fuente 12: *(Osinergmin, 2004)*

1.4 MOLDEO

Ya con el cobre blíster tratado mediante la refinación a fuego y sus etapas de oxidación y reducción, se da comienzo a la etapa de moldeo de ánodos, sin embargo, a la temperatura requerida para el moldeo el cobre fundido absorbe el oxígeno del ambiente con mucha facilidad, por ende, es necesario ubicar quemadores con llamas reductoras tanto dentro del horno como en las canaletas, para así mantener la concentración de oxígeno que se logró en los procesos de refinación. (Ramírez, Bustamante, & Manríquez, 2003; p.172)

El combustible utilizado para formar la llama reductora que le aplicaremos al cobre fundido debe contar con bajo contenido de azufre, para así evitar que el ánodo absorba este. Además de el azufre y el oxígeno existen otras impurezas que tienen importantes consecuencias en la operación de la refinería. (Ramírez, Bustamante, & Manríquez, 2003; p.172)

ELEMENTO	**RANGO DE COMPOSICIONES (PPM)**
Cu	98.5 - 99.8% en peso
O_2	130 – 4000
Au	8 - 73
Ag	90 - 7000
Pb	7 - 4300
Se	8 - 2200
As	5 - 2700
Sb	1 - 2200
Bi	3- 300
Te	1 - 300
Ni	90- 6700

Tabla 5: Elementos presentes en el cobre fundido

Fuente 13: *(Ramírez, Bustamante, & Manríquez, 2003)*

1.5 EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

1.5.1 EMISIONES EN EL PROCESO DE REDUCCIÓN

En este proceso de reducción, es empleado el gas licuado de petróleo (GLP) como agente reductor, nuestro objetivo es determinar las emisiones de CO_2 generadas a base de este combustible.

Para realizar el cálculo de emisiones de este combustible, utilizaremos el programa EXCEL en el cual procederemos a realizar una tabla de combustión, para esto nos basaremos en la siguiente ecuación obtenida mediante búsqueda bibliográfica, la cual está basada en la reacción presentada al emplearse este combustible (GLP) como agente reductor.

La reducción de cobre con GLP procede según la siguiente reacción:

$$(1+X)(C_3H_8+C_4H_{10})+23Cu_2O \longrightarrow 46Cu+9H_2O+7CO_2+X(C_3H_8+C_4H_{10})$$

En nuestro caso nuestro combustible, se encuentra compuesto por una mezcla de propano y butano, ambos en cantidades de 50%, en el cual a base de nuestra composición determinaremos la masa de cada combustible, esto con ayuda del programa HSC CHEMISTRY.

Una vez con la masa de nuestro combustible determinada procedemos a realizar la tabla de combustión en Excel.

La reducción de cobre con GLP procede según la siguiente reacción:

$$(1+X)(C_3H_8+C_4H_{10})+23Cu_2O \longrightarrow 46Cu+9H_2O+7CO_2+X(C_3H_8+C_4H_{10})$$

Elemento	% masa	Peso molecular	%masa/Peso mol			MOL	
C3	14	12	1.133333333	1		12	
H8	36	1	36.4	32.11764706		32.11764706	
C4	14	12	1.191666667	1.051470588		12.61764706	
H10	36	1	35.7	31.5		31.5	
	100						
						88.235	g/mol GLP

Figura 2: Combustión del GLP

Fuente 14: Propia

Finalmente, con los gramos y los moles determinados, además teniendo ya el conocimiento de la reacción obtenida al emplearse este combustible, procederemos a calcular las emisiones de dióxido de carbono emitidas al día.

En base a la tabla realizada anteriormente ( ) y los valores obtenidos con ayuda de esta, logramos identificar los moles presentes en un gramo de combustible (GLP), con lo cual para continuar analizaremos 1000 Kg de gas licuado de petróleo, para determinar los moles presentes en esta.

En base a la tabla realizada con anteriores y ya determinado los valores, logramos obtener los gramos mol presentes en un gramo de combustible. Con lo cual para continuar utilizaremos 1000 Kg de GLP para determinar los moles presentes en esta, además de que ya contamos con el conocimiento de cuantas moléculas de CO_2 produce la reacción de reducción de nuestro combustible. con lo cual con el cálculo de las moléculas de los 1000 Kg y con los 7 moles de CO_2, logramos llegar a la conclusión de que se emiten 7933,33 moles de dióxido de carbono al día al momento de emplear 1000 Kg de combustible.

1000 kg glp								
100000	gramos glp				7	CO2		
1133.33333	moles				7933.333	moles de co2 al usar 1000kg de glp		
					PV=Nrt			
0°C	273.15				V=Nrt/P			
					177.817	m3 de co2/dia		

Figura 3: Emisiones de Co2 utilizando GLP

Fuente 15: Propia

Con lo cual gracias al resultado obtenido de las moléculas presentes en 1000 Kg de GLP y con las 7 moléculas de CO_2 producidas en la reacción, logramos determinar de que se emiten 7933,33 moles de dióxido de carbono al día al momento de emplear 1000 Kg de gas licuado de petróleo.

1.5.2 EMISIONES EN EL PROCESO DE MOLDEO

Mediante búsqueda bibliográfica logramos dar con un punto clave para realizar una estimación sobre las emisiones de CO_2 presentes en el sistema de quemadores ubicados en el área de moldeo.

Esta información está directamente ligada a las emisiones de dióxido de carbono presentadas al utilizar una cierta cantidad de este combustible.

En este caso la información obtenida es que, al emplearse un barril de 42 galones de GLP, este tiende a producir unas cantidades de 235,7 7 Kg de CO_2 (Agencia de proteccion ambiental de estados unidos , 2019)

Gracias a este dato obtenido podemos realizar un estimado de cuanto dióxido de carbono se produce en esta área de trabajo.

El valor obtenido de los 235,7 7 Kg de CO_2, procederemos a multiplicarlo por los días del año, con lo cual tendremos una estimación sobre las cantidades de dióxido de carbono generadas al año, este valor puede variar dependiendo de las cantidades de combustible que se empleen en este proceso.

$$235{,}7 * 365 = 86.687\ kg/Co2$$

1.6 PROBLEMAS AMBIENTALES A CAUSA DEL DIOXIDO DE CARBONO

El aumento del dióxido de carbono, así como el forzamiento reactivo, están generando grandes impactos ambientales lo que genera múltiples consecuencias para nuestro medio ambiente. (Fundación Red de Árboles, 2018)
A causa de este aumento de CO_2, se nos han presentado grandes impactos climáticos irreversibles tales como el retroceso de glaciares, cambio en el tiempo de eventos estacionales, como el florecimiento precoz de plantas. (Fundación Red de Árboles, 2018)

Ilustración 8: Deshielos de glaciares producto de la contaminación ambiental

Fuente 16: Google imágenes

Dentro de los efectos más graves los cuales se han presentados se encuentran los siguientes:

1. Los gases de efecto invernadero están atrapados dentro de la atmosfera lo cual ocasiona un aumento en la temperatura terrestre, lo cual tiene como consecuencia la aparición de múltiples incendios. (Fundación Red de Árboles, 2018)
2. El aumento de los gases invernadero afectan directamente a los suministros de agua como también la agricultura y los recursos energéticos. Las plantas mueren y a consecuencia de esto los animales se ven obligados a trasladarse a habitad no nativos.
3. Un aumento en los niveles del mar provocados por el deshielo de la Antártida.

Ilustración 9: Contaminación ambiental

Fuente 17: Google imágenes

CAPITULO 2. TECNOLOGÌAS Y COMBUSTIBLES PROCESOS RAF

2.1 tecnologías requeridas en planta al emplear GLP

2.2 Propuesta de combustibles

2.2.1 KERESENE

2.2.2 DIESEL

2.2.3 PETRÓLEO

2.2.4 CARBÓN

2.2.5 GAS LICUADO DE PETRÓLEO

2.2.6 GAS NATURAL

2.2.7 AMONÍACO

2.1 TECNOLOGÍAS REQUERIDAS EN PLANTA AL EMPLEAR GLP

A raíz de los problemas de contaminación ambiental presentados en la actualidad, en este capítulo tenemos como fin determinar y presentar, las diversas propiedades y cualidades que presenta cada uno de los combustibles posiblemente empleables en este proceso de reducción.
Esto con el fin de llegar al punto para realizar y obtener una comparativa entre todos los combustibles que se mencionaran, basándonos principalmente en sus niveles de contaminación, costos y una que otra cualidad más, para así concluir finalmente cual o cuales combustibles son los más adecuados para llevar a cabo este tipo de labores.

Si bien de momento el gas licuado de petróleo (combustible utilizado actualmente) cuenta con múltiples propiedades, los cuales lo convierten en una opción, bastante acertada, ya que es bastante rentable y económico de utilizar y sin presentar mayores niveles de contaminaciones.
Por los altos índices de contaminaciones presentados hoy en día en nuestro ambiente es necesario que las empresas busquen y presenten innovaciones constantemente, para ir adaptándose a las necesidades del día a día.

Es por eso por lo que tenemos como finalidad realizar una investigación, para así determinar uno o más combustibles que sean de igual nivel que el empleado actualmente o más eficaces que este.
Todo esto con el fin que se mencionó anteriormente el cual es reducir significativamente los contaminantes generados hoy en día, ya que cada vez nuestro medio ambiente se ve más colapsado por los daños presentados por los diversos contaminantes que generan las grandes empresas.

Cabe mencionar que, al emplearse GLP, nuestra empresa debe contar con ciertos equipos los cuales están instalados para el depósito y almacenamiento de este combustible, además de las redes de transporte, métodos de limpieza y purificación, como también su suministro contante a los diversos procesos que necesiten de este.

Es por esto por lo que al implementarse o proponerse un nuevo agente reductor (Combustible), debemos considerar todos los equipos a reemplazar o actualizar.
Ya que hay combustibles tales como el gas natural que su almacenamiento y suministro varia, ya que las condiciones requeridas por este son distintas al actual empleado.

Filtros	En los sistemas de combustibles, es necesario implementar filtros para así evitar que la suciedad y otros elementos que puedan encontrarse en el agente, dependiendo de la calidad del combustible a implementar se debe definir si es necesaria la implementación de filtros.
Estanque de almacenamiento	La razón por la que el GLP , se encuentra licuado es para su fácil transporte y almacenamiento , esto ya que una unidad de líquido cuenta con el mismo contenido que 270 unidades de gas. Este combustible normalmente se encuentra almacenado en tanques de acero ubicados bajo tierra , esto para mantener una temperatura constante y evitar la evaporación de este combustible. De igual manera existen los tanques de almacenamiento ubicados sobre el suelo, son de menor, pero cuentan con la deficiencia que las temperaturas no son constantes por lo que presenta diferentes tasas de evaporación.
Tuberías	Los materiales utilizados en el sistema de tuberías del GLP incluyen acero al carbono, cobre y polietileno de alta densidad, las presiones de trabajo del sistema de tuberías de gas combustible deben ser inferiores a las presiones de clasificación de la tubería.**Fuente especificada no válida.** Para acero al carbón los tubos y accesorios de clase 150m son adecuados para trabajar a presiones de hasta los 20 $[Bar]$ a 38 $[Bar]$.
Bombas	Se requieren bombas para proporcionar la presión en las tuberías de gas comprimido, para así transportar un volumen dado desde el origen hasta el destino. Durante el proceso de bombear el gas comprimido desde las condiciones de entrada hasta la presión necesaria en el lado de descarga, la temperatura del gas aumenta con la presión
Vaporizadores	El GLP se almacena en estado líquido y debe evaporarse antes de su uso, la evaporación puede producirse de forma natural, al absorber calor de los alrededores o se debe aplicar calor al combustible, esto mediante este aparato implementado “vaporizador”.

Tabla 6: Equipos a reemplazar al cambiar combustible

Fuente 18: Propia

Ya con todo esto mencionado, continuamos con la presentación de los múltiples combustibles, que a base de una extensa búsqueda se logró dar con las diversas cualidades presentadas por cada uno, a lo cual a base de toda información procederemos a realizar una comparativa y determinar el / o los combustibles que son considerados como apropiados para estos procesos.

2.2 COMBUSTIBLES PROPUESTOS

2.2.1 KEROSENE

Propiedades	El queroseno es un líquido transparente inflamable el cual es obtenido mediante la destilación del petróleo, cuanta con una densidad intermedia entre la gasolina y el gasóleo, lo cual lo vuelve un combustible de gran resistencia. Se utiliza como combustible (el RP-1) en los motores de reacción y de turbina de gas, o bien se añade al gasóleo de automoción en las refinerías. Este mismo también es utilizado como disolvente o para la calefacción doméstica. • Color: transparente o ligera tonalidad amarillenta. • Densidad: 790/820 [Kg/m3] (de 5 a 7 veces más pesado que el aire) • Poder calorífico: 11.600 [$Kcal$ / Kg] • Masa molecular: 170 [g/mol.]
Composición química	En este caso no se le puede atribuir una formula química , ya que se haya compuesto de una mezcla variable lo cual puede ir desde , hidrocarburos parafínicos, olefnicos, cicloparafinicos y aromáticos, con un numero de átomos de carbono entre un rango de C10-C14.

Cualidades	Este combustible cuenta con ciertas propiedades lo cual le otorgan las siguientes cualidades. 1. Bajas emisiones de toxicidad. 2. Es un combustible bastante económico, y que otorga muy buen rendimiento. Cuenta con elevados índices de cetano, por ende, presenta una excelente ignición y eficiencia.
Costos	593,80 [US$/m3
Emisiones de Co2	Sobre los 0,260 [$KgCO_2$/kWh]
Desventajas	Dentro de las desventajas con las que cuenta este combustible frente a otros tipos de hidrocarburos tales como el gas licuado de petróleo o gasolina, es su alto nivel de contaminación. Esto ya que cuando se emplea este combustible tiende a emitir grandes cantidades de metales pesados, lo cual lo vuelve para nada amigable con el medio ambiente

Tabla 7: Propiedades KEROSENE

Fuente 19: Propia

2.2.2 DIESEL

Propiedades	El diésel es un hidrocarburo que se presenta en estado líquido, el cual está compuesto básicamente por parafinas. Este se obtiene mediante el proceso de destilación del petróleo crudo, el cual es sometido a procesos de purificación en donde se busca eliminar el azufre como otros componentes. Es empleado como combustible tanto en el área de calefacción como en motores, Esto ya que a comparación con la gasolina es más eficaz en tema de rendimiento, como también es más económico. • Color: Blanco / Verdoso • Densidad: 850 [Kg /m3] • Poder calorífico: 11.000 [$Kcal$ / Kg] • Masa molecular: 211,7 [g/mol] Este es un aceite pesado el cual se elabora en base al petróleo y otros hidrocarburos, a diferencia a la gasolina esta no cuenta con mezclas con etanol. Aproximadamente se encuentra compuesto por una cantidad de 86,1% de carbono, lo cual lo lleva a emitir concentraciones de CO_2 similares o cercanas a la gasolina
Composición química	El diésel se encuentra compuesto por un 75% de hidrocarburos saturados tales como (isoparafinas y cicloparafinas). Mientras que el resto son hidrocarburos aromáticos (alcalobencenos y naftalenos) • Su fórmula química es: [**C12H23]**
Cualidades	1. Los hidrocarburos que conforman este combustible son muy poco volátiles. 2. Dependiendo del lugar pueden ir variando los estándares de este como el petróleo utilizado como materia prima
Costos	574,26 [US$/m3]
Emisiones de Co2	0,287 [$KgCO_2$/kWh]
Desventajas	Los principales problemas de este combustible es su mala combustión, esto a causa de sus bajos niveles de cetano, lo cual provoca mayor consumo de combustible, perdida de potencia y aumento de emisiones

Tabla 8: Propiedades DIESEL

Fuente 20: Propia

2.2.3 PETRÓLEO

Propiedades	El petróleo es un combustible fósil, el cual se originó a base de la biomasa que se ha formado hace millones de años, Este combustible no puede ser fabricado por el hombre, por eso es parte de los combustibles no renovables. Se obtiene mediante depósitos naturales los cuales se encuentran ubicados entes los 600 y 5000 metros de profundidad en la tierra, En esos depósitos el petróleo se formó mediante la transformación de la materia orgánica acumulada formando así sedimentos. Una vez extraído este combustible mediante procesos de perforación es sometido a diversos procesos de refinado para así poder ser utilizado en la industria. • Color: negro • Densidad: 0,75-0,95 [Kg /m3] • Poder calorífico: 11.000 [$Kcal$ / Kg] • Masa molecular: 170,33 [g/mol]
Composición química	El petróleo es un líquido aceitoso compuesto principalmente de carbono e hidrogeno en la proporción de 83-87% de carbono y 11-14% de hidrogeno. Contiene abundantes impurezas de compuestos orgánicos en los que intervienen componentes tales como el azufre, oxigeno, nitrógeno, mercaptanos, [SO_2, H2S], alcoholes mezclados también con aguas saladas. Los petróleos son clasificados dependiendo de las series de hidrocarburos predominantes en este, la serie que los agrupa.
Cualidades	1. Al presentarse en estado líquido su distribución y almacenamiento son de mayor facilidad a comparación de otros combustibles **2.** Presenta una alta densidad energética , la cual es de 42.000 [KJ/ Kg] lo que sería unas 97 veces más que las pilas de litio y fosfato.
Costos	- 574,26 [US$/m3]
Emisiones de Co2	Sobre los 0,300 [$KgCO_2$/kWh]
Desventajas	El petróleo tiene el problema de ser insoluble en el agua, por lo tanto, es muy difícil de ser limpiado. Además, la combustión de este genera partículas de CO_2, [Sox] (óxidos de azufre) [NOx] (óxidos nitrosos), etc.

	Además, uno de los principales problemas de este combustible está relacionados con la fauna y vida, ya que en caso de derrame genera grandes problemas ambientales, por eso las industrias, deben cumplir con normas y procedimientos estrictos en materia de protección ambiental.

Tabla 9: Propiedades PETRÒLEO

: Comparativa de sensores

Fuente 21: Propia

2.2.4 CARBÓN

Propiedades	El carbón o también conocido como carbón mineral es un combustible sólido, constituido de rocas sedimentarias muy ricas en carbono, este es muy fácil de distinguir por su característico tono negro o pardo oscuro , además de la importante presencia de carbono que presenta, este mineral además puede contar con diversos otros elementos tales como el azufre, oxigeno, nitrógeno o hidrogeno. **Fuente especificada no válida.** Desde el comienzo este se ha utilizado como un combustible fósil, pero este no es un recurso renovable, aunque bien se caracteriza por ser un combustible del cual se presenta mayores cantidades de recursos, cifrándose estas en un 75% del total de las reservas estimadas. Así mismo cabe destacar la distribución geográfica con las cuales se presenta. Color: negro Densidad: 720-880 [Kg /m3] Poder calorífico: 4,000 a 7,000 [$Kcal$ / Kg] (dependiendo el tipo de carbón).
Composición química	Este combustible es originado a base de la descomposición de vegetales terrestres tales como hojas, maderas, corteza, etc. Las cuales son acumuladas en zonas pantanosas o lagunas marinas de poca profundidad. Este proceso toma varios millones de años lo cual da como resultado el conocido carbón, aunque bien hay diversos tipos de este.
Cualidades	El carbón es una de las fuentes de energía más abundantes en el mundo, Además de ser mucho más económico que otros combustibles tales como el petróleo o gas natural.
Costos	- 400,00 US$/m3

Emisiones de Co2	0,347 [$KgCO_2$/kWh]
Desventajas	Uno de los problemas más grandes que presenta este combustible son sus altos índices de contaminación, el carbón es uno de los contribuyentes a las lluvias acidas, adema de sus grandes emisiones de humos negros (CO_2). Además de ser peligroso contra la salud, en especial para los individuos que presentan complicaciones respiratorias

Tabla 10: Propiedades CARBÒN

Fuente 22: Propia

2.2.5 GAS LICUADO DE PETRÓLEO

Propiedades	El gas licuado de petróleo o [GLP] es un hidrocarburo que se obtiene mediante la refinación del petróleo o en el proceso de separación de los gases y gasolina presentes en los líquidos de gases naturales. El GLP una vez obtenido se presenta en estado gaseoso y mediante procesos de compresión y enfriamiento podemos transformarlo y manipularlo en estado líquido, con lo cual agilizamos su manejo y comercialización. • Color: incoloro • Densidad: 1,52 – 2,05 [Kg /m3] (más denso que el aire) • Poder calorífico: 10,900 [$Kcal$ / Kg] • Masa molar: 50,91 [Kg /mol].
Composición química	El GLP es un combustible fósil en la medida que este procede del petróleo o gas natural, Además de que este combustible no lo podemos encontrar como tal en los yacimientos, El GLP se encuentra compuesto por una mezcla de propano y butano (ambos gases pesados). • Su fórmula química es: **C3H8+C4H10**
Cualidades	1. Los gases del gas licuado de petróleo son incoloros y no son tóxicos, pero existe el peligro de presentar asfixia ya que este combustible tiende a desplazar el oxígeno presente. 2. Además de ser un combustible con bajas presencias de carbono , aproximadamente cuenta con un 50%menos de emisiones de CO_2 que el carbón. 3. También cabe mencionar que es una energía limpia y eficiente.
Costos	737,35 US$/m3
Emisiones de Co2	0,244 [$KgCO_2$/kWh]
Desventajas	La desventaja principal de este combustible son sus altos niveles de consumo , aunque bien es un combustible bastante económico.

Tabla 11: Propiedades GAS LICUADO DE PETRÒLEO

Fuente 23: Propia

2.2.6 GAS NATURAL

Propiedades	Así como todo compuesto químico, el gas natural posee ciertas cualidades que lo definen y que le son propias, este se encuentra compuesto por casi su totalidad por metano. Este combustible es uno de los 2dos más consumidos en España, esto a causa de las múltiples ventajas que ofrece a comparación de otras energías. • Color: Incoloro e inoloro (se le añaden odorizantes para detectar fugas) • Densidad absoluta: 0,78 Kg /m3 (menos denso que el aire) • Poder calorífico: 10,000 $Kcal$ / Kg • Contenido de azufre (S): 150 mg/m3 (n) como máximo. • Contenido de agua (H2O): 80 mg/m3 (n) como máximo. Además, cabe mencionar que el gas natural ha estado en constante crecimiento en los últimos años gracias a su eficiencia, como su fácil distribución sin depender de ningún proceso de transformación previo.
Composición química	El gas natural es una sustancia de origen fósil, el cual está constituido principalmente por la mezcla de gases los cuales pueden contar con un 95% de metano, y según su origen de extracción podría contener fracciones de hidrocarburos pesados, tales como (etano, propano y butano), como también otros gases como (nitrógeno y dióxido de carbono). • Su fórmula química es: **CH4**
Cualidades	1. El gas natural posee un rango de inflamabilidad muy limitado, esto ya que en concentraciones de aire que estén por debajo del 4% y por arriba de aproximadamente 14% no le es posible encenderse, además de que su alta temperatura requerida para la ignición y rango de inflamabilidad limitado se ven reducidas las posibilidades de sufrir un incendio o accidente. 2. Para que se logre producir la combustión de este es necesario que los elementos combustibles y oxigeno cuenten con la proporción correcta, de lo contrario no podrá producirse la reacción. La combustión solo se llevará a cabo si la mezcla de aire y gas tienen entre un 4,5% y 14,5%. 3. Lo requerido para una combustión optima es contar con una

	cantidad de 10% gas y 90% aire.
Costos	- 400,00 US$/m3
Emisiones de Co2	0,204 [$KgCO_2$/kWh]
Desventajas	Los principales problemas de este combustible es su mala combustión, esto a causa de sus bajos niveles de cetano, lo cual provoca mayor consumo de combustible, perdida de potencia y aumento de emisiones.

Tabla 12: Propiedades GAS NATURAL

Fuente 24: Propia

2.2.7 AMONÍACO

Propiedades	El amoniaco es un gas incoloro el cual cuenta con un olor característico el cual puede ser relacionado al sudor, este es un elemento químico fundamental para la fabricación de muchos productos de uso diario. Este es producido de manera natural en el ambiente, en el aire , suelo y agua, el cuerpo humano de igual manera produce amoniaco cuando se descomponen ciertos alimentos contenedores de proteínas y los transforma en aminoácidos y amoniaco. • Color: incoloro • Densidad: 073 Kg /m3 • Masa molecular: 17,93 g/mol
Composición química	El amoniaco es un compuesto químico el cual se encuentra formado por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrogeno (H) con lo cual se le atribuye la siguiente formula química, esta trata de un gas incoloro de olor bastante penetrante y soluble al agua, el cual al presentarse en estado líquido es fácilmente evaporable. Se caracteriza por contar con una base fuerte, corrosiva que además reacciona violentamente con ácidos, oxidantes fuertes y halógenos. • Su fórmula química es: **CH3**
Cualidades	Una de las principales características de este combustible son sus bajas o nulas emisiones de CO_2 cuando este se hace de forma limpia , lo que se logra combinando el llamado hidrogeno verde con el nitrógeno presente en el aire.
Costos	-600.00 US$/m3
Emisiones de Co2	No presenta emisiones de dióxido de carbono
Desventajas	Su principal desventaja es que es mucho menos denso en energía que los otros combustibles tradicionales o los utilizados con normalidad, por

	lo cual en base a esto debe contar con un triple de espacio para producir la misma cantidad que otro, además de ser toxico tanto para los humanos como para la fauna.

Tabla 13: Propiedades AMONÌACO

Fuente 25: Propia

CAPITULO 3. ANÀLISIS Y RESULTADOS

3.1 Análisis de combustibles presentados

3.2 Comparación de características de combustibles aptos

3.3 Comparación GLP/ GAS NATURAL

3.3.1 Comparación tiempos de reducción GLP/ GAS NATURAL

3.3.2 Comparación contenidos de oxígeno GLP/ GAS NATURAL

3.4 Resultados

3.1 ANÁLISIS DE COMBUSTIBLES PRESENTADOS

Ya presentados los diversos combustibles y mencionadas sus cualidades, costos y emisiones, procederemos a analizarlos detalladamente para así determinar cuál o cuáles de los siguientes pueden ser presentados como posibles sustitutos para el agente reductor actualmente utilizado (GLP), o sino bien determinar si el GLP es la mejor opción empleable actualmente.

De los diversos combustibles presentados en el capítulo anterior se proceden a analizarlos, a lo cual nos enfocaremos en las cualidades y desventajas que presentan cada uno.

Todo esto con el fin de determinar los agentes que puedan ser considerados como un sustituto viable, esto logrando una reducción de gases contaminantes, como también costos, una fácil accesibilidad de este, buenas reservas, y un buen poder calorífico.

Esto con la intención de conseguir buenos resultados a la hora de emplearse en la refinación a fuego, con todos estos términos claros daremos comienzo al análisis de estos.

KEROSENE	COMBUSTIBLE NO APTO
Si bien con anterioridad se mencionó que este combustible en particular contaba con bajas emisiones de dióxido de carbono, además de ser económico y con una excelente ignición. El gran problema que presenta este combustible en particular son sus altos índices de contaminación por metales pesados, por lo cual no es nada amigable con el medio ambiente y tendería a dar un efecto colateral, ya que en si a pesar de que se redujera la contaminación por dióxido de carbono, pero a la vez se incrementarían otros tipos de contaminaciones.	

Tabla 14: Análisis KEROSENE

Fuente 26: Propia

DIESEL	COMBUSTIBLE NO APTO
Este combustible no califico como apto, esto basado en que cuenta con índices de cetano muy bajos, lo cual le lleva a presentar muchos problemas de combustión, lo cual se vería reflejado en un mayor consumo de combustible, además de perdidas constantes de potencia. Además de que, comparado a otros combustibles, por las grandes deficiencias que presenta es bastante caro de acceder, esto ya que con menor dinero es posible encontrar mejores combustibles y con mejores características.	

Tabla 15: Análisis DIESEL

Fuente 27: Propia

PETRÓLEO	COMBUSTIBLE NO APTO
A pesar de ser un combustible bastante económico y accesible, el cual cuenta con un almacenamiento y distribución bastante practico debido a su estado líquido. Su gran deficiencia es la gran contaminación al momento de ocasionarse derrames, ya que es un líquido insoluble, con lo cual se hace extremadamente difícil limpiarlo, es por eso por lo que las industrias que lo emplean tienen que seguir estrictas normas y procedimientos de protección ambiental. Y sobre todo que es un combustible que tiende a emitir grandes niveles de contaminación tanto por dióxido de carbono, como también óxidos de azufre.	

Tabla 16: Análisis PETRÒLEO

Fuente 28: Propia

CARBÓN	COMBUSTIBLE NO APTO
Las principales deficiencias que presenta este combustible son sus porcentajes de azufre, esto ya que el carbón mineral cuenta con porcentajes superior al 2% por lo que nuestro fundido obtendría estas propiedades, además de contar con una alta presencia de humos negros CO_2, con lo cual estaríamos contradiciendo el objetivo principal de nuestro trabajo de investigación, el cual es disminuir la presencia de este compuesto.	

Tabla 17: Análisis CARBÒN

Fuente 29: Propia

GAS LICUADO DE PETRÓLEO	COMBUSTIBLE APTO
este combustible es uno de los tres de los cuales presentan menos emisiones de dióxido de carbono, además de que cuenta con ciertas características las cuales vuelven a este combustible una excelente opción para la reducción, es por eso por lo que hoy en día es empleado este combustible para realizar este procedimiento. • Los gases del gas licuado de petróleo son incoloros y no son tóxicos, pero igual siguen siendo peligrosos, ya que existe el riesgo de presentar asfixia ya que este combustible tiende a desplazar el oxígeno presente • Uno de sus puntos clave es la baja presencia de carbono con la que este combustible cuenta, aproximadamente un 50% menor a las emisiones generadas por el carbón. • Es una energía limpia y eficiente. • Cabe mencionar que este agente entre los tres mencionados, cuenta con muy buen poder calorífico, además de no presentar gran costo , es un combustible bastante accesible.	

Tabla 18: Análisis GAS LICUADO DE PETRÒLEO

Fuente 30: Propia

GAS NATURAL	COMBUSTIBLE APTO
El gas natural es el segundo de los combustibles seleccionados para analizar, esto ya que es uno de los combustibles que cuenta con menor presencia de dióxido de carbono, además de los bajos costos con los cuales se puede acceder a este agente reductor. Las cualidades presentadas por este combustible son las siguientes: • Es un gas bastante seguro, ya que este cuenta con un rango de inflamabilidad limitado, esto ya que en concentraciones de aire que se encuentren por debajo del 4% y por arriba de aproximadamente 14% no le es posible encenderse, con lo cual se ven drásticamente reducidas las posibilidades de sufrir un tipo de incendio o accidente. • Si bien ya mencionamos que este es uno de los combustibles con menores emisiones de dióxido de carbono, a diferencia del GLP no presenta tan buen poder calorífico, De igual manera a comparación del GLP este agente presenta un menor consumo promedio de combustible. • Además de contar con un costo de accesibilidad casi 50% menor al gas licuado de petróleo.	

Tabla 19: Análisis GAS NATURAL

Fuente 31: Propia

AMONÍACO	COMBUSTIBLE NO APTO
el amoniaco gracias a sus bajas emisiones de dióxido de carbono podría ser considerado uno de los mejores a la hora de implementarse como agente reductor, aun que además de presentar puntos positivos, cuenta con varios puntos negativos los cuales ponen en duda la viabilidad de este combustible. • Una de las principales características de este combustible son sus nulas emisiones de dióxido de carbono, esto siempre cuando este se haga de forma limpia , lo que se logra combinando el llamado hidrogeno verde con el nitrógeno presente en el aire. • Si bien es uno de los combustibles cuyas emisiones de dióxido de carbono pueden ser inexistentes, este agente en particular es bastante toxico tanto para la salud como para el medio ambiente, las complicaciones que podrían presentar las personas expuestas a este agente pueden ser desde, daños cerebrales al contar con exposiciones altas, enfermedades al hígado, comas e incluso la muerte. Por lo que la verdad a pesar de sus nulas emisiones de dióxido de carbono no podría ser utilizado como agente reductor, ya que tendería a perjudicar mucho la salud humana.	

Tabla 20: Análisis AMONÌACO

Fuente 32: Propia

Finalmente determinamos que de los siete (7) combustibles presentados con anterioridad, el Gas licuado de petróleo y el Gas natural son los más aptos para este tipo de labores. Esto basándonos en sus propiedades, costos, emisiones y accesibilidades que presentan estos dos.

Con lo cual procederemos a analizar más detalladamente estos dos combustibles.

Toda esta comparativa a por realizarse nos será de gran ayuda al final, ya que podremos concluir cual de estos o si bien ambos combustibles tienden a cumplir con mayor tasa de éxito su labor. Además de analizar en qué circunstancias tiende a ser más eficaz uno que el otro

3.2 COMPARACIONES DE CARACTERISTICAS COMBUSTIBLES APTOS

Mediante una extensa investigación bibliográfica logramos a dar con diversos puntos clave los cuales tienen enfoque en nuestros ambos combustibles aptos para esta lavor, los cuales son el GLP (Gas licuado de petróleo) y el Gas natural, ambos con composiciones similares. Esto ya que el GLP vendría siendo una mezcla de gas natural con contenidos de petróleo, lo cual le otorga diversas cualidades a comparación del Gas natural común y corriente, además de contar con muchos mejores resultados que el petróleo puro.

En donde en estos múltiples puntos nos enfocaremos en evaluar las propiedades de ambos agentes reductores para finalmente concluir cual es más apropiado y en qué condiciones uno tiende a ser más eficaz que otro, todo esto a base de los datos e información obtenidas.

Diferencias	Propano	Gas Natural
Precio por kWh	0,08 - 0,14 €/kWh	0,04 - 0,06 €/kWh
Poder calorífico inferior	26,20 KWh/Nm3	10,83 KWh/Nm3
Poder calorífico superior	✔ 28,46 KWh/Nm3	11,98 KWh/Nm3
Resistencia al frío	✔ -44ºC	✘ -5ºC (por tuberías o válvulas externas)
Ideal para climas	Fríos	Templados
Distribución	Depósitos a granel y canalizado Bombonas de 11 y 35 kg	Red de gasoductos
Consumo promedio	Medio (200 - 470 kWh/mes)	Bajo (180 - 350 kWh/mes)
Reservas mundiales	40-45 años	60-65 años
Contaminación (CO2 producido)	↑ 0,244 kgCO2/kWh	↓ 0,204 kgCO2/kWh

Figura 4: Diferencias GLP/ Gas natural

Fuente 33: *(PropanoGas Selectra, 2023)*

Como logramos apreciar en la figura anteriormente presentada, contamos con las diferencias presentadas entre ambos combustibles, en donde los puntos de mayor interés son los costos de cada combustible y las emisiones generadas.

De igual manera un punto clave son los poderes caloríficos ya que de igual manera, independiente de que un combustible sea más económico y menos dañino que su contrincante, ya que el claro ejemplo es el gas natural, tiende a ser mucho más barato que el GLP además de con menos niveles de contaminación, pero al contar con niveles tan bajos de poder calorífico vamos a requerir de cantidades mayores que al emplear el actualmente utilizado GLP.

Con lo cual los contaminantes y costos tenderían a ser mucho mas grandes que al emplear el actual, de igual manera dependemos mucho de el ambiente que presentemos y los climas con los cuales contemos.

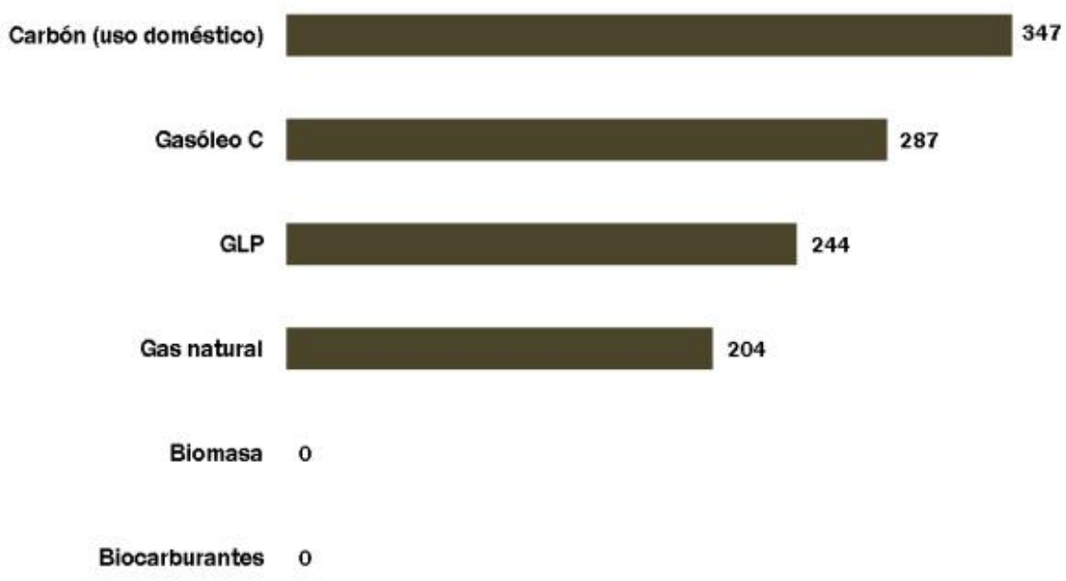

Figura 5: Emisiones Co2 diversos combustibles

Fuente 34: *(Antonio, 2012)*

Figura 6: Poderes caloríficos GLP/ GAS NATURAL

Fuente 35: *(PropanoGas Selectra, 2023)*

Para continuar en las dos tablas presentadas, continuamos presentando cualidades en este caso contamos con unos gráficos en donde nos permite interpretar de mejor manera la diferencia de contaminación de dióxido de carbono (lo cual es el enfoque principal de nuestro trabajo de investigación), generada por uno que otro combustible, mostrándonos además de que el gas licuado de petróleo y el gas natural son los que presentan menor índice de generar este contaminante en particular.

Además de presentar una comparativa entre ambos combustibles GLP/GN comparando sus poderes caloríficos lo cual tocaremos mas a fondo y mencionaremos por que es tan importante este tema mas que los costos o cualidades que presente en sí.

Con esta información ya podríamos basarnos para realizar una comparativa más detallada y analizar más a fondo estos agentes, pero de igual manera seguiremos analizando más puntos de estos mismos, para así determinar cuál es el más apropiado basado en nuestras condiciones de trabajo, además de las cualidades con las que nuestro fundido ingresa a nuestra operación de reducción, ya que en si esto puede afectar mucho en la viabilidad que tenga cada uno de los combustibles, por lo cual estos factores son muy importantes de analizar y considerar a la hora de seleccionar un nuevo sustituto para este proceso en sí

3.3 COMPARANDO EFICIENCIA GLP / GAS NATURAL

3.3.1 COMPARANDO TIEMPOS DE REDUCCION GLP/ GAS NATURAL

Mediante búsqueda bibliográfica logramos dar con las siguientes tablas en donde en la primera, la que se presentara a continuación, podemos observar que esta misma está comparando los tiempos de reducción de trabajo de ambos combustibles.

En donde podemos apreciar claramente que dependiendo del tiempo al cual se presente nuestro fundido un combustible tiende a tener índices de éxito mas elevados que su contrincante, el claro ejemplo es entre los minutos 95 a 100, en donde el gas natural tiende a tener mayor eficacia en este, de igual manera esto vendría siendo solo una ilustración para guiarnos que ambos combustibles tienen similares índices de éxito, ya que para obtener una respuesta clara sobre cual es mejor, debemos extender nuestro trabajo de investigación drásticamente y nos saldríamos de nuestros objetivos en si.

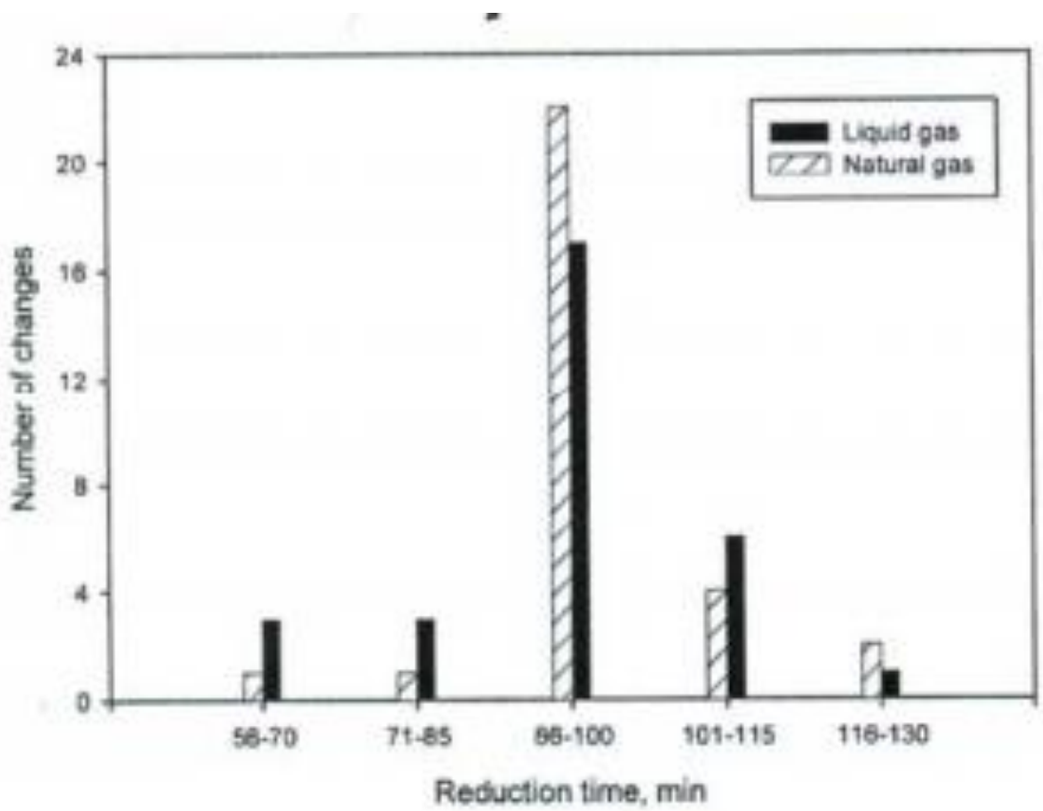

Figura 7: Tiempos de reducción GLP/ GAS NATURAL

Fuente 36: *(soltanieh & Karimi, 2005)*

3.3.2 COMPARANDO CONTENIDOS DE OXIGENO GLP / GAS NATURAL

Ya en nuestra segunda tabla se nos presenta una comparativa de igual manera entre ambos combustibles, pero en este caso presentándonos la ppm de oxigeno a las cuales trabajan lo cual es el GLP tiende a tener mayor eficacia entre los 500- a 1000ppm de oxigeno mientras que el gas natural entre los 1500- 2000 ppm

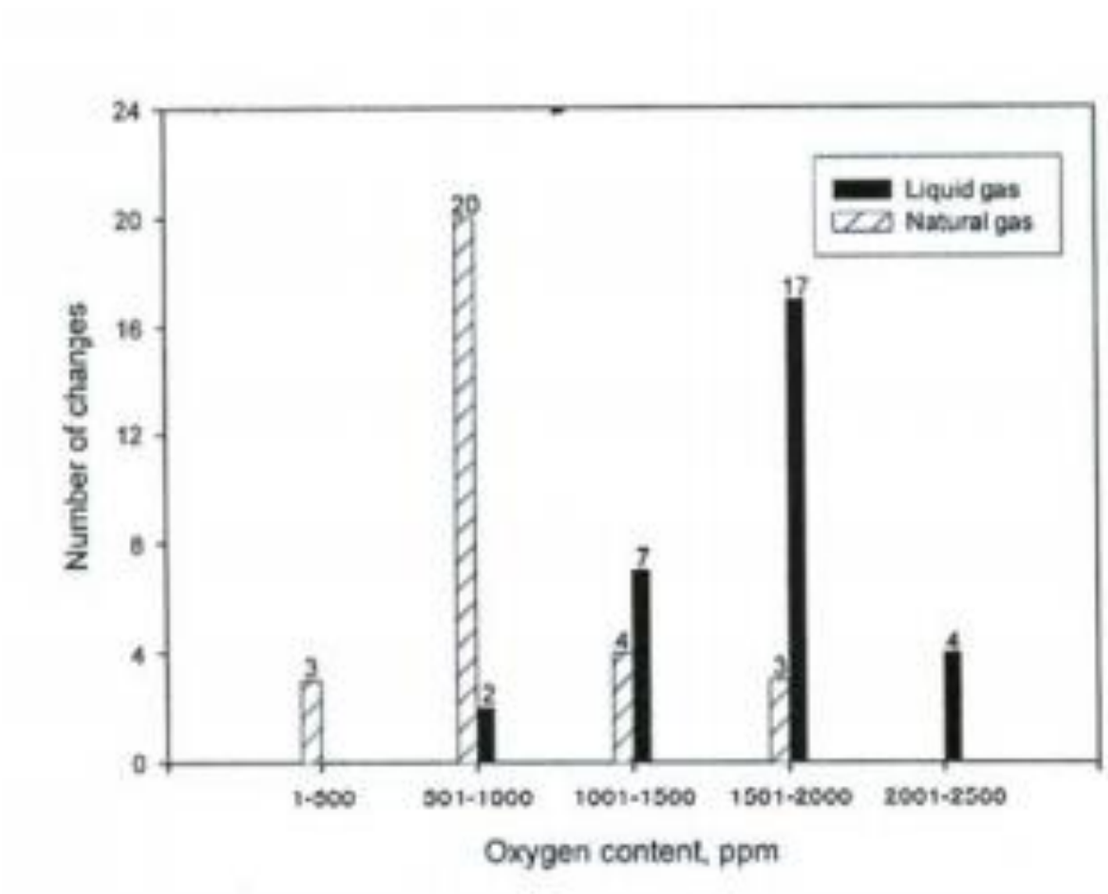

Figura 8: Contenidos de oxigeno (PPM) GLP/ GAS NATURAL

Fuente 37: *(soltanieh & Karimi, 2005)*

3.4 RESULTADOS

A base de todos los datos obtenidos mediante nuestra investigación logramos armar nuestra propia tabla comparativa.

DIFERENCIAS	GLP	GAS NATURAL
Precios	737,35 US$/m3 0,08-0,14 €/kWh	- 400,00 US$/m3 0,04-0,06 €/kWh
Poder calorífico	10,900 [$Kcal$ / Kg]	10,000 $Kcal$ / Kg
Condiciones climáticas ideales	Ideal para climas fríos , ya que resiste temperaturas bajo los -44ºC	Ideal para climas cálidos, ya que resiste solo hasta los 5ºC
Reservas	40 – 45 años	60 – 65 años
Contaminación Co2	+0,244 [$KgCO_2$/kWh]	-0,204 [$KgCO_2$/kWh]
Consumo mensual	200 a 470 kWh	Bajo los 180 a 350 kWh
Distribución	Mediante deposito	Mediante Red de gasoductos

Tabla 21: Comparativa de combustibles GLP/GN

Fuente 38: Propia

En base a toda la información obtenida sobre estos diversos combustibles, obtuvimos como resultado esta tabla en donde se nos permite identificar mas a fondo uno que otro combustible, de igual manera es necesario implementar un estudio mas extenso para obtener mayores resultados.

Pero de igual manera en base a la búsqueda bibliográfica y gracias a las tablas pudimos determinar que entre ambos combustibles, para obtener la misma eficiencia que el GLP, el gas natural seria necesario implementarlo una cantidad de 2,9 veces mayor que este, con lo cual los consumos y costos nos incrementaría, de igual manera que las emisiones generadas por este, ya que requeriríamos del doble casi triple para obtener resultados similares a su competencia.

Aun que otro punto a mencionar es en la segunda tabla sobre los contenidos de oxigeno presentes en el fundido, podemos obtener como resultado y concluir que la eficiencia en el consumo de gas es mayor en el caso del gas natural que para el GLP.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

Mediante la investigación bibliográfica realizada, en primera instancia se pudo caracterizar todo el proceso de refinación a fuego junto a sus subprocesos, con lo cual logramos relacionar la información técnica de este y sus emisiones presentadas actualmente al utilizar el gas licuado de petróleo como agente de reducción para este, lo cual nos es de gran utilidad para comenzar la estructura de nuestro informe, con lo cual nuestro objetivo sería proponer un nuevo combustible que busque innovar la industria, esto cumpliendo con condiciones las cuales sean consideradas más apropiadas para las necesidades ambientales de hoy en día.

Como segundo punto se presentaron diversos combustibles, todos estos obtenidos mediante búsqueda bibliográfica, basados en páginas web, trabajos de título, etc. En los cuales se mencionaban sin mayor detalle estos siete combustibles como posibles viables para el proceso de refinación, ya que en si vinieran siendo combustibles válidos para esto.

Basados en estos combustibles obtenidos, decidimos tocarlos más a detalle y realizar un estudio basándonos en búsqueda bibliográfica, con los cuales teníamos el fin de dar con puntos clave de estos mismos, tales como cualidades, desventajas, costos y sobre todo emisiones de dióxido de carbono, esto ya que nuestro trabajo de título tiene como finalizad este punto en sí.

En si decidimos adentrarnos más al tema y además de tocar el tema del dióxido de carbono solamente, decidimos enfocarnos en todo el tema ambiental, ya que este es un problema grande que sufrimos hoy en día y de no realizar mejoras en la industria, podría ser un problema sin retorno.

Con lo cual finalmente realizamos una extensa tabla, en las cuales se mostraron estos agentes reductores y todas las cualidades que estos presentaban, esta información nos permitió realizar nuestro tercer y final punto de nuestro trabajo de investigación.

Ya en nuestro tercer punto como mencionamos con anterioridad, nos basamos en los resultados obtenidos en el capítulo dos, con lo cual analizamos estos agentes presentados y determinamos cuales de estos eran aptos para este trabajo de reducción. De los siete combustibles propuestos solamente dos pasaron la prueba, los cuales vendrían siendo el actualmente utilizado GLP (gas licuado de petróleo) y el Gas natural.

Una vez determinado que estos dos combustibles son los que cuentan con mejor viabilidad a la hora de implementarlos, se procedió a realizar una extensa comparación de estos dos, basándonos en diversos puntos tales como:

- Contaminación
- Eficiencia
- Precios
- Etc.

Con todo esto ya claro finalmente se llegó a la conclusión de que, si bien el gas natural es una excelente alternativa para sustituir al Gas licuado de petróleo, lo cual era nuestro objetivo principal "Propuesta de reemplazo de gas licuado", es necesario realizar una segunda investigación, ya que, en caso de tocarla en este informe, nos estaríamos desviando de nuestro tema principal y la extenderíamos de una manera bastante drástica.

Esto basando en que para implementar este sustituto que encontramos, debemos analizar tanto las zonas ambientales de nuestra planta de refinación, ya que ambos agentes reductores cuentan con distintas zonas de confort, por ejemplo, el gas natural tiende a ser más eficaz en climas cálidos, mientras que el GLP es mejor en climas fríos.
Además de como bien mencionamos con anterioridad en el capítulo dos, de ser necesario un cambio debemos analizar los diversos equipos de transporte, almacenamiento e implementación, los cuales varían entre un combustible y otro.

Con lo cual reitero, el Gas natural es una excelente opción para sustituir al GLP, por las diversas cualidades que presenta esta misma.

Como recomendación se llegó a la idea de dar inicio o permitir realizar un segundo estudio basado en estos equipos, para realmente determinar la viabilidad del combustible propuesto en este informe, lo cual podría generar que a futuro se llegue a implementar este agente reductor, para así reducir de manera más drástica los contaminantes generados en la industria minera.

BIBLIOGRAFIA

Agencia de proteccion ambiental de estados unidos . (2019). *EPA.gov*. Obtenido de https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculadora-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero-calculos

Antonio, N. (2012). *WordPress*. Obtenido de https://antonionarejos.wordpress.com/2012/06/14/cuanto-co2-emite-el-gas-natural/

Fundación Red de Árboles. (2018). *Red de Árboles*. Obtenido de https://www.reddearboles.org/noticias/nwarticle/273/3/consecuencias-emisiones-dioxido-de-carbono

Osinergmin. (2004). *Osinergmin organismo supervisor de la inversiòn en energia y mineria* . Obtenido de http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1430.htm

Perez Pino, F. J., & Soto Payares, A. E. (2009). Diseño, Calculo y construccion de un horno de fundicion de aluminion tipo basculante y sus moldes. *(Tesis de licenciatura).* Universidad de Pamplona, Pamplona.

pino, F. j. (2009). *Slideshare*. Obtenido de https://es.slideshare.net/JorgeCastilloCobeas/horno-basculante

PropanoGas Selectra. (2023). *PropanoGas* . Obtenido de https://propanogas.com/alternativas/gas-natural

Ramírez, R., Bustamante, R., & Manríquez, J. (2003). *INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA.* Universidad de santiago de chile , Departamento de infenierìa metalurgica, Santiago.

Riveros, U., & Gabriel, A. (2009). *REDUCCIÓN A FUEGO CONTINÚA DE COBRE LÍQUIDO.* Universidad de Chile .

Rodriguez, K. (2020). *Rueda de Moldeo de Anodos.* Universidad de Atacama, Departamento de Metalurgia , Atacama.

Sebastian, V. (2011). *Analisis de fallas para la disminucion de efectos en anodos obtenidos en una fundiciòn de cobre.* valparaiso. Obtenido de http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-0500/UCF0562_01.pdf

soltanieh, M., & Karimi, Y. (2005). *copper reduction in anode furnaces with natural gas.* iran: canadian metallurgical .

Teps Group S.A.C. (2012). *El gas natural y sus diferencias con el GLP.* lima: Mad Corp S.A.

Tratado de cooperación en materia de patentes. (25 de Junio de 2009). *Patentimages.* Obtenido de

https://patentimages.storage.googleapis.com/84/9c/87/34c33f128ab2f9/WO2009077851A1.pdf