

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO,**  
**GAS NATURAL Y PETROQUÍMICA**



**EVALUACIÓN DE UNA PLANTA DE**  
**PRODUCCIÓN DE HIERRO ESPONJA A**  
**PARTIR DEL GAS NATURAL DE CAMISEA**  
**EN EL SUR DEL PERÚ**

**TITULACIÓN POR TESIS PARA OPTAR EL**  
**TÍTULO DE PROFESIONAL DE INGENIERO PETROQUÍMICO**

**ELABORADO POR:**  
**LEILA EDITH GÁLVEZ ROMERO**

**PROMOCIÓN: 2010 - I**  
**LIMA – PERÚ**

**2014**

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la fortaleza necesaria para hacer de mis sueños una realidad. A mi padre Antonio Gálvez León por su apoyo y por la confianza depositada en mí, a mi madre Ruth Romero Verástegui por la comprensión y motivación constante. A mis hermanos Lesly por ser ejemplo de una hermana mayor, Nahún y Mavy, por ser motivo de alegría. Gracias con especial cariño a todas las personas que ayudaron en la realización de este proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi asesor de tesis el Ing. Cesar Lujan Ruiz que con mucha dedicación me ayudo a lograr los objetivos planteados en este trabajo. A dos grandes amigos Richard Casas Alcalá y al Dr. William Soto Valencia por motivarme a seguir adelante y haber creído en mí hasta el último momento.

Gracias familia y amigos esto representa el final de una de las etapas más importantes en mi vida y el inicio de otra que será aún más enriquecedora.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE CUADROS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xi</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1 PROBLEMÁTICA .....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3.1 Disponibilidad de mineral de hierro en el Sur del País .....	2
1.3.2 Disponibilidad de Gas Natural .....	3
1.3.3 Genera valor agregado al mineral de hierro .....	4
1.3.4 Eliminar la necesidad de importar insumos .....	4
1.4 OBJETIVOS .....	9
1.4.1 Objetivo General .....	9
1.4.2 Objetivos específicos.....	9
1.5 HIPÓTESIS.....	9
1.6 VARIABLE DEPENDIENTE Y VARIABLES INDEPENDIENTES DE LA HIPÓTESIS.....	9
1.7 MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	10
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2 DEFINICIÓN DE RECURSOS MINERAL Y RESERVA MINERAL BAJO EL CÓDIGO DE JORC .....	11
2.1 Recurso mineral .....	11
2.2 Reserva mineral .....	13
3 PRINCIPALES PROYECTOS MINEROS AL SUR DEL PERÚ.....	15
3.1 Proyecto Pampa del Pongo – Arequipa .....	15
3.2 Proyecto Mariela – Arequipa.....	17
3.3 Proyecto Opabán – Apurímac.....	18

3.4	Proyecto Colcabamba – Apurímac .....	20
3.5	Proyecto de Santo Tomas – Cusco.....	22
3.6	Proyecto Cerro Ccopane – Cusco .....	23
3.7	Mina de hierro Morritos – Tacna .....	26
3.8	Cuadro resumen de los principales proyectos en el Sur del Perú .....	27
3.9	Ubicación de los proyectos de mineral de hierro en el Sur del Perú .....	29
4	LA INDUSTRIA SIDERURGICA EN EL PERÚ .....	30
4.1	Demanda .....	30
4.2	Oferta nacional de acero .....	32
5	MERCADO INTERNACIONAL DEL ACERO.....	33
5.1	Demanda .....	33
5.2	Oferta .....	34
6	PRODUCCIÓN MUNDIAL DE HIERRO DE REDUCCIÓN DIRECTA POR REGIÓN EN EL MUNDO.....	35
7	ESTUDIO DE LOS PROCESOS EXISTENTES EN LA PRODUCCIÓN DE ACERO EN EL PERÚ.....	38
7.1	Proceso productivo de Corporación Aceros Arequipa.....	38
7.1.1	Proceso de producción de hierro esponja por reducción directa .....	38
7.1.2	Proceso de Fragmentación de acero reciclado.....	40
7.1.3	Proceso de Acería .....	41
7.2	Proceso productivo de SIDERPERU .....	43
7.2.1	Las Usinas integradas .....	43
7.2.2	Usinas Semi-integradas .....	45
8	MATERIA PRIMA PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE HIERRO DE REDUCCIÓN DIRECTA .....	46
8.1	Mineral de hierro.....	46
8.2	Procesamiento del mineral de hierro y productos obtenidos .....	47
8.2.1	Molienda y concentración .....	47
8.2.2	Mineral de hierro grueso .....	48
8.2.3	Mineral de hierro fino.....	48
8.2.4	Peletización .....	49
8.2.5	Pellet de mineral de hierro.....	49
9	PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA.....	50
9.1	Reacciones químicas de la reducción del mineral de hierro .....	51

10	USO DEL GAS NATURAL EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO ESPONJA.....	52
11	PROCESOS PARA OBTENER EL HIERRO ESPONJA A PARTIR DEL GAS NATURAL.....	52
11.1	Procesos de Reducción Directa.....	53
11.2	Tecnología FINMET.....	53
11.2.1	Proceso de reducción FINMET.....	54
11.3	Tecnología HYL.....	56
11.3.1	Proceso de reducción HYL.....	56
11.4	Tecnología MIDREX.....	58
11.4.1	Proceso de reducción MIDREX.....	58
11.4.2	Minerales utilizados en el proceso MIDREX y su importancia.....	63
12	PRODUCTOS DEL PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA.....	64
12.1	Hierro de Reducción Directa (HRD).....	64
12.2	Hierro Briqueteado Caliente (HBC).....	64
12.3	Diferencias entre los productos de Reducción Directa.....	65
13	PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE LOS PROCESOS DE REDUCCIÓN DIRECTA:.....	66
13.1	Productos que cada tecnología ofrece.....	66
13.2	Alimentación de mineral de hierro por tecnología.....	66
13.3	Diferencia entre los equipos y variables de cada proceso.....	66
13.4	Producción de hierro de reducción directa a nivel mundial según licenciante de tecnología.....	67
13.5	Cantidad de Plantas instaladas en el mundo según licenciante de tecnología	68
14	TRANSPORTE DEL GAS NATURAL POR EL GASODUCTO SUR PERUANO Y SU RELACIÓN CON EL MINERAL DE HIERRO EN ESTA ZONA DEL PERÚ.....	70
14.1	Área de Influencia del Gasoducto Sur Peruano.....	71
14.2	Ruta del Gasoducto Sur Peruano.....	72
14.3	Potenciales clientes del Gasoducto del Sur.....	73
14.4	Situación actual de los proyectos petroquímicos.....	74
14.5	Cantidad de gas natural para el Gasoducto Sur Peruano.....	75
14.6	Construcción de la infraestructura para el transporte y procesamiento de Gas Natural.....	77

14.7 Ubicación de las reservas de mineral de hierro y la posible ruta del Gasoducto Sur para su puesta en valor.....	80
15 DIMENSIONAMIENTO DEL PROYECTO Y LOCALIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES .....	81
15.1 Capacidad de producción.....	81
15.2 Flujo de Materiales .....	82
15.3 Ubicación de la Planta .....	84
16 CONSIDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	86
16.1 Índice de Costos.....	86
16.2 Asunciones para la evaluación económica .....	89
16.3 Análisis de sensibilidad.....	92
17 ASPECTOS AMBIENTALES .....	92
17.1 Determinación de los Controles.....	93
17.2 Normas y Base Legal .....	93
17.3 La industria Siderúrgica y el ambiente .....	94
17.4 Factores de Emisión de CO <sub>2</sub> .....	94
17.5 Análisis de las emisiones de los procesos vía Gas Natural y Coque metalúrgico.....	95
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>97</b>
3.1 Resultado de mercado .....	97
3.2 Ubicación de la planta.....	98
3.3 Selección de tecnología.....	98
3.4 Evaluación económica .....	100
3.4.1 Planta de procesamiento de mineral de hierro.....	100
3.4.2 Planta de pellets de mineral de hierro .....	101
3.4.3 Planta de briquetas de mineral de hierro .....	102
3.5 Evaluación Ambiental.....	110
<b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>111</b>
4.1 CONCLUSIONES .....	111
4.2 RECOMENDACIONES.....	113
<b>CAPÍTULO V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>114</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.1 Resumen de las reservas y recursos de mineral de hierro en la zona Sur del Perú.....	3
Cuadro N°1.2 Recursos de hidrocarburos al 31 de Diciembre del 2012.....	3
Cuadro N° 1.3 Precio de mineral de hierro .....	4
Cuadro N°1.4 Productos férreos importados obtenido por reducción directa de mineral de hierro .....	5
Cuadro N° 1.5 Cantidad de importación de carbón de hulla al Perú.....	6
Cuadro N° 2.1 Estimación de recursos de mineral de hierro inferido en el proyecto Pampa del Pongo.....	16
Cuadro N° 2.2 Estimación de recursos de mineral de hierro inferido en el Proyecto Opabán. ....	19
Cuadro N° 2.3 Recursos del mineral de hierro en el Proyecto Santo Tomas.....	22
Cuadro N° 2.4 Recursos del mineral de hierro en el Proyecto Cerro Ccopane – Zona Orcopura.....	24
Cuadro N° 2.5 Recursos del mineral de hierro en el Proyecto Cerro Ccopane – Zona Aurora y Huillque .....	24
Cuadro N° 2.6 Recursos del mineral de hierro en el Proyecto Cerro Ccopane – Zona Bob 1 .....	25
Cuadro N° 2.7 Recursos Total del mineral de hierro en el Proyecto Cerro Ccopane	25
Cuadro N° 2.8 Clasificación de las reservas y recursos en categorías .....	26
Figura 2-9 Explotación a cielo abierto en la mina de hierro Morritos.....	27
Cuadro N° 2.9 Principales proyectos en el Sur del Perú .....	28
Cuadro N ° 2.10 Consumo aparente de Acero Laminado en el Perú .....	30
Cuadro N ° 2.11 Participación en el mercado de productos largos .....	31
(Como porcentaje de la demanda doméstica total) .....	31
Cuadro N ° 2.12 Participación en el mercado de productos planos .....	31
(Como porcentaje de la demanda doméstica total) .....	31
Cuadro N° 2.13 Producción de acero crudo en el Perú durante los últimos 5 años ...	32
Cuadro N° 2.14 Consumo aparente de acero laminado en el Mundo .....	33
Cuadro N° 2.15 Los 10 Principales países productores de acero del mundo.....	35
Ranking año 2012 .....	35
Cuadro N° 2.16 Producción de HRD en el mundo .....	36

Cuadro N° 2.17 Principales tecnologías de producción de Hierro de reducción directa utilizando Gas Natural.....	53
Cuadro N° 2.18 Características típicas de los productos de reducción directa.....	65
Cuadro N°2.19 Plantas de Reducción Directa en el Mundo .....	68
Cuadro N° 2.20 Diferencias principales entre los licenciantes de tecnología de los procesos de reducción directa en base al gas natural .....	69
Cuadro N° 2.21 Potenciales usos del gas natural.....	73
Cuadro N°2.22 Reservas de gas natural asignada al Gasoducto Sur Peruano .....	76
Cuadro N°2.23 Equivalencia entre la producción de acero crudo y el hierro esponja .....	81
Cuadro N°2.24 Chemical Engineering Plant Cost index (CEPCI) 2005 – 2014 .....	86
Cuadro N°2.25 Índice de Costo (CEPCI) de Plantas de referencia .....	87
Cuadro N° 2.26 Capacidad de plantas de referencia.....	87
Cuadro N° 2.27 Calculo del CAPEX .....	88
Cuadro N°2.28 Aspectos ambientales asociados a la unidad de producción.....	92
Cuadro N°2.29 Factores de emisión de CO <sub>2</sub> .....	95
Cuadro N° 2.30 Cuadro comparativo del posible impacto en el incremento de las emisiones de CO <sub>2</sub> .....	96
Cuadro N°3.1 Mercado de acero laminado .....	97
Cuadro N° 3.2 Factores considerados importantes en la selección del puerto de.....	98
Ilo .....	98
Cuadro N°3.3 Resumen de las características tecnológicas y sus ventajas consideradas importantes en la selección de la Tecnología MIDREX .....	99
Cuadro N°3.4 Costos de procesamiento de mineral de hierro por año .....	100
Cuadro N°3.5 Costo fijo por año de la planta de pellets de mineral de hierro .....	101
Cuadro N°3.6 Costo variable por año de la planta de pellets de mineral de hierro .	101
Cuadro N°3.7 Costo fijo por año de la planta de briquetas de mineral de hierro ....	102
Cuadro N°3.8 Costo Variable por año de la planta de Briquetas de mineral de Hierro .....	102
Cuadro N°3.9 Cálculos económicos del escenario .....	103
Cuadro N°3.10 Flujo de caja económico del escenario (cifras en MMUS\$).....	104
Cuadro N° 3.11 Sensibilidad de los precios de la materia prima del escenario.....	106
Cuadro N°3.12 Sensibilidad de la capacidad de producción del escenario .....	107
Cuadro N° 3.13 Sensibilidad de los precios de los productos del escenario .....	108

Cuadro N° 3.14 Cronograma de actividades en las etapas de implementación e inicio de operación hasta el año 2019 .....	109
--	-----

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1 Procedencia de las importaciones de carbón de hulla al Perú .....	7
Gráfico 1-2 Precio del carbón de hulla entre los años 2008 -2012 .....	7
Grafico 2-1 Producción mundial de acero crudo .....	34
Grafico 3-1 Flujo de caja económico y Payback .....	105

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Recursos y reservas minerales – Código JORC .....	14
Figura 2-2 Ubicación del Proyecto Pampa del Pongo .....	15
Figura 2-3 Ubicación del Proyecto Mariela .....	17
Figura 2-4 Ubicación del proyecto Opabán .....	19
Figura 2-5 Ubicación del proyecto de Colcabamba .....	21
Figura 2-6 Ubicación del proyecto Santo Tomas .....	22
Figura 2-7 Ubicación del proyecto de Cerro Ccopane .....	23
Figura 2-8 Ubicación de mina de hierro Morritos .....	26
.....	29
Figura 2-10 Mapa de ubicación de los principales proyectos de mineral de hierro en el Sur del Perú .....	29
Figura 2-11 Resumen de la producción mundial de HRD .....	37
Figura 2-12 Hornos tubulares rotatorios inclinados "kiln" .....	39
Figura 2-13 Planta de Reducción Directa .....	40
Figura 2-14 Proceso de Fragmentación .....	41
Figura 2-15 Proceso productivo Corporación Aceros Arequipa .....	42
Figura 2-16 Proceso de producción de acero vía alto horno – SIDERPERU .....	44
Figura 2-17 Usinas integradas – Proceso de reducción directa .....	44
Figura 2-18 Usinas Semi – integradas .....	45
Figura 2-19 Mineral de hierro grueso .....	48

Figura 2-20 Mineral de hierro fino.....	48
Figura 2-22 Diagrama de proceso de reducción FINMET.....	55
Figura 2-23 Proceso de Reducción FINMET.....	56
Figura 2-24 Diagrama de proceso de reducción HyL .....	57
Figura 2-25 Proceso de Reducción HYL .....	58
Figura 2-26 Diagrama de proceso de reducción MIDREX.....	60
Figura 2-27 Proceso de Reducción MIDREX.....	61
Figura 2-28 Reformador MIDREX de Gas Natural .....	62
Figura 2-29 Sistema de recuperación de calor .....	62
Figura 2-30 Productos de la reducción directa.....	64
Figura 2-31 Producción de HRD por proceso en el Mundo .....	67
Figura 2-32 Mapa del Proyecto Gasoducto Sur Peruano .....	71
Figura 2-33 Ruta del proyecto del Gasoducto Sur Peruano presentado por el Ministerio de Energía y Minas .....	72
Figura 2-34 Diagrama de la posible construcción de la infraestructura y procesamiento de gas natural .....	79
Figura 2-35 Ubicación de los proyectos de mineral de hierro y la posible ruta del Gasoducto Sur Peruano .....	80
Figura 2-36 Flujo de materiales de la planta de reducción .....	83
Figura 2-37 Zona de industria media -Ilo .....	85
Figura 2-38 Terminal portuario de Ilo .....	85
Figura 2-39 Incremento de las emisiones de CO2 por año generada por una planta de Producción de hierro esponja de 1.5 MM TM /año de capacidad .....	110

## **PROYECTO: EVALUACIÓN DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE HIERRO ESPONJA A PARTIR DEL GAS NATURAL DE CAMISEA EN EL SUR DEL PERÚ**

### **RESUMEN**

Los recursos naturales deben ser explotados para beneficio del Perú. El mineral y el gas natural mientras están en el subsuelo no tienen valor. Debe darse el mayor valor agregado y no exportarlo sin mayor transformación. Por esto se plantea la construcción de una planta de producción de hierro esponja en forma de briquetas, aprovechando que el Perú cuenta con ventajas para su desarrollo, materia prima, como mineral de hierro, con un estimado (recursos de mineral de hierro de 1746.54 MMTM) e insumo (reservas probadas de gas natural con 15.4 TCF), considerando el estudio de mercado se plantea la construcción de una planta de hierro esponja de capacidad de 1500000 TM/año, lo que implicaría un consumo de gas natural de 46.74 MMPCD que aportaría a la demanda de gas hacia la zona sur del Perú además de la destinada al nodo energético que garantizaría la construcción del Gasoducto Sur Peruano. La tecnología seleccionada para el proceso de reducción directa es el proceso Midrex y la ubicación de la planta es el Puerto de Ilo en el departamento de Moquegua. El impacto ambiental generado por el proceso de reducción es menor al comparado con las plantas de coque y el alto horno, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 52% equivalente en 1.05 MM TM CO<sub>2</sub>/año. Además se realiza una evaluación económica (Capítulo III), en base a asunciones y el manejo de variables económicas de los cuales se obtiene VAN (valor actual neto) de 107.13 MMUS\$, un TIR (tasa interna de retorno) del 12% y un payback de 9 años. Estos indicadores económicos indican la viabilidad del proyecto así como un tiempo de recuperación de la inversión a partir del año 5 de iniciada la producción.

## **PROYECTO: EVALUACIÓN DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE HIERRO ESPONJA A PARTIR DEL GAS NATURAL DE CAMISEA EN EL SUR DEL PERÚ**

### **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo tiene la finalidad de evaluar técnica y económicamente la posibilidad de darle mayor valor agregado al mineral de hierro existente en el Sur del Perú al producir hierro esponja por reducción directa, utilizando gas natural como agente reductor. El proceso de reducción se efectúa con el CO y H<sub>2</sub> (denominado gas de síntesis), proveniente de la reformación del gas natural seco (principalmente metano). Obteniendo el mineral de hierro un mayor valor agregado, aprovechando los beneficios que ofrece la geografía del país, que cuenta con grandes recursos de mineral de hierro y de energía como gas natural, las cuales pueden transformarse en claras ventajas para el desarrollo del proyecto Gasoducto Sur Peruano (Sistema de transporte de gas hacia el Sur del Perú) al convertirse en un cliente (consumidor de gas natural) aumentando de esta manera su capacidad de abastecimiento. Además el producir hierro esponja a partir del gas natural reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> al omitir el proceso de coquificación vía alto horno. Este estudio es importante porque además de la evaluación técnica y ambiental permitió evaluar la viabilidad del proyecto, constatada a través de indicadores económicos tales como: TIR, VAN, PAYBACK que plantean la rentabilidad de la inversión en el proyecto en base a los ingresos que generara durante el periodo de tiempo que abarque la vida económica para producir ganancias y garantizar el reembolso de los gastos incurridos.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 PROBLEMÁTICA**

Actualmente la producción de acero en el Perú es llevado a cabo por dos empresas:

- Corporación Aceros Arequipa S.A
- La Empresa Siderúrgica del Perú (Siderperú)

Ambas empresas utilizan como principales cargas metálicas, hierro esponja y/o acero reciclado o fragmentando denominado chatarra, ambas cargas metálicas se fusionan con el carbono para producir así el acero.

En el proceso de reducción directa, la empresa Siderperú utiliza el coque metalúrgico como agente reductor en el alto horno para el tratamiento del hierro. Este insumo es importado desde China y Colombia.

En el caso de Aceros Arequipa, básicamente emplea hornos eléctricos y los insumos utilizados son pellets de hierro adquiridos a Shougang, diferentes tipos de caliza y el carbón que importa desde Colombia, con ellos la empresa fábrica el hierro esponja , que utiliza para la elaboración del acero.

La empresa Shougang Hierro Perú, dedicada a la extracción y procesamiento de mineral de hierro produce anualmente un promedio de 6.7 millones de Tonelada larga fina (TLF) para el año 2012 de mineral de hierro. Actualmente este mineral concentrado es exportado y regresa procesado como hierro de reducción directa con un mayor valor económico. Incrementando considerablemente las importaciones de este insumo, utilizado en la producción del acero, lo cual desfavorece el desarrollo de las empresas del sector minero en el país, y de las ganancias de divisas al Perú. Sin embargo existe una forma alternativa para producir hierro esponja por reducción directa, utilizando gas natural. El proceso de reducción se efectúa con el CO y H<sub>2</sub>

(denominado gas de síntesis), proveniente de la reformación del gas natural seco (principalmente metano) con vapor de agua a elevadas temperaturas. Esta forma de producir hierro esponja utilizando el gas natural como agente reductor es beneficiosa no solo por el impacto ambiental al omitir el proceso de coquificación y utilizar minerales de alta calidad, sino porque el uso extensivo del gas permitiría reemplazar el carbón y coque metalúrgico importado, dándole un mayor valor agregado al concentrado de mineral de hierro y aumentando las ventajas comparativas de la industria en el abastecimiento de sus insumos.

Por lo tanto, el problema que se observa es el incremento de importación de insumos, como el carbón para el proceso de reducción directa en la obtención de hierro esponja y coque metalúrgico en el proceso de producción de arrabio con el consiguiente egreso de divisas al exterior. Así mismo el poco valor agregado que se le da al mineral de hierro en el Perú (al omitir proceso de peletización y posterior producción como hierro esponja) siendo mayoritariamente exportado como mineral de hierro bruto.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Sería posible disminuir las importaciones crecientes en el Perú de carbón, coque metalúrgico y hierro de reducción directa que generan egreso de divisas, mediante su sustitución por el gas de síntesis a partir del gas natural de Camisea para la producción de hierro esponja en el Sur del Perú?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

### **1.3.1 Disponibilidad de mineral de hierro en el Sur del País**

Poniendo en evidencia que el Perú es un país eminentemente minero, las regiones que tienen el mayor número de proyectos mineros de hierro se encuentran en el sur del país. El Cuadro N°1.1 describe los proyectos más importantes y la cantidad de recurso de mineral de hierro estimado:

Cuadro N° 1.1 Resumen de las reservas y recursos de mineral de hierro en la zona Sur del Perú

PROYECTO	Reservas	Recursos Minerales (MMTM)		
		Medidos	Indicados	Inferidos
Pampa del Pongo	-			863
Mariela	-			100
Opabán	-		142,24	127.19
Santo Tomas	-			104.4
Colcabamba	* Problemas con la comunidad			
Cerro Ccopane	-	19.7	35.9	340
<b>OPERACIÓN</b>	<b>Probables</b>			
Mina Morritos	0.52	4.79	6.27	3.05
<b>TOTAL</b>	<b>0.52</b>	<b>1746.54</b>		

Fuente: Elaboración propia

### 1.3.2 Disponibilidad de Gas Natural

De acuerdo al Libro Anual de Reservas de Hidrocarburos - 2012, el Perú tiene 15.4TCF, Trillones americanos de pies cúbicos de reservas probadas de gas natural. Estas reservas serán recuperadas de 23 contratos que actualmente están llevando a cabo operaciones de explotación de hidrocarburos.

Las reservas no probadas (Probables + Posibles) han sido estimadas en 12.9TCF (7.71+ 5.14) de gas natural. Estas reservas están asociadas principalmente a los 80 contratos que actualmente están llevando operaciones de exploración y explotación de hidrocarburos. Los Recursos de gas están estimados en 79.8 TCF, recursos que también están asociados a los 80 contratos de exploración y explotación de hidrocarburos y a las áreas no operadas.

Cuadro N°1.2 Recursos de hidrocarburos al 31 de Diciembre del 2012

Tipo de Hidrocarburo	Reservas			Recursos
	Probadas	Probables	Posibles	
Petróleo, MMBls	632.9	668.2	770	3982.3
Líquidos del Gas Natural, MMBls	789.8	430.9	263.6	4,213.20
Total Hidrocarburos Líquidos, MMBls	1,422.70	1,099.10	1,033.60	8,195.50
<b>Gas Natural , TCF</b>	<b>15.4</b>	<b>7.7</b>	<b>5.1</b>	<b>79.8</b>
Total Petróleo Equivalente , MMBOE	3,985.40	2,384.00	1,890.70	21,493.30

Fuente: [1]

El proyecto de producción de hierro esponja encaja en un proyecto más grande que es el Gasoducto del Sur Peruano, al sumarle los beneficios que ofrece la geografía del país, que cuenta con grandes reservas de mineral de hierro y de energía, antes vistos, las cuales pueden transformarse en claras ventajas comparativas para el desarrollo de la producción siderúrgica local.

### 1.3.3 Genera valor agregado al mineral de hierro

El valor agregado del concentrado de mineral de hierro es mínimo si se compara con el producto reducido (Hierro esponja). Si las empresas Shougang y Total Genius, actualmente en operación, decidieran convertir parte del mineral de hierro de exportación para el procesamiento de productos con valor agregado como Hierro de reducción Directa (HRD) y Briquetas de hierro caliente (HBC), en lugar de exportar el mineral para peletización podría resolver la necesidad que tienen las empresas siderúrgicas en el Perú, de contar con un insumo para operar sus hornos eléctricos y exportar el saldo.

Cuadro N° 1.3 Precio de mineral de hierro

Mineral de Hierro	Unidad	Cotización \$US	Incremento del valor económico en %
CONCENTRADOS	1TM	112	-
PELLET	1TM	157	40%
HIERRO ESPONJA (DRI)	1TM	288	83%

Fuente: Elaboración propia

### 1.3.4 Eliminar la necesidad de importar insumos

En el Perú las empresas de gran prestigio dentro del campo siderúrgico, cuenta con módulos de reducción directa a carbón; pero, es deficitaria de insumos necesarios, el carbón, la chatarra o hierro esponja, para la operación de sus hornos eléctricos; en el proceso de producción de acero.

El cuadro N°1.4 indica la cantidad de Hierro de reducción directa ( Hierro esponja) que con el fin de cubrir el déficit de chatarra se está importando, en consecuencia, la importación de prerreducidos ha de considerarse como una vía más, no exclusiva a utilizar en su caso para cubrir una parte de la demanda de materia férrea. Se indica también el valor CIF que nos muestra las grandes cantidades de dinero que estamos

perdiendo al importar este producto disminuyendo el ingreso de divisas y que a su vez se incrementa con los años.

Las importaciones de los productos férreos obtenidos por reducción directa de mineral de hierro se realizan mediante la siguiente partida arancelaria:

Subpartida Nacional: 7203.10.00.00 PRODUCTOS FÉRREOS OBTENIDOS POR REDUCCIÓN DIRECTA DE MINERALES DE HIERRO

Cuadro N°1.4 Productos férreos importados obtenido por reducción directa de mineral de hierro

<b>Importaciones de productos férreos obtenidos por RD de mineral Fe</b>		
<b>Año</b>	<b>Peso Neto (TM)</b>	<b>Valor CIF (dólares)</b>
2000	104,512.83	11,232,619.73
2001	151,433.63	13,930,340.24
2002	127,110.81	7,850,307.69
2003	90,737.41	6,459,465.03
2004	51,389.06	8,550,648.11
2005	42,279.61	11,207,419.49
2006	37,856.57	9,382,115.87
2007	75,357.25	21,299,144.55
2008	40,179.83	13,374,452.32
2009	49,213.83	9,911,207.50
2010	50,582.34	11,723,910.27
2011	29,358.00	12,142,219.06
2012	52,031.60	22,273,507.07

Fuente: [5] + Elaboración propia

Además del hierro de reducción directa, otro insumo importado es el carbón de hulla (Carbón Bituminoso), debido a que el Perú no cuenta con carbón de buena calidad con el que se podría obtener coque, insumo indispensable en la fabricación del arrabio (hierro fundido primario) en el alto horno.

Actualmente se importa el carbón para sus procesos de acería. La mayor cantidad de carbón se emplea en la producción de coque metalúrgico. Muchos países, inclusive

los desarrollados, tienen que importar la materia prima (carbón) para la fabricación de coque, en la actualidad estas importaciones se encuentra entre 76 millones de dólares de valor CIF como se indica en el cuadro N° 1.5

Las importaciones del Carbón se realizan mediante la siguiente partida arancelaria:

Subpartida Nacional: 2701120000 - HULLA BITUMINOSA

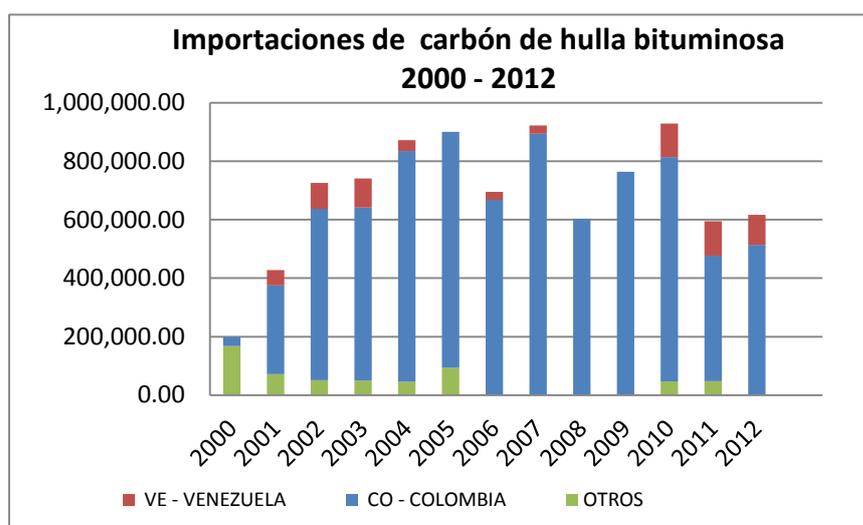
Cuadro N° 1.5 Cantidad de importación de carbón de hulla al Perú

<b>Carbón de Hulla</b>		
<b>Año</b>	<b>Peso Neto (TM)</b>	<b>Valor CIF(dólares)</b>
2000	198,223.48	15,779,976.03
2001	427,159.93	19,632,933.39
2002	725,500.82	32,159,499.46
2003	740,893.66	32,752,065.11
2004	872,412.51	54,454,257.39
2005	900,929.00	74,069,464.34
2006	695,303.02	48,577,803.70
2007	922,466.62	75,612,151.45
2008	603,219.08	89,973,618.28
2009	763,774.52	92,795,995.81
2010	928,469.59	99,441,825.96
2011	594,811.80	76,691,815.82
2012	616,219.56	76,769,153.89

Fuente: [5] + Elaboración propia

Estas importaciones provienen principalmente de países como Colombia, Venezuela, Estados Unidos, entre otros.

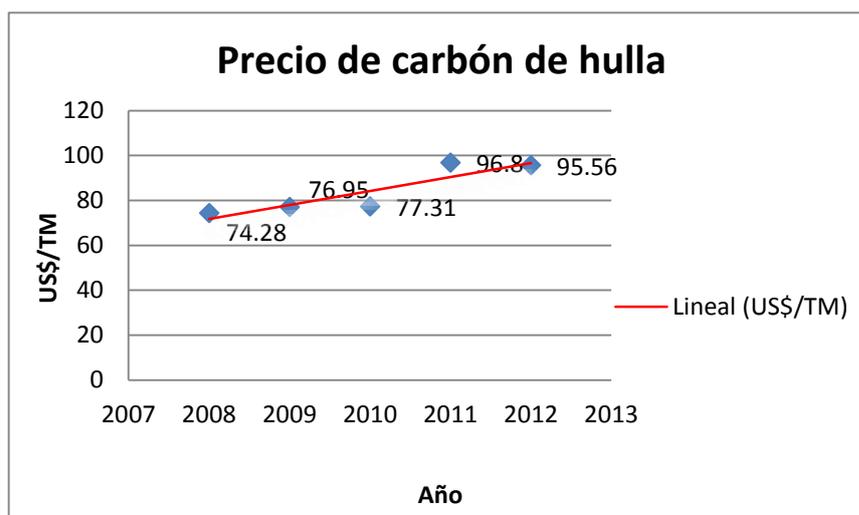
Gráfico 1-1 Procedencia de las importaciones de carbón de hulla al Perú



Fuente: [5] + Elaboración propia

El carbón de hulla; por ser un combustible fósil con alto contenido de material volátil, proporciona la energía necesaria para la producción del hierro esponja. Su uso es indispensable para el proceso. El carbón por ser el segundo recurso energético en el mundo a nivel industrial, se hace cada vez más escaso esto ha ocasionado que el precio del carbón se incremente año tras año como se indica el Gráfico 1-2, trayendo como consecuencia que se eleve los costos de producción.

Gráfico 1-2 Precio del carbón de hulla entre los años 2008 -2012



Fuente: [6] + Elaboración propia

En el Gráfico 1-2 se indican el precio “Free on Board” (FOB) de carbón de hulla en el país de Colombia, principal país proveedor de carbón al Perú, alcanzando al 2013 el precio de 95.56 US\$/TM.

Durante el periodo evaluado, se observa la tendencia ascendente de los precios del carbón en forma sostenida, obedeciendo la demanda mundial de este producto.

Ante esta situación, lo recomendable sería disminuir el consumo o aún más reemplazar el consumo de carbón por un material que tenga la capacidad de reducir el mineral de hierro, bajando los costos, manteniendo la producción, sosteniendo, la calidad y sin impactos ambientales significativo.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo General

Evaluar una planta de producción de hierro a partir del gas natural de Camisea en el Sur del Perú.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar el mercado de la oferta y demanda del hierro esponja para uso como acero laminado.
- Elegir el proceso para producción de hierro esponja a partir del gas de síntesis con origen en el gas natural.
- Evaluar la viabilidad económica mediante la aplicación de indicadores económicos.
- Evaluar el impacto ambiental del proceso de reducción directa.

## 1.5 HIPÓTESIS

La implementación de una planta de hierro esponja a partir del gas natural de Camisea en el Sur del Perú estará determinado por la evaluación técnica, económica y ambiental.

## 1.6 VARIABLE DEPENDIENTE Y VARIABLES INDEPENDIENTES DE LA HIPÓTESIS

- **Variable dependiente:** Implementación de una planta de hierro esponja a partir del gas natural de Camisea y el mineral de hierro existente en el Sur del Perú.
- **Variable independiente:** Evaluación técnica, evaluación económica y evaluación ambiental.

## 1.7 MATRIZ DE CONSISTENCIA

	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>TÍTULO</b>	Evaluación de una planta de producción de Hierro Esponja a partir del Gas Natural de Camisea en el Sur del Perú.
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	¿Sería posible disminuir las importaciones crecientes en el Perú de carbón, coque metalúrgico y hierro de reducción directa que generan egreso de divisas, mediante su sustitución por el gas de síntesis a partir del gas natural de Camisea para la producción de hierro esponja en el Sur del Perú?
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Evaluar una planta de producción de hierro a partir del gas natural de Camisea en el Sur del Perú.
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar el mercado de la oferta y demanda de hierro esponja para uso como acero laminado.</li> <li>• Elegir el proceso para producción de hierro esponja a partir del gas de síntesis con origen en el gas natural.</li> <li>• Evaluar la viabilidad económica mediante la aplicación de indicadores económicos.</li> <li>• Evaluar el impacto ambiental del proceso de reducción directa.</li> </ul>
<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	La implementación de una planta de hierro esponja a partir del gas natural de Camisea en el Sur del Perú estará determinado por la evaluación técnica, económica y ambiental.
<b>VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES DE LA HIPÓTESIS</b>	<p>Variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementación de una planta de hierro esponja a partir del gas natural de Camisea y el mineral de hierro existente en el Sur del Perú.</li> </ul> <p>Variables independientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación técnica, evaluación económica y evaluación ambiental.</li> </ul>

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2 DEFINICIÓN DE RECURSOS MINERAL Y RESERVA MINERAL BAJO EL CÓDIGO DE JORC**

La información sobre Recursos minerales y Reservas de mineral se basa en la recopilación efectuada por la empresa titular de la concesión minera de cada proyecto, que estima sus recursos y reservas de mineral en base al "Código Australiano 2004 para la información de recursos minerales y reservas de mineral" (el Código JORC) [7].

##### **2.1 Recurso mineral**

Es una concentración u ocurrencia de interés económico intrínseco dentro o fuera de la corteza terrestre en forma y cantidad tal como para demostrar que hay perspectivas razonables para una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, contenido metálico, características geológicas y continuidad de un recurso mineral se conocen, estiman o interpretan desde una evidencia y conocimiento geológicos específicos.

En otras palabras, un Recurso mineral no es un inventario de todo un yacimiento mineralizado perforado o del cual se han tomado muestras, sea cual fuere el contenido metálico o ley de corte, las probables dimensiones del yacimiento, o continuidad. Es un inventario realista del yacimiento mineral que, bajo condiciones técnicas y económicas asumidas y justificables podría, en su totalidad o en parte, convertirse en económicamente explotable.

Los Recursos minerales se subdividen, según confianza geológica ascendente, en categorías de:

- a) Recursos inferidos
- b) Recursos indicados
- c) Recursos medidos

**a) Recurso mineral inferido:** es aquella parte de un yacimiento mineral para la cual se puede estimar el tonelaje y contenido metálico con un bajo nivel de confianza. Se le infiere por la evidencia geológica y se le asume, pero no se verifica la continuidad geológica y/o el contenido metálico. Se basa en información reunida por medio de técnicas apropiadas de afloramientos, zanjas, cateos, calicatas, taladros de perforación que pueden ser limitados o de incierta calidad y confiabilidad.

Por lo general la confiabilidad de la estimación no es suficiente como para permitir la aplicación apropiada de parámetros técnicos y económicos o como para hacer posible una evaluación de la viabilidad económica. Se debe ejercer cautela si ha de considerarse esta categoría en estudios económicos.

**b) Recurso mineral indicado:** es aquella parte de un yacimiento mineral para la cual se puede estimar el tonelaje, peso específico del mineral, la forma, las características físicas y el contenido metálico con un razonable nivel de confianza. Se basa en información reunida por medio de técnicas apropiadas de lugares tales como afloramientos, zanjas, calicatas, trincheras, pozos y taladros de perforación. Los lugares de muestreo y estudio se encuentran muy distanciados el uno del otro o distanciados de manera inapropiada como para confirmar la continuidad geológica y/o del contenido metálico, pero se encuentran lo suficientemente próximos el uno del otro como para asumir dicha continuidad.

Un recurso mineral indicado tiene un menor nivel de confianza del que se le aplica a un recurso mineral medido, pero tiene mayor nivel de confianza al que se le aplica a un recurso mineral inferido.

La mineralización puede clasificarse como recurso mineral indicado cuando la naturaleza, calidad, cantidad y distribución de los datos son tales como para permitir una interpretación confiable del marco de referencia geológico y como para asumir la continuidad de la mineralización. La confianza en la estimación es suficiente como

para permitir la aplicación apropiada de parámetros técnicos y económicos y como para hacer posible una evaluación de la viabilidad económica.

**c) Recurso mineral medido:** es aquella parte de un yacimiento mineral para la cual se puede estimar el tonelaje, el peso específico del mineral, la forma, las características físicas, y el contenido metálico con un alto nivel de confianza. Se basa en una información detallada y confiable de la exploración, del muestreo y evidencias reunidas por medio de técnicas apropiadas en lugares tales como afloramientos, zanjas, calicatas, trincheras, pozos y taladros de perforación. Los lugares de muestreo y estudio se encuentran lo suficientemente próximos el uno del otro como para confirmar una continuidad geológica y/o del contenido metálico.

La mineralización puede clasificarse como recurso mineral medido cuando la naturaleza, calidad, cantidad y distribución de los datos son tales como para no dejar ninguna duda razonable. Esta categoría exige un alto nivel de confianza en la geología y controles de un yacimiento mineral y en la comprensión de los mismos. La confianza en la estimación es suficiente como para permitir la aplicación apropiada de parámetros técnicos y económicos y como para hacer posible una evaluación de la viabilidad económica.

## 2.2 Reserva mineral

Es la parte económicamente explotable de un recurso Mineral medido o indicado. Incluye los factores de dilución y tolerancias por pérdidas que pueden ocurrir cuando se explota el mineral. Considera que se han llevado a cabo evaluaciones apropiadas que podrían incluir estudios de factibilidad e incluyen tomar en cuenta factores mineros, metalúrgicos, económicos, de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales.

Las reservas de mineral se subdividen según un orden de mayor confianza en:

- a) Reservas probables de mineral
- b) Reservas probadas de mineral

**a) Reserva probable de mineral:** es la parte explotable de un recurso mineral indicado, y en algunas circunstancias de un recurso mineral medido. Incluye materiales que se diluyen y tolerancias de pérdidas que pueden ocurrir cuando se extrae el material, y que se han llevado a cabo cálculos apropiados que pueden

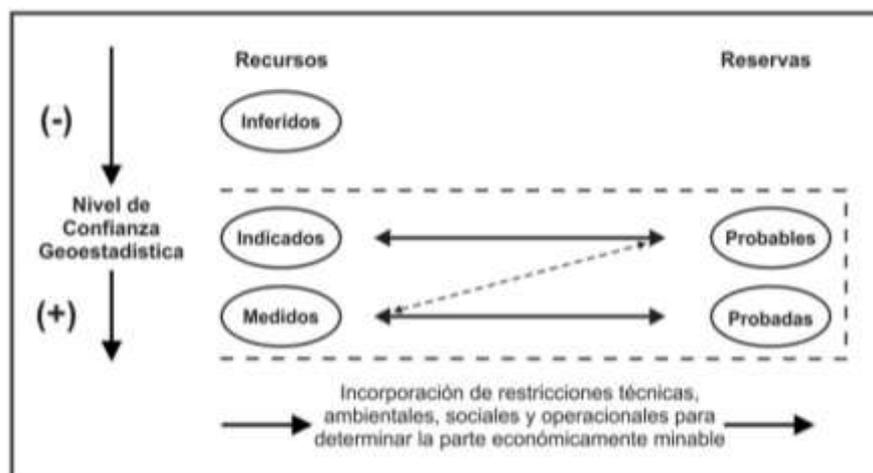
incluir estudios de factibilidad y toman en cuenta factores mineros, metalúrgicos, económicos, de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales.

Una reserva probable de mineral tiene un nivel más bajo de confianza que una reserva probada de mineral.

**b) Reserva probada de mineral:** es la parte económicamente explotable de un recurso mineral medido. Incluye materiales que se diluyen y pérdidas que pueden ocurrir cuando se extrae el material y que se han llevado a cabo cálculos apropiados que pueden incluir estudios de factibilidad y toman en cuenta factores mineros, metalúrgicos, económicos, de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales. En el momento de la presentación del informe estos cálculos demuestran que la extracción podría justificarse razonablemente.

En la figura 2-1 podemos apreciar cómo va pasando de recursos a reservas según avanza el proyecto minero.

Figura 2-1 Recursos y reservas minerales – Código JORC



Fuente: [7]

### 3 PRINCIPALES PROYECTOS MINEROS AL SUR DEL PERÚ

#### 3.1 Proyecto Pampa del Pongo – Arequipa

a) **Ubicación:** Es un proyecto, cuyo yacimiento está ubicado en el distrito de Bella Unión, provincia de Caravelí en el departamento de Arequipa a 18 km. del mar [8]. El proyecto se desarrolla dentro de 8 concesiones denominadas Retozo 50, Retozo 85, Retozo 86, Retozo 90, Retozo 91, Retozo 92, Retozo 101 y Retozo 102, que ocupan una extensión de 8 000 ha, de las cuales el área del proyecto abarca 3019 ha [13].

Figura 2-2 Ubicación del Proyecto Pampa del Pongo



Fuente: Elaboración propia

b) **Propiedad minera:** Este proyecto fue comprado por la empresa privada china Nanjinzhao Group en enero del 2009 por la suma de US\$ 200 millones a la empresa minera Junior Cardero Resources.

Tras esta operación se creó la empresa peruana Jinzhao Mining Perú para administrar el referido proyecto. Jinzhao Mining Perú S.A. es una empresa minera y de exploración establecida el 2009, reconocido por su experiencia en la producción de mineral hierro que se viene enfocando en proyectos tanto en el Perú como en Sudamérica y el interés de la compañía se centra en proyectos de mineral de hierro para su exportación al mercado mundial.

Este proyecto, contempla, además de la explotación de la mina de hierro, la construcción y uso de un terminal portuario en la playa Sombrerillo en el distrito de Lomas, colindante con Bella Unión. Este terminal portuario será utilizado para embarcar el concentrado de hierro obtenido de la mina, a distintas partes del mundo.

c) **La estimación de reservas y recursos:** Pampa de Pongo no cuenta con estudios de reservas estimadas hasta el momento. Sin embargo, la empresa consultora SRK Consulting, de Vancouver, realizó una evaluación económica preliminar que determinó recursos de 863 millones de toneladas (MMTM) de mineral de hierro inferido con una ley de 41.3% Fe.

Cuadro N° 2.1 Estimación de recursos de mineral de hierro inferido en el proyecto  
Pampa del Pongo

Recurso	Zona	Toneladas (MMTM)	Fe (%)
Inferido	Central	748	41.7
Inferido	Sur	115	39.5
<b>Total</b>		<b>863</b>	<b>41.3</b>

Fuente: [3]

El Proyecto Pampa del Pongo cuenta con un estudio conceptual finalizado recientemente, en el que recomienda la construcción de una mina a tajo abierto con capacidad de producción anual de aproximadamente 10-15 millones de TLF de hierro a partir del año 2015 con una producción de 3 a 5 millones de toneladas de hierro durante sus primeros años de operación (de un total de treinta) aproximadamente.

d) **La inversión estimada,** para desarrollar la mina se requiere una inversión mínima de US\$ 3,280 millones [9]. Convirtiéndose de esta manera en el primer productor local, y la segunda mina de hierro desarrollada en el Perú con capitales provenientes de China. La otra mina es Marcona, de Shougang Hierro Perú, cuya producción anual fue de 6.7 millones de TLF en 2012 y se ampliará a 10 millones de TLF.

e) **Situación actual:** La exploradora Jinzhao Mining Perú presentó un Estudio de Impacto Ambiental semidetallado (EIASd) por el proyecto Pampa del Pongo; para iniciar la etapa de exploración y perforación. El grupo chino Nanjinzhao inició la exploración en el proyecto de hierro Pampa del Pongo en septiembre del 2010, actividad que se estimaba debiera extenderse por 36 meses y finalizar en septiembre del 2013. Sin embargo aún no se encuentra concluida la fase de perforación, necesaria para recopilar información y poder comenzar el Estudio de Factibilidad del

proyecto, entonces se espera contar con ello para poder realizar el Estudio de Impacto Ambiental que deberá estar listo para el año 2014.

### 3.2 Proyecto Mariela – Arequipa

a) **Ubicación:** Está ubicado en el distrito de Punta de Bombón, provincia de Islay, departamento y región de Arequipa, en el desierto que existe pasando la Garita de Peaje “El Fiscal”, a ambos lados de la Carretera Panamericana Sur, donde se ubican la Pampa del Toro y la Pampa Repartición, en la Cuenca de la Quebrada Honda. El proyecto consta de 7 concesiones [10], en una extensión de 5200 ha.

Figura 2-3 Ubicación del Proyecto Mariela



Fuente: Elaboración propia

b) **Propiedad Minera:** La empresa titular de la concesión minera del Proyecto Mariela es Peruvian Latin Resources S.A.C. (PLR), empresa subsidiaria de propiedad de Latin Resources Limited, firma australiana que se dedica a la búsqueda y explotación de minerales, principalmente hierro.

La empresa Total Genius Iron Mining S.A.C. (TGIM), de capitales chinos, ha adquirido una opción sobre el 70% de los derechos y acciones de las concesiones mineras que constituyen el Proyecto Mariela, y, además, la cesión de los derechos para ejecutar la exploración y posterior explotación, de ser el caso.

**c) La estimación de reservas y recursos:** Se estima que el volumen del recurso inferido llegará a más de cien millones de toneladas [11]. Se trata de mineralización masiva de magnetita estilo Marcona, 55.54% Fe.

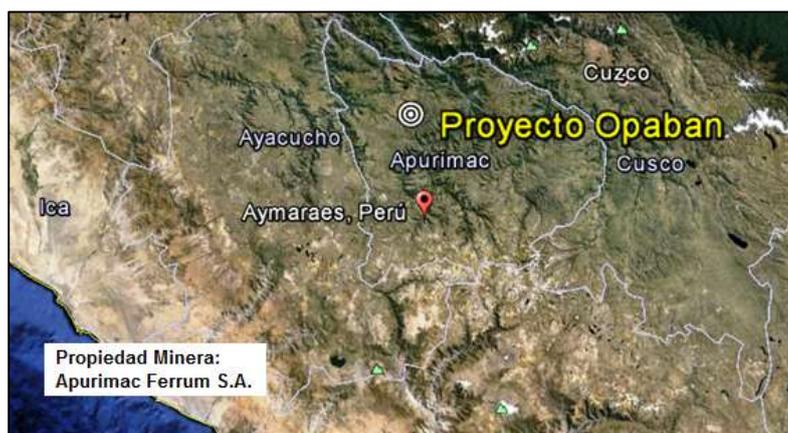
**d) Inversión estimada:** Para ejercer la exploración, estudios de factibilidad económica, social y ambiental para el Proyecto Mariela, la empresa tendría que invertir 1200 millones de dólares, el cual seguirá incrementando en los próximos meses según se desarrolle el proyecto.

**e) Situación actual:** Peruvian Latin Resources, presento la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) en mayo del año 2012 para dar inicio al proyecto de exploración “Mariela”. En la actualidad se llevan a cabo actividades de perforación donde con el apoyo de 06 máquinas perforadoras y la participación de geólogos se perfora a muchos metros de profundidad en el subsuelo, con el propósito de sacar muestras, que servirán para establecer si hay mineral. Para confirmar el tipo de minerales existentes en el yacimiento, la exploración comprende la realización de 20 perforaciones con diamantina, que permitirá confirmar o no la existencia de un yacimiento de hierro en el desierto de Punta de Bombón (Categoría I). Si los resultados de esta exploración no son positivos, se reparará lo disturbado y se procederá al cierre de las actividades de exploración. Si los resultados son positivos, la exploración se ampliará a alrededor de 200 perforaciones (Categoría II), aproximadamente, para calcular la cantidad y la calidad de los recursos que contiene.

### **3.3 Proyecto Opabán – Apurímac**

**a) Ubicación:** El Mega-proyecto de hierro Opabán [14], está ubicado en el distrito de Lucre, provincia de Aymaraes, Región Apurímac. Abarca 5 provincias de Apurímac: Andahuaylas, Aymaraes, Abancay, Grau y Cotabambas. Comprende 72 concesiones que abarcan 59,000 hectáreas formado por los depósitos Opabán I y III.

Figura 2-4 Ubicación del proyecto Opabán



Fuente: Elaboración propia

**b) Propiedad minera:** Administrada por la empresa peruana Apurímac Ferrum S.A. 100% propiedad de Strike Resources tras haber llegado a un acuerdo con el Grupo Dyer, otro accionista, que tenía el 50% de la minera. Después de más de cinco años de conflictos entre sus accionistas, el 28 de diciembre del año 2012, la minera australiana Strike Resources se hace propietaria del 100% de las acciones de Apurímac Ferrum SA.

El control total de Apurímac Ferrum permite a Strike centrarse en impulsar los esfuerzos de exploración y progresar en hitos clave del proyecto en Apurímac.

**c) La estimación de reservas y recursos:** El proyecto Apurímac tiene un recurso 269,4 millones de toneladas (MMTM) de hierro, que consta de:

- 142,2 MMTM de recursos minerales indicados en el 57,8% de Fe (Opabán I + Opabán III)
- 127,2 MMTM de recursos minerales inferidos al 56,7% de Fe.

Cuadro N° 2.2 Estimación de recursos de mineral de hierro inferido en el Proyecto Opabán.

Recurso	Zona	Toneladas (MMTM)	Fe %
Inferido	Opabán I + Opabán III	127.19	56.7
Indicado	Opabán I	133.71	52.00
Indicado	Opabán III	8.53	62.08
<b>Total</b>		<b>269.4</b>	<b>54.54</b>

Fuente: [16]

Se estima una producción anual de 15 a 20 millones de toneladas de concentrado de hierro, que sería transportado a la costa por un minero-ducto. Considerado uno de los tres proyectos de hierro más importantes del Perú. Los otros dos son Pampa de Pongo – Arequipa (15 MMTM/año), indicada en el apartado 3.1, y la ampliación de la mina Marcona, (de 5 a 10 MMTM/año) a cargo de Shougang Hierro Perú.

**d) Inversión estimada:** La construcción de la futura mina exigirá una inversión no menor de US\$2,500 millones, incluyendo contingencias [17].

**e) Situación actual:** Se encuentra en la etapa de exploración. El propósito consiste en buscar yacimientos de hierro y evaluar si es posible el desarrollo de proyectos mineros en esos lugares. Para ello se encuentran llevando a cabo estudios de exploración geológica, técnica, social y ambiental que permitirán definir si los proyectos son viables y determinar cuál será su real dimensión (el tamaño y la magnitud). Según Strike, el proyecto se encuentra enclavado en el corazón de un nuevo distrito ferrífero en el Perú (el otro es Marcona), el que consistiría en dos minas de tajo abierto ubicadas cerca al aeropuerto de Andahuaylas, aproximadamente a 25 km de la ciudad de Andahuaylas.

Además de este Mega- Proyecto Opabán, Apurímac Ferrum SA., se encuentra actualmente desarrollando proyectos de hierro en Perú en los departamentos de Apurímac y Cusco estos proyectos constituye un objetivo de desarrollo secundario atractiva para la compañía pues se mantiene enfocado en su proyecto de mineral de hierro en Apurímac.

Entre estos se encuentran:

- Proyecto Colcabamba – Apurímac
- Proyecto Santo Tomas – Cusco

### **3.4 Proyecto Colcabamba – Apurímac**

**a) Ubicación:** Este proyecto está ubicado en el distrito de Colcabamba [16], en la provincia de Aymaraes, región Apurímac. El proyecto Colcabamba está a 30 km al sur de las concesiones de Opabán, proyecto indicado en el apartado 3.3 y se considera que es un depósito potencial de hierro.

Figura 2-5 Ubicación del proyecto de Colcabamba



Fuente: Elaboración propia

**b) Propiedad minera:** La empresa Strike Resources, viene trabajando en el proyecto como accionista único de Apurímac Ferrum que viene desarrollando relaciones con la comunidad a través del diálogo y concertación con la comunidad.

**c) Situación actual:** Apurímac Ferrum en una reunión con autoridades ediles y comunales el 09 de enero del 2010 obtuvo el permiso para realizar el mapeo geológico (estudio superficial) en la comunidad, con el compromiso de entregar a la población el informe de dicho estudio, el 11 de julio del 2010, la asamblea general de la comunidad autoriza a Apurímac Ferrum la exploración en 10 plataformas de perforación, aunque solo realizaron ocho. El 8 de enero del 2012, en una asamblea multisectorial, Apurímac Ferrum presentó los resultados de la exploración y solicitó la ampliación de estas actividades por un año más, debido que el hierro es un mineral barato y se necesita de altas concentraciones para ser rentable y el resultado presentado era incierto para los intereses de la empresa. Y de esta manera realizar 12 exploraciones más, que le permite la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) aprobada por el Ministerio de Energía y Minas. Sin embargo, Frente a la propuesta de la empresa, surgieron opiniones diversas tanto de los comuneros y de los residentes colcabambinos que detuvo la movilización de sus equipos de perforación y todos los programas de la comunidad.

La situación actual del Proyecto Colcabamba ha llevado a Apurímac Ferrum a centrarse en el Mega Proyecto de Hierro en Andahuaylas (Opabán), hasta que se llegue a un acuerdo entre la comunidad y la empresa.

### 3.5 Proyecto de Santo Tomas – Cusco

a) **Ubicación:** En la región Cusco, comprende 22 concesiones ubicadas en las provincias de Chumbivilcas, Paruro y Accomayo, las que abarcan un área de 17,563.10 hectáreas [14]. El área inicial explorada ha sido denominada Proyecto Santo Tomás y está ubicada aproximadamente a 110 km. de la ciudad de Cusco y 200 km. del recurso Opabán.

Figura 2-6 Ubicación del proyecto Santo Tomas



Fuente: Elaboración propia

- b) **Propiedad minera:** Estas concesiones son propiedad de Apurímac Ferrum S.A.
- c) **La estimación de reservas y recursos:** Una estimación de recursos completado en el año 2011 en base a la perforación realizada el año 2008 esbozó recursos inferidos de 104,4 millones de toneladas de mineral de hierro en 32,6% Fe.

Cuadro N° 2.3 Recursos del mineral de hierro en el Proyecto Santo Tomas

Recurso	Zona	Toneladas (MMTM)	Fe %
Inferido	Santo Tomas	104.4	32.62
<b>Total</b>		<b>104.4</b>	<b>32.62</b>

Fuente: [16]

- d) **Inversión estimada:** La construcción de la futura mina exigirá una inversión de alrededor US\$ 1800 millones de dólares.

e) **Situación actual:** El proyecto tiene un potencial para aumentar en 26 millones de toneladas adicionales con ley de hierro de hasta 35% por las perforaciones que actualmente se llevaran a cabo. Todos los trabajos de exploración y / o geológicos se están realizando según lo previsto y de acuerdo a las autoridades competentes.

### 3.6 Proyecto Cerro Ccopane – Cusco

a) **Ubicación:** El Proyecto de Cerro Ccopane [14], se encuentra en el Departamento de Cusco en las provincias de Chumbivilcas y Paruro. Consta de veintitrés (23) denuncios mineros metálicos contiguos con una superficie de catorce mil (14.000) hectáreas. La propiedad contiene varias zonas mineralizadas que se han explorado, estos recursos se encuentran en las zonas de: Orcopura, Huillque, Aurora y bob1.

Figura 2-7 Ubicación del proyecto de Cerro Ccopane



Fuente: Elaboración propia

b) **Propiedad minera :** Es propiedad de la Minera Cuervo S.A.C. ("Minera Cuervo"), una corporación peruana, que es una filial de Cuervo Resources Inc. ("Recursos Cuervo"), una corporación canadiense enfocada en la exploración avanzada de mineral de hierro en el Perú.

Minera Cuervo tiene una participación del 100% en la propiedad y tiene el derecho a explorar y explotar minerales metálicos dentro de los límites de la propiedad establecidas por la Ley de Minas del Perú.

c) **La estimación de reservas y recursos:** La compañía Minera Cuervo S.A.C. ha llevado a cabo la etapa de exploración en las posibles zonas con presencia

mineralizada de hierro y determino un informe geológico con un estimado de recursos minerales que finalizó en marzo de 2009 donde se determinó:

Para la zona de Orcopura, un recurso “medido e indicado” de 56 millones de toneladas (MMTM) con ley de 46.7% Fe y un recurso “inferido” de 51 millones MMTM con ley de 43.7% Fe, como se indica en el cuadro N°2.4 reporte realizado en base a las 121 perforaciones realizadas en el año 2009, estas estimaciones históricas son consideradas como recursos actuales de la zona de Orcopura.

Cuadro N° 2.4 Recursos del mineral de hierro en el Proyecto Cerro Ccopane – Zona Orcopura

<b>Recurso</b>	<b>Zona</b>	<b>Toneladas (MMTM)</b>	<b>Fe (%)</b>
Medidos	Orcopura	19.7	48.26
Indicados	Orcopura	35.9	45.91
<b>Inferidos</b>	<b>Orcopura</b>	<b>51</b>	<b>43.7</b>

Fuente: [16]

Para la zona de Aurora y Huillque, el estimado de los recursos minerales finalizó en febrero de 2012. Este estimado se basa en los resultados de las perforaciones realizadas en el 2009 durante la campaña original de perforación de la compañía.

El cuadro N°2.5 muestra la estimación de recursos minerales reportados para la zona de Aurora y Huillque.

Cuadro N° 2.5 Recursos del mineral de hierro en el Proyecto Cerro Ccopane – Zona Aurora y Huillque

<b>Recurso</b>	<b>Zona</b>	<b>Toneladas (MMTM)</b>	<b>Ley Fe (%)</b>
Inferido	Sur Aurora	7	49.7
Inferido	Norte Aurora	9	49
Inferido	Huillque	56	53.5
<b>Inferido</b>	<b>Total</b>	<b>72</b>	<b>52.6</b>

Fuente: [16]

Para la zona de Bob 1: una estimación de recursos minerales perteneciente a la zona de Bob 1 se completó en febrero de 2013, esta estimación se basa en los resultados de 17 agujeros de perforación completados en el año 2012.

Cuadro N° 2.6 Recursos del mineral de hierro en el Proyecto Cerro Ccopane – Zona Bob 1

Recurso	Zona	Toneladas (MMTM)	Ley Fe (%)
Inferido	Bob 1	217	40.2

Fuente: [16]

Los recursos globales revisados sobre la propiedad Cerro Ccopane, que incluye todas las perforaciones realizadas en Orcopura, Aurora, Huillque y las perspectivas Bob 1, se sitúan en 395.6 millones de toneladas con una ley promedio de 43,8% de Fe, como se indica en el cuadro N°2.7.

Cuadro N° 2.7 Recursos Total del mineral de hierro en el Proyecto Cerro Ccopane

Recurso	Zona	Toneladas (MMTM)	Ley Fe (%)
Medido	Cerro Ccopane	19.7	48.3
Indicado	Cerro Ccopane	35.9	45.9
Inferido	Cerro Ccopane	340	43.3
	<b>Total</b>	<b>395.6</b>	<b>43.8</b>

Fuente: [16]

**d) Inversión estimada:** para desarrollar la mina se requiere una inversión mínima de US\$ 3,500 millones.

**e) Situación actual:** La minera Strike propietaria del 100 % de las acciones de Apurímac Ferrum SA. compro el 49% de participación de la exploradora junior canadiense Cuervo Resources quien maneja el Proyecto Cerro Ccopane. La razón de esta compra se basaría en la intención de ampliar los yacimientos de hierro que tiene en los departamentos de Apurímac y Cusco, y así asegurarse una producción de entre 15 y 20 millones de toneladas anuales de mineral.

Cuervo y Strike, creen que un esfuerzo de exploración de cooperación entre ellos será estratégica para el desarrollo de gran escala potencial de mineral de hierro de Perú.

### 3.7 Mina de hierro Morritos – Tacna

a) **Ubicación:** La mina de hierro Morritos (actualmente en producción) se encuentra ubicada al Sur de Perú, al Oeste de la provincia de Tacna, comprende 400 ha, ubicada en la concesión minera BRENO MIGUEL II, denominada mina Morritos [14].

Figura 2-8 Ubicación de mina de hierro Morritos



Fuente: Elaboración propia

b) **Propiedad minera:** La empresa Total Genius Iron Mining subsidiaria de la empresa JuneField Group S.A., realiza la extracción del mineral de hierro al ser propietaria del 100% de la concesión Breno Miguel II mina morritos. Es una de las 3 minas de hierro del país ubicadas en la franja de hierro de la Costa.

c) **La estimación de reservas y recursos:** Esta mina produce minerales de buena calidad, la reserva probada sobrepasa los 10 millones de toneladas y asciende a 14'627,998 toneladas con una ley de 50.61 %Fe.

Cuadro N° 2.8 Clasificación de las reservas y recursos en categorías

Total Reservas			
Clasificación	Zona	Toneladas	Ley (Fe%)
Reservas Probables	Morritos	524,238	56,48
<b>Total</b>		<b>524,238</b>	<b>56,48</b>
Total Recursos			
Clasificación	Zona	Toneladas	Ley (Fe%)
Recursos Medidos	Morritos	4,793,158	51.92
Recursos Indicados	Morritos	6,265,084	49.93
Recursos Inferidos	Morritos	3,045,518	48.93
<b>Total</b>		<b>14,103,760</b>	<b>50.39</b>
<b>Total</b>		<b>14,627,998</b>	<b>50.61</b>

Fuente: [18]

**d) Inversión estimada:** para desarrollar la mina se requiere una inversión mínima de US\$ 2800 millones de dólares.

**e) Situación actual:** Actualmente, la mina está siendo explotada a cielo abierto y pasará a minado subterráneo, lo que representará otro récord en el volumen de la producción.

La producción anual de la mina llega a las 500,000 toneladas con una ley (mineral) mayor al 61% Fe. En menos de un año, la empresa ha experimentado un proceso completo, de la adquisición de propiedad, exploración en general, producción, embarque, transporte y venta exitosa, convirtiéndose en un milagro en el sector de minería del Perú [11].

Figura 2-9 Explotación a cielo abierto en la mina de hierro Morritos



Fuente: [14]

### 3.8 Cuadro resumen de los principales proyectos en el Sur del Perú

El cuadro N° 2.9 resume los principales proyectos de producción de mineral de hierro, indica la cantidad de Recursos (MMTM) , además de la inversión y ley de hierro para cada proyecto , que en la actualidad la mayoría se encuentra en etapa de exploración.

Cuadro N° 2.9 Principales proyectos en el Sur del Perú

<b>PROYECTO</b>	<b>Recursos (MMTM)</b>	<b>%Fe</b>	<b>Inversión</b>
Pampa del Pongo	863	41.30%	3280 MMUS\$
Mariela	100	55.54%	1200 MMUS\$
Opabán	269.43	54.54%	2500 MMUS\$
Santo Tomas	104.40	32.62%	1800 MMUS\$
Colcabamba	*Problemas con la comunidad		
Cerro Ccopane	395.60	43.78%	3500 MMUS\$
Morritos	14.11	50.39%	2800 MMUS\$
<b>Total</b>	<b>1746.54</b>	<b>44.27%</b>	<b>15080 MMUS\$</b>

Fuente: Elaboración propia

Los recursos estimados de mineral son superior a los 17 mil millones de toneladas métricas, con una ley promedio del 44.27%, por tanto se comprueba que el Perú tiene una cantidad sustancial de mineral de hierro que podría impulsar y hacer viable este proyecto.

### 3.9 Ubicación de los proyectos de mineral de hierro en el Sur del Perú

En la Figura 2-10 se pueden observar los proyectos desarrollados en la zona sur de Perú, ciertamente en la región Apurímac y Cusco, pero también hay vestigios de hierro a lo largo de la costa en Arequipa, Moquegua y Tacna.

Figura 2-10 Mapa de ubicación de los principales proyectos de mineral de hierro en el Sur del Perú



Fuente: Elaboración propia

## 4 LA INDUSTRIA SIDERURGICA EN EL PERÚ

### 4.1 Demanda

En el mercado peruano del acero, SIDERPERU comparte participación con CORPORACION ACEROS AREQUIPA S.A. como únicos productores siderúrgicos nacionales. Asimismo en este mercado también participan diversos importadores tales como: Tradi S.A., Comercial del Acero S.A., Inkaferro S.A.C., entre otros.

Para el análisis del comportamiento de la demanda de acero en el Perú, se ha utilizado el concepto de consumo aparente, el cual es comúnmente definido como:

$$\text{Consumo aparente} = \text{Producción Nacional} + \text{Importaciones} - \text{Exportaciones}$$

El cuadro N° 2.10 indica el consumo aparente de acero laminado en Perú, que en la actualidad alcanza los 3 MMTM, y se tiene una producción de acero laminado nacional de 1.45 MMTM, considerando que en los últimos años este se ha ido incrementando debido a que la demanda del acero está en función del crecimiento de la inversión pública y privada en actividades como la construcción y la minería principalmente.

Cuadro N° 2.10 Consumo aparente de Acero Laminado en el Perú

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Consumo aparente de ACERO LAMINADO ( Miles de Toneladas)</b>	1500	2400	2600	2800	3000	3480
<b>Exportaciones</b>	111	132	91	96	100.8	89.2
<b>Importaciones</b>	781	1478	1572	1662	1646	2002
<b>Producción (Miles de Toneladas) ( Acero Laminado nacional)</b>	830	1054	1119	1234	1455	1567.2

Fuente: [22], [23], [24] + Elaboración propia

De acuerdo a la forma que adquiere el producto final, los productos básicos de acero se clasifican en dos grupos:

- Productos largos: alambón (utilizado para el sector construcción, el trefilado y la fabricación de electrodos), barras (de construcción, lisas, molino y calibradas) y perfiles.

- Productos planos: planchas de acero, bobinas de acero y planchas y bobinas galvanizadas.

El consumo de aceros largos es abastecido principalmente por proveedores locales, siendo el líder Aceros Arequipa con cerca del 60% de participación, mientras que el 40% restante lo tiene Siderperú.

Cabe señalar que el consumo de acero largo en Perú representa cerca del 65% del consumo total de acero.

Cuadro N ° 2.11 Participación en el mercado de productos largos  
(Como porcentaje de la demanda doméstica total)

<b>Año</b>	<b>SIDERPERU</b>	<b>Aceros Arequipa</b>
<b>2011</b>	40%	60%

Fuente: [25]

El mercado de productos planos es abastecido principalmente por diversas empresas importadoras, que en conjunto poseen una participación aproximada de 84% (en el mercado). Siderperú tiene un 12% del mercado de productos planos, seguido por Aceros Arequipa con alrededor de 4%.

Cuadro N ° 2.12 Participación en el mercado de productos planos  
(Como porcentaje de la demanda doméstica total)

<b>Año</b>	<b>SIDERPERU</b>	<b>Aceros Arequipa</b>	<b>Importación</b>
<b>2011</b>	12%	4%	84%

Fuente: [25]

La producción nacional actualmente es capaz de abastecer únicamente una parte de la demanda local y la diferencia debe ser importada. La demanda de productos largos de acero es principalmente atendida por la producción local, mientras que la demanda de productos planos de acero es atendida mayoritariamente por importaciones.

## 4.2 Oferta nacional de acero

Tras haber superado la crisis financiera internacional del 2008, la industria siderúrgica peruana se está recuperando lentamente.

Cinco años después, el panorama de la industria siderúrgica en el Perú ha tomado un nuevo impulso con bastante dinamismo y con muchas perspectivas de crecimiento.

Los dos principales actores, ACEROS AREQUIPA y SIDERPERÚ, a pesar de ver con bastante optimismo el mercado interno, se preparan para hacer frente a la demanda del mercado local y regional.

Una cifra que refleja el panorama de crecimiento es la producción anual de acero crudo de la industria siderúrgica peruana que, en los dos últimos años, ha registrado un incremento del 11% como se indica en el cuadro N°2.13.

Cuadro N° 2.13 Producción de acero crudo en el Perú durante los últimos 5 años

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Producción (miles TM)</b>	718	880	877	981	1090	1163

Fuente: [22]

Esta aceleración en el crecimiento se debe principalmente a la mayor inversión privada y pública registrada. Así, entre los factores que impactan en el ritmo de crecimiento figuraban:

- El aumento del consumo interno y de la autoconstrucción
- El desarrollo de viviendas, oficinas y centros comerciales, entre otros.
- El avance físico de obras públicas, impulsado por la continuidad en la expansión y mejora de la red vial nacional.

La construcción y la minería incentivan la oferta del acero en el Perú. “A medida que el Perú siga creciendo y desarrollando su industria, su infraestructura y sus proyectos mineros, el nivel de consumo de acero seguirá aumentando, como viene sucediendo actualmente. El consumo de acero está estrechamente relacionado con el nivel de industrialización y desarrollo de un país”.

## 5 MERCADO INTERNACIONAL DEL ACERO

### 5.1 Demanda

En el periodo 2009 - 2013 el consumo aparente de acero laminado a nivel global experimentó un crecimiento promedio anual, entre los años 2012 – 2013 existe una variación de 3.1 %, impulsada por China, y alcanza 1 mil 475 millones de toneladas en 2013 tras un crecimiento del 2 % en 2012.

El cuadro N° 2.14 destaca que en el periodo 2009-2013, América Latina aumentó el consumo en 13.3 millones de toneladas (desde 52.5 a 65.8 millones de toneladas), lo que representa poco más del 25% del crecimiento del consumo mundial de acero laminado del periodo evaluado.

Cuadro N° 2.14 Consumo aparente de acero laminado en el Mundo

<b>MUNDO: CONSUMO APARENTE DE PRODUCTOS LAMINADOS</b>						
<b>Millones de Toneladas</b>						
<b>Región</b>	2009	2010	2011	2012	2013	Var' 13/12
UE (27)	119.6	144.7	154.9	140.2	134.9	-3.8%
Otros Europa	23.9	29.7	33.4	34.8	36.7	5.5%
CEI *	36.0	48.3	54.7	57.2	58.9	3.0%
EEUU & Canadá	94.0	103.4	111.8	112.2	115.5	2.9%
<b>América Latina</b>	52.5	59.5	62.2	64.9	65.8	1.5%
África	26.9	24.8	24.9	26.8	28.0	4.5%
Medio Oriente	42.1	46.8	49.5	48.8	49.5	1.4%
Asia y Oceanía	774.9	850.2	917.9	943.3	986.3	4.6%
<b>Mundo</b>	1140.8	1300.3	1402.7	1403.3	1475.1	3.1%

(\*) Comunidad de Estados Independientes.

Fuente: [23]

Ese constante incremento del consumo y por tanto de la producción de acero está íntimamente ligado a países en desarrollo, que necesitan una gran cantidad de acero para construir puentes, líneas de ferrocarril, tuberías para gas, agua potable y redes de saneamiento.

La Asociación Mundial del Acero prevé que la demanda mundial de acero crecerá más del 3.3 por ciento y llegará a 1 mil 523 millones de toneladas.

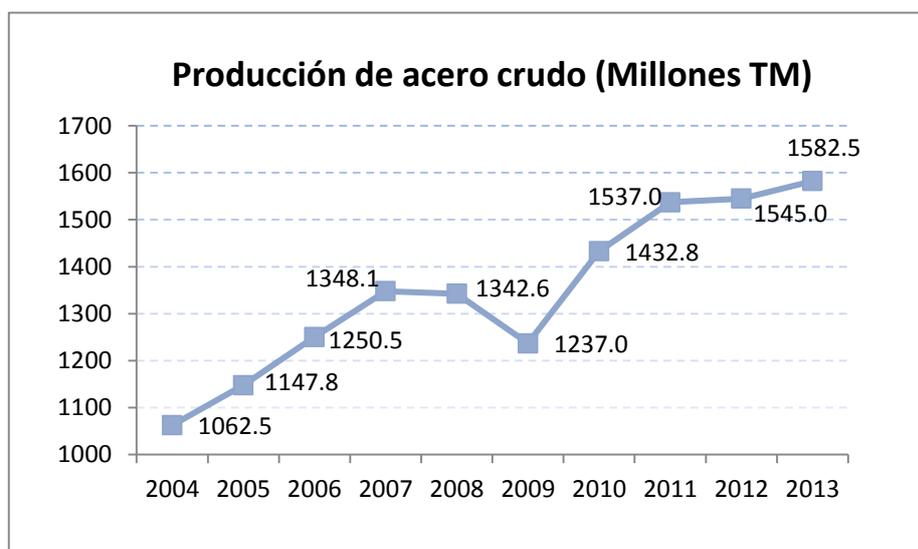
## 5.2 Oferta

En el contexto Internacional, según el World Steel Association (WSA), entre los años 2004 y 2007 la producción mundial de acero registró un crecimiento sostenido, registrando un incremento anual promedio de alrededor de 8%, como se observa en la grafico 2-1. Por su parte, en el 2008 la producción mundial de acero disminuyó 0.4 %, mientras que en el 2009 cayó 7.9%. Dicha reducción se debió a la crisis financiera internacional, registrada especialmente a partir del último trimestre del 2008, lo cual conllevó a una contracción severa en los mercados.

A su vez, en el 2010 y 2011 la producción mundial se recuperó, creciendo un 15.8 y 7.3%, respectivamente.

Así, en el 2012 la producción de acero a nivel mundial alcanzó 1,545 millones de toneladas, lo cual representa un crecimiento de aprox. 1% respecto al año 2011.

Grafico 2-1 Producción mundial de acero crudo



Fuente: [22]

Cabe mencionar que en los últimos años se observa una clara tendencia hacia la consolidación de la industria siderúrgica a nivel mundial. Dicha consolidación se ve reflejada en las fusiones y alianzas entre los distintos participantes del sector.

Cuadro N° 2.15 Los 10 Principales países productores de acero del mundo  
Ranking año 2012

Ranking de Producción de acero en el mundo				
Millones de Toneladas	2012		2011	
País	Ranking	Vol.	Ranking	Vol.
China	1	716.5	1	702.0
Japón	2	107.2	2	107.6
Estados Unidos	3	88.7	3	86.4
India	4	77.6	4	73.5
Rusia	5	70.4	5	68.9
Corea del Sur	6	69.1	6	68.5
Alemania	7	42.7	7	44.3
Turquía	8	35.9	8	34.1
Brasil	9	34.5	9	35.2
Ucrania	10	33.0	10	35.3

Fuente:[23]

Los tres principales países productores de acero en el mundo concentraron el 59.9% de la producción mundial, siendo éstos: China que ocupa el primer lugar con una producción de 716.5 millones de TM, seguida de Japón y EE.UU., con 107.2 y 88.7 millones de TM, respectivamente.

Por su parte, en América Latina, Brasil, el principal productor de la región, alcanzó una producción ascendente a 34.7 millones de TM para el año 2012.

## **6 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE HIERRO DE REDUCCIÓN DIRECTA POR REGIÓN EN EL MUNDO**

El total de la producción de HRD el año 2012 se elevó a 74,2 millones de toneladas estableciendo un nuevo récord para la industria.

El cuadro N°2.16 muestra la producción total de HRD entre los años 2007 y 2012, en los últimos años el nivel de producción aumento progresivamente, sin embargo, el crecimiento ha sido lento en comparación con años anteriores, principalmente debido a la interrupción del suministro de materias primas en el mayor país productor la India. A pesar de que el resto de la producción mundial aumentó un 5,3 %, un descenso en la India del 9 %, pasando de 21,97 millones de toneladas en 2011 a 20,05 millones de toneladas en 2012, la India sigue siendo el primer productor con más de un 27% de DRI en el mundo.

Irán es el segundo productor, con casi el 16 %. Arabia Saudita sufrió un descenso a partir de 2011, pero volvió a subir al tercer lugar con 5,7 millones de toneladas que pasan a México.

La producción en el Perú se mantiene constante durante los últimos años con una producción local de 0.10 millones de toneladas.

Cuadro N° 2.16 Producción de HRD en el mundo

2012 PRODUCCIÓN HRD EN EL MUNDO POR REGIÓN (MMTM)						
NOMBRE	'07	'08	'09	'10	'11	'12
<b>América Latina</b>						
ARGENTINA	1.81	1.86	0.81	1.57	1.68	1.61
BRAZIL	0.36	0.30	0.01	-	-	-
MEXICO	6.26	6.01	4.15	5.37	5.85	5.59
PERU	0.09	0.07	0.10	0.10	0.09	0.10
TRINIDAD Y TOBAGO	3.47	2.78	1.99	3.08	3.03	3.25
VENEZUELA	7.71	6.87	5.61	3.79	4.47	4.61
<b>Medio Oriente / N. Africa</b>						
EGIPTO	2.79	2.64	2.91	2.86	2.97	2.84
IRAN	7.44	7.46	8.20	9.35	10.37	11.58
IRAQ	-	-	-	-	-	-
LIBIA	1.64	1.57	1.11	1.27	0.3	0.51
OMAN	-	-	-	-	1.11	1.46
QATAR	1.30	1.68	2.1	2.16	2.23	2.42
ARABIA SAUDITA	4.34	4.97	5.03	5.51	5.81	5.66
UEA*	-	-	-	1.18	2.25	2.72
<b>Asia / Oceanía</b>						
AUSTRALIA	-	-	-	-	-	-
CHINA	0.60	0.18	0.08	-	-	-
INDIA	19.06	21.20	22.03	23.42	21.97	20.05
INDONESIA	1.32	1.21	1.12	1.27	1.23	1.23
JAPON	-	-	-	-	-	-
MALASIA	1.84	1.94	2.3	2.39	2.16	2.18
MYANMAR	-	-	-	-	-	-
<b>América del Norte</b>						
CANADA	0.91	0.69	0.34	0.60	0.70	0.84
EE.UU.	0.25	0.26	-	-	-	-
<b>CEI */ Europa del Este</b>						
RUSIA	3.41	4.56	4.67	4.79	5.20	5.24
<b>Sur Sahara - Africa</b>						
NIGERIA	0.15	0.20	-	-	-	-
SUDÁFRICA	1.74	1.18	1.39	1.12	1.41	1.57
<b>Europa Occidental</b>						
ALEMANIA	0.59	0.52	0.38	0.45	0.38	0.56
ITALIA	-	-	-	-	-	-
SUECIA	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL MUNDO</b>	<b>67.12</b>	<b>67.95</b>	<b>64.33</b>	<b>70.28</b>	<b>73.21</b>	<b>74.02</b>

(\*) UEA : Unión de Emiratos Árabes

(\*) CEI : Comunidad de Estados Independientes

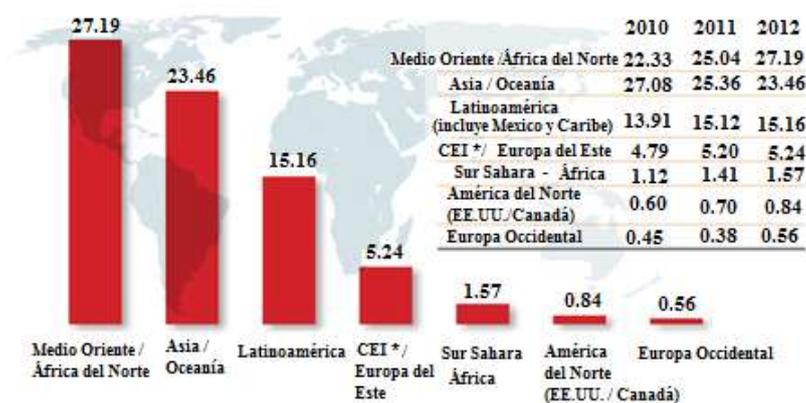
Fuente: [26]

El problema que afecta la producción implica una disminución en la disponibilidad de mineral de hierro causada por la prohibición de la minería referentes a la regulación, concesión de licencias, y los problemas ambientales o en parte debido a la los problemas ocasionados por la situación política interna.

Sin embargo la disminución de producción en algunas zonas del mundo contrarresta el crecimiento en otras.

En la figura 2-11se observa el resumen de la producción mundial de HRD por región, las regiones de Asia /Oceanía, el Medio Oriente / África del Norte, Latinoamérica, la Ex Unión Soviética / Europa del este, el Sur del Sahara en África, Europa Occidental y Norte América.

Figura 2-11 Resumen de la producción mundial de HRD



Fuente: [26]

## **7 ESTUDIO DE LOS PROCESOS EXISTENTES EN LA PRODUCCIÓN DE ACERO EN EL PERÚ**

La industria siderúrgica nacional está conformada por dos empresas:

- Corporación Aceros Arequipa S.A. (CAASA)
- Siderúrgica del Perú (SIDERPERU)

La tecnología empleada por ambas empresas siderúrgicas en su proceso productivo es similar.

En ese sentido, CAASA utiliza la tecnología del “horno eléctrico” y SIDERPERU también emplea esta tecnología y además cuenta con la tecnología del “alto horno”, pero ésta última no es utilizada actualmente por un tema de costos.

### **7.1 Proceso productivo de Corporación Aceros Arequipa**

La forma como se prepara el acero tiene origen en la fusión del hierro, contenido en diferentes cargas metálicas, el carbono y ferroaleaciones, los cuales determinan su estructura molecular.

Las principales cargas metálicas con contenido de hierro utilizadas en la producción de acero son:

- a) Hierro esponja
- b) Acero reciclado o fragmentado

Estas cargas metálicas luego se fusionaran con el carbono para producir así el acero. El proceso se inicia con la preparación de las cargas metálicas mediante el proceso de producción de hierro esponja, proceso de fragmentación de acero reciclado (chatarra) para utilizar luego estas cargas metálicas en la producción de acero mediante el proceso de aceración [29].

#### **7.1.1 Proceso de producción de hierro esponja por reducción directa**

En su planta de reducción directa, Aceros Arequipa produce hierro esponja, una de las cargas metálicas utilizadas en la producción del acero.

La materia prima para la producción de hierro esponja es el mineral de hierro (óxido de hierro) para lo cual se abastecen en su totalidad de Shougang Hierro Perú S.A., el cual llega en forma de pellets o como mineral grueso y se almacena en silos, junto con el carbón y la caliza, antes de ingresar a los hornos.

El proceso se inicia con el ingreso del mineral de hierro, carbón y caliza a los hornos rotatorios (Hornos tubulares rotatorios tipo “Kiln”).

Figura 2-12 Hornos tubulares rotatorios inclinados "kiln"



Fuente: [29]

En estos hornos se genera una combustión controlada, para esto se dispone de 7 ventiladores a lo largo del horno y de un quemador central ubicado en la zona de descarga, que brindan el aire necesario para la combustión del carbón. La temperatura alcanzada es de aprox. 1000 °C que favorece la generación del monóxido de carbono, el cual permite la reducción del pellets de mineral de hierro, es decir pierden oxígeno obteniéndose así el hierro esponja (un producto poroso y relativamente liviano).

El hierro esponja obtenido pasa luego al enfriador rotatorio donde se le suministra externamente agua para su refrigeración y se le disminuye la temperatura a aproximadamente 130 °C.

Luego es clasificado por tamaños y vía separadores magnéticos, en donde el hierro esponja es separado de los residuos de carbón y cenizas, para que finalmente la carga metálica así obtenida se acumula en la bahía de consumo de metálicos en espera de su utilización.

Figura 2-13 Planta de Reducción Directa



Fuente: [29]

### 7.1.2 Proceso de Fragmentación de acero reciclado

Otra carga metálica con contenido de hierro utilizado en la producción del acero es el acero reciclado o fragmentado. Este acero reciclado inicia su proceso con la selección del acero reciclado según su carga residual y su densidad las cuales son determinadas por una junta calificadora. Para luego pasar a la Planta Fragmentadora donde se da:

- Proceso de Corte y Trituración: Poderosos martillos reducen el acero reciclado a una forma óptima para luego pasar por una serie de rodillos magnéticos.
- Rodillos Magnéticos: Seleccionan todo lo metálico, los materiales que no lo son se desvían por otro conducto para su almacenamiento o su cuidadosa eliminación.

Al final el acero reciclado o fragmentado se apila en la bahía de carga en la espera de su utilización.

Figura 2-14 Proceso de Fragmentación



Fuente: [29]

Las cargas metálicas con contenido de hierro y el carbono estas listas para entrar al proceso de acería.

### 7.1.3 Proceso de Acería

En la zona de carga se mezcla ambas cargas metálicas con contenido de hierro, el hierro esponja se le añade el acero reciclado o fragmentado, esta mezcla se lleva a la planta de acería para iniciar el proceso de fusión, con el carbón y producir así el acero.

En la planta de acería se encuentra el horno eléctrico corazón de toda la planta. En el interior del Horno eléctrico, la principal energía usada para cubrir la carga es la energía eléctrica producida por tres electrodos que generan temperatura por encima de los 3000°C a 5000°C. También se produce energía química producto de la oxidación.

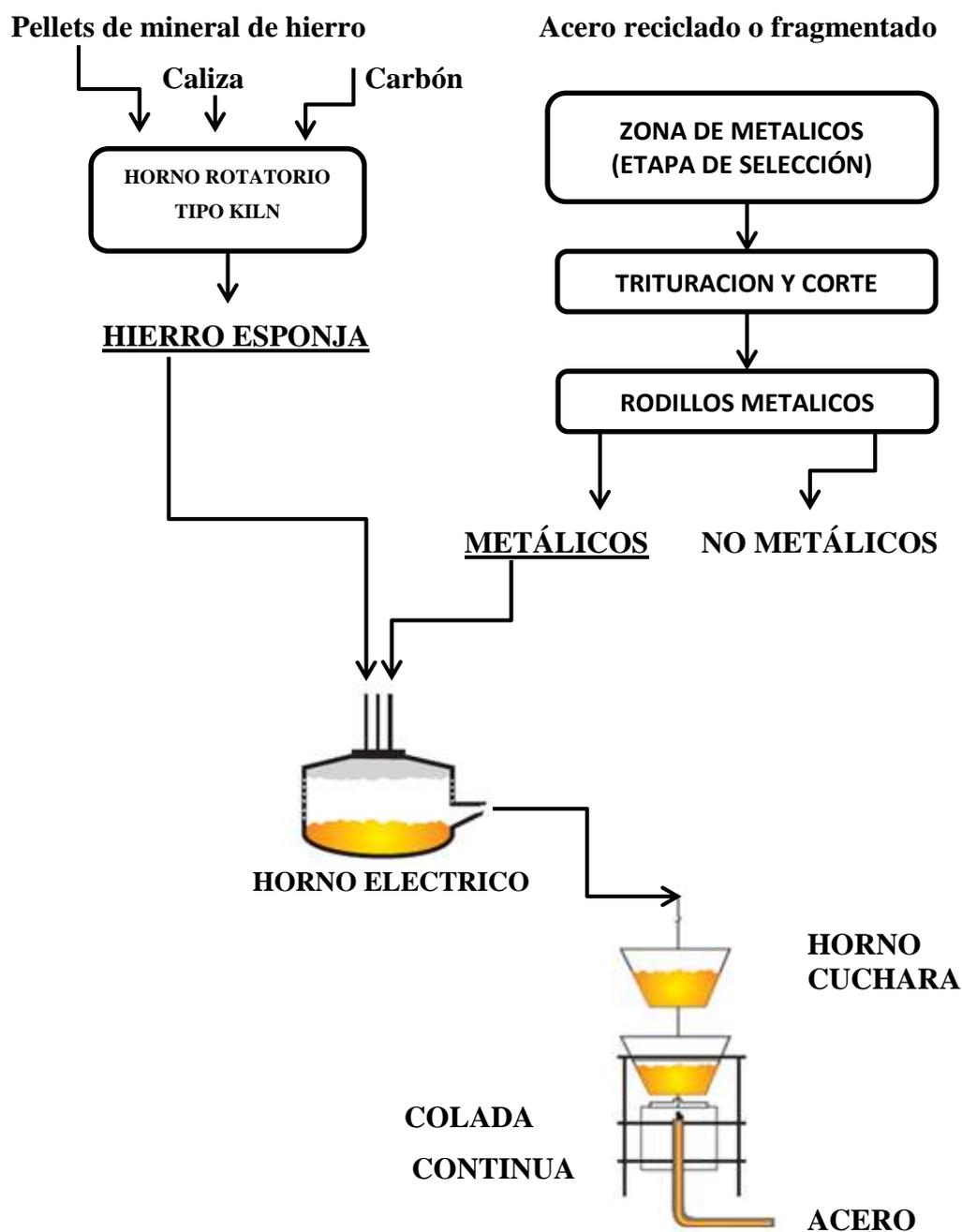
El hierro esponja, el acero reciclado o fragmentado y el carbono se funden a 1600 °C, obteniéndose así el acero líquido.

Luego de 40 min de combustión, el acero líquido pasa al horno cuchara en donde otros tres electrodos realizan el afino, es decir se ajusta la composición química del acero logrando así la calidad necesaria para el producto.

Posteriormente, el acero pasa a la colada continua, formada por 4 líneas de colada o moldes oscilatorios, en los que se le brinda al acero refrigeración para solidificarlo superficialmente.

Estas barras solidificadas son cortadas obteniéndose así las palanquillas, el producto final de la acería y la materia prima para la laminación.

Figura 2-15 Proceso productivo Corporación Aceros Arequipa



Fuente: Elaboración propia

## 7.2 Proceso productivo de SIDERPERU

Las plantas productoras de acero de SIDER PERU, en su mayoría, se clasifican según su proceso productivo en integradas y semi-integradas.

- Las plantas integradas operan tres etapas del proceso siderúrgico: reducción, refinado y laminación.
- Las plantas semi-integradas operan dos etapas: refinado y laminación.

Las plantas integradas y semi-integradas se diferencian básicamente por la materia prima utilizada para la producción del acero [30].

### 7.2.1 Las Usinas integradas

Reúnen tres etapas del proceso siderúrgico: Reducción, refinado y conformación mecánica (laminación).

Hay dos procesos distintos de reducción:

- a) Alto horno, que produce el arrabio
- b) Reducción directa, que produce hierro esponja

En esas unidades la producción del acero se realiza a partir del mineral de hierro, encontrado en la naturaleza en forma de rocas que deben ser procesadas para la obtención de Arrabio o Hierro Esponja.

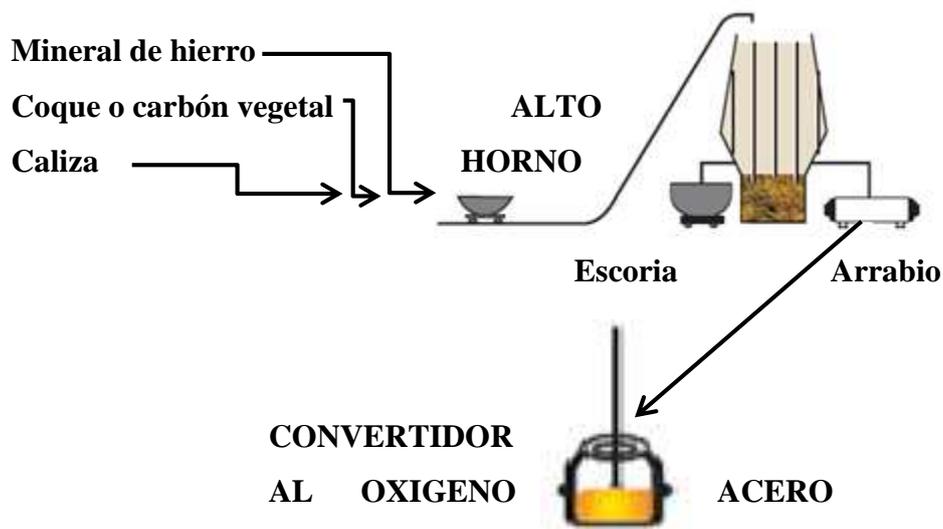
En las Usinas integradas, la transformación de la materia prima en acero empieza con el proceso de reducción.

#### a) Alto horno:

En el alto horno el mineral en forma granulada es calentada a más de 1400 °C, utilizando el coque o carbón vegetal como combustible, se agrega caliza u otro tipo de fundente para ayudar en la formación de la escoria, responsable de la captura de las impurezas del mineral, el resultado después de pasar por el alto horno es el hierro en forma líquida nombrado arrabio.

Después transporta el arrabio a los convertidos de la acería, en el convertidor ocurre el refinado del metal que transforma el arrabio en acero. Este se obtiene insuflando oxígeno en el arrabio líquido, en ese momento se agrega también la cal para formar escoria. Así el acero estará listo.

Figura 2-16 Proceso de producción de acero vía alto horno – SIDERPERU



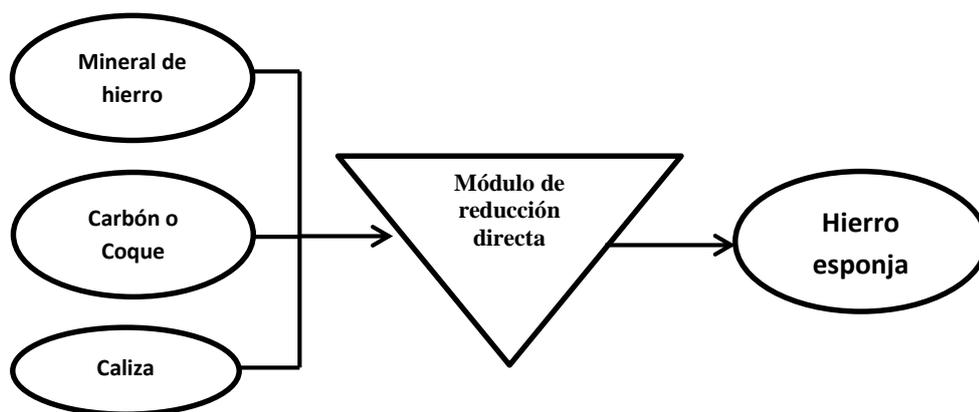
Fuente: Elaboración propia

### b) Producción de hierro esponja

Para obtener hierro esponja, se realiza en un reactor. El proceso inicia con la reducción del mineral de hierro que puede ser grueso o en forma de pellets.

En el reactor con monóxido de carbono e hidrógeno, el mineral reacciona a la temperatura de 950 °C y se transforma en hierro esponja que es altamente metalizado.

Figura 2-17 Usinas integradas – Proceso de reducción directa



Fuente: Elaboración propia

### 7.2.2 Usinas Semi-integradas

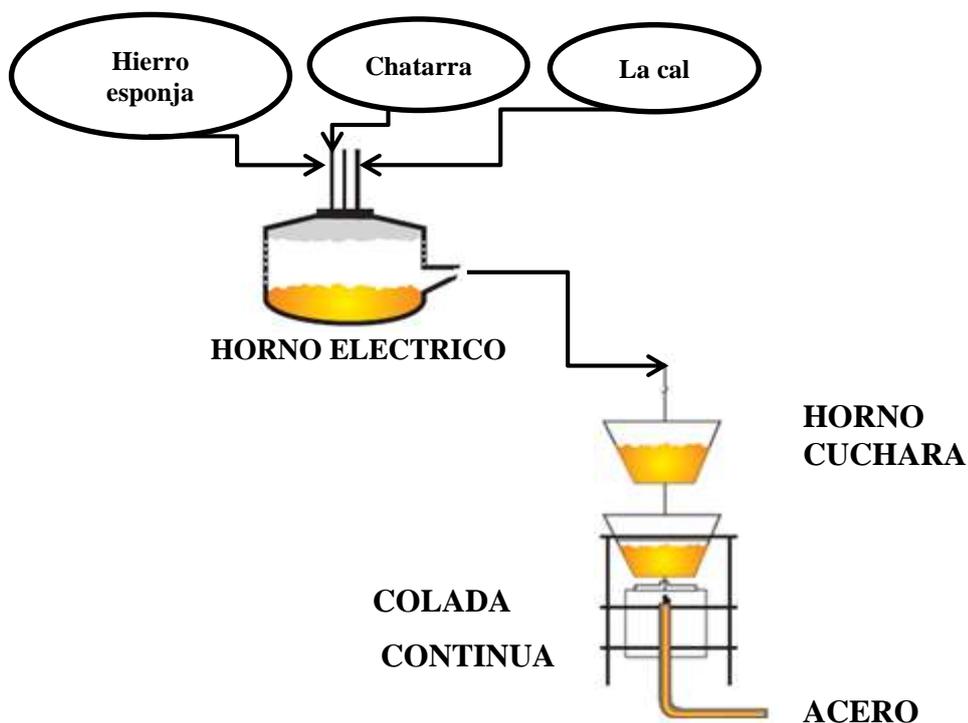
Trabajan con las etapas de refinado y conformación metálica, y el acero se produce a partir de chatarra, arrabio o hierro esponja.

La chatarra, la cal, el arrabio sólido o el hierro esponja abastece la cesta que es transportada hasta el Horno eléctrico se descarga la materia prima en este horno donde ocurre la fusión en una temperatura que llega a 1700 °C con la fusión, inyección de oxígeno, el resultado de ese proceso es el acero.

Luego, se transporta al horno cuchara el acero pasa por un refinado secundario para ajustar su temperatura y composición química.

Después del refinado secundario el acero es conducido a la colada continua que lo separa en diversos ejes. El acero líquido pasa por moldes de enfriamiento para solidificarse en forma de palanquillas que serán cortadas en dimensiones adecuadas a la laminación.

Figura 2-18 Usinas Semi – integradas



Fuente: Elaboración propia

## **8 MATERIA PRIMA PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE HIERRO DE REDUCCIÓN DIRECTA**

La materia prima para la obtención del hierro esponja es el mineral de hierro (óxido de hierro), a continuación se describirá las características del mineral de hierro y los principales tipos de mineral de hierro existentes en la naturaleza.

### **8.1 Mineral de hierro**

Metal más importante que ocupa el cuarto lugar en abundancia junto al oxígeno, silicio y aluminio. La composición media de la tierra contiene 4,15% de hierro.

Debido a su avidez por el oxígeno, el hierro se encuentra en la naturaleza en forma de minerales compuesto principalmente por óxidos. De estos minerales, los más utilizados industrialmente para la extracción del metal son: hematita, magnetita, wustita, limonita, siderita [3].

La hematita, es el mineral de hierro más importante, el hierro se encuentra en su máximo estado de oxidación, el óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Cuando es puro contiene el 70 % de hierro y un 30 % de oxígeno.

La magnetita, es una combinación estequiométrica de los óxidos ferrosos y férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$ ) [23]. Su fórmula se escribe como  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , y se conoce como óxido ferroso férrico u óxido magnético de hierro. Es el mineral que contiene la mayor cantidad de hierro en su forma pura debería contener 72,4%.

La wustita está formada por óxido ferroso ( $\text{FeO}$ ), es el estado de oxidación más bajo del hierro (II), su contenido de hierro en el mineral puro es 77,73 % y 22,27 % de oxígeno.

Limonita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ ) es otro óxido, pero contiene cantidades variables de agua y se deriva de la alteración de los otros minerales ferrosos; su contenido de metal varía de un depósito a otro, pero generalmente no supera el 50%.

Siderita es un carbonato ( $\text{FeCO}_3$ ) que en su estado puro contiene 48,3% de metal, pero rara vez se utiliza en la producción de hierro y acero.

## 8.2 Procesamiento del mineral de hierro y productos obtenidos

El mineral de hierro que se extrae de la minas posee impurezas (principalmente fósforo y azufre), si el mineral posee un bajo contenido de impurezas puede ser utilizado para carga directa al horno de reducción, requiriendo sólo proceso de molienda y concentración. De este proceso se obtiene el mineral Grueso y Fino. La diferencia entre un proceso y otro está en el tamaño de los materiales obtenidos en cada proceso: en la molienda se obtiene el mineral en partículas más pequeñas que en la trituración [31].

Si, por el contrario, el contenido de impurezas es relativamente alto, se realiza también la molienda y concentración, pero requiere además de un proceso químico de peletización, donde se reducen significativamente dichas impurezas y se obtienen los pellets de mineral de hierro.

A continuación se describen las fases de procesamiento del mineral de hierro y las características de los productos obtenidos a partir de estos [32].

### 8.2.1 Molienda y concentración

Los procesos de molienda y concentración constan de seis fases siguientes:

**a)** Trituración del mineral a tamaños gruesos.

Se realiza para reducir el tamaño de los minerales. Se hace en seco en máquinas llamadas trituradoras.

**b)** Molido a tamaños finos.

La molienda puede hacerse con materiales húmedos o secos. Se utilizan los molinos rotatorios.

**c)** Primera separación magnética

Es la operación de separar el mineral de la ganga, se realiza en seco y se elimina parte de la ganga en trozos de tamaño mediano, con aumento de la riqueza en hierro de 25 a 40 %.

**d)** Segundo molido a tamaño muy fino en molinos de bolas.

**e)** Segunda separación magnética en húmedo del mineral y aumento de la riqueza del mineral de 40 a 65,5 % de hierro.

**f)** Eliminación del agua

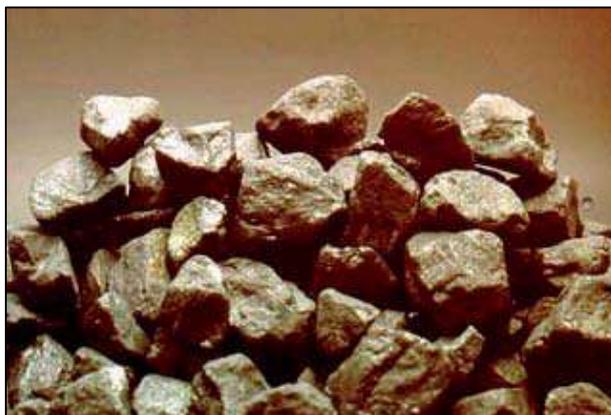
Se realiza en filtros de vacío y clasificación por tamaños.

De esta forma se obtiene mineral con una riqueza de 63% a 65% de hierro. Entre estos se encuentran: Mineral Grueso y el Mineral Fino

### 8.2.2 Mineral de hierro grueso

Mediante la trituración se obtiene mineral de hierro grueso, que es la forma más común de hierro comercializable. Es la forma más tradicional en que se comercializa el mineral proveniente de las minas de hierro, se le somete a un proceso de beneficio para separarlo de la ganga, con lo que aumenta su ley de hierro al 60 – 63 %. Sus dimensiones son de 10 a 30 mm.

Figura 2-19 Mineral de hierro grueso



Fuente: [33]

### 8.2.3 Mineral de hierro fino

Mineral de hierro fino por lo general de 10 a 44 micrones de tamaño y una ley de 65 %. Estos pueden ser de origen natural o pueden haber sido concentrados con el fin de mejorar la calidad.

Figura 2-20 Mineral de hierro fino



Fuente: [33]

### **8.2.4 Peletización**

Para este proceso el mineral debe encontrarse en forma de partículas muy finas. Es frecuente exigir que todas las partículas sean inferiores a 0,200 mm y que el 70 % sea inferior a 0,0075 mm. Con partículas de mayores tamaños, se obtienen pellets defectuosos.

La peletización se caracteriza porque el mineral fino se aglomera en forma de bolitas con un cierto grado de humedad, y luego, en otra segunda operación, esas bolitas crudas (en verde) se endurecen por cocción en hornos apropiados.

El proceso de peletización consta de tres fases principales:

#### **a) Preparación de polvo de mineral**

Para obtener una granulometría adecuada (Etapa de Molienda y trituración).

#### **b) Fabricación de pellet verde**

Es el aglomerado de los finos en aparatos con movimiento giratorio con un cierto grado de humedad de las bolitas o pellets. Para que la peletización sea correcta, es necesario regular con precisión la humedad a un 10 % aproximadamente y añadir al mineral 1 % de bentonita, aproximadamente, para favorecer la aglomeración en forma de bolitas.

#### **c) Endurecimiento de los pellets verdes**

Se realiza por calentamiento a alta temperatura en hornos adecuados para obtener bolas de porosidad adecuada, suficientemente duras y resistentes para su manipulación, transporte y tratamiento en el horno de reducción.

### **8.2.5 Pellet de mineral de hierro**

Los pellets se producen mediante la aglomeración de un concentrado de mineral de hierro muy fino y un aglutinante, como bentonita. Los pellets usualmente son de 9mm a 16mm de tamaño y una ley de 66 %. Debido a su consistencia de ley y tamaño, los pellets se usan en la producción de hierro esponja.

Las principales cualidades que se exige a los pellets, son:

- Uniformidad de tamaño.
- Muy alta resistencia y dureza.
- Buena reductibilidad.
- Alto contenido en hierro y uniforme composición química.

Figura 2-21 Pellets de mineral de hierro



Fuente: [33]

## 9 PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA

El proceso de reducción directa consiste en la remoción de oxígeno del mineral de hierro a temperaturas por debajo del punto de fusión (inclusive debajo del punto de sinterización) del mineral, para la obtención de un producto con un alto contenido de hierro metálico denominado "Hierro de Reducción Directa (HRD)".

En procesos basados en gas, la separación de oxígeno se lleva a cabo mediante la acción de los agentes reductores hidrógeno ( $H_2$ ) y monóxido de carbono (CO), mientras que en procesos con agente reductor sólido se utiliza el carbón (C).

Esta conversión se logra mediante reacciones químicas entre el óxido de hierro y un gas reductor, producto de la reformación del gas natural, el cual contiene hidrógeno y monóxido de carbono, a temperaturas superiores a los  $700^\circ C$ .

El proceso se denomina reducción directa porque el óxido de hierro se convierte en hierro metálico sin fundirse ni gasificarse, sino que permanece en la fase sólida durante todo el proceso.

### 9.1 Reacciones químicas de la reducción del mineral de hierro

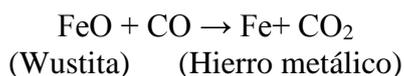
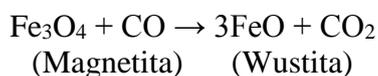
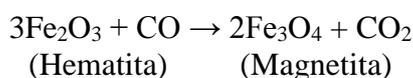
La reducción directa del óxido de hierro es una reacción química de hidrógeno (H<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) con el óxido de hierro, para producir hierro metálico.

Al CO y H<sub>2</sub> se les conoce como gases reductores, ya que reduce el óxido de hierro, convirtiéndolo en hierro metalizado.

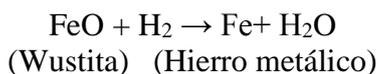
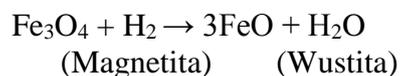
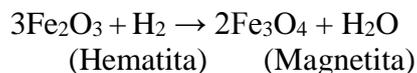
El CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O oxidan al hierro, y se conocen como gases oxidantes.

En la mayoría de los casos, el mineral de hierro se encuentra en la forma de hematita, y la reducción comienza de la hematita y procede en el siguiente orden [34]:

#### Reducción por CO:



#### Reducción por H<sub>2</sub>:



Obteniéndose como resultado hierro metálico, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y agua (H<sub>2</sub>O) en forma de vapor.

Durante el proceso, el óxido de hierro Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se convierte en Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, después en FeO y al terminar el proceso en el elemento Fe. El hierro reducido (o hierro esponja) es poroso, carece de impurezas y resulta fácil de manejar en el proceso de fabricación de acero.

## 10 USO DEL GAS NATURAL EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO ESPONJA

El gas natural es el combustible más utilizado para la obtención de gases reductores en reducción directa, sus ventajas principales son:

1. Bajo contenido de azufre
2. Fácil transporte
3. Conversión relativamente fácil a CO e H<sub>2</sub>
4. La necesidad de control del medio ambiente, las operaciones y los productos más modernos, han llevado a desarrollar la industria de producción de hierro esponja, considerando que el fin de la industria de procesamiento de hierro debe tener en cuenta los cambios progresistas.
5. El proceso implica el uso de los agentes reductores obtenidos a partir de una fuente limpia como es el gas natural (gas de síntesis) para eliminar químicamente el oxígeno del mineral de hierro, produciendo de este modo un hierro purificado, Hierro de Reducción Directa (HRD) para la fusión en un horno de fabricación de acero [9].

## 11 PROCESOS PARA OBTENER EL HIERRO ESPONJA A PARTIR DEL GAS NATURAL

Con el propósito de entender los procesos sobre hierro esponja se definen los siguientes conceptos:

- **Grado de Metalización**

Es la relación entre el hierro metálico (Fe.m) del producto reducido y el hierro total (Fe.t) del mineral empleado.

$$G.M. = \frac{Fe.m (\%) \times 100}{Fe.t (\%)}$$

- **Grado de Reducción**

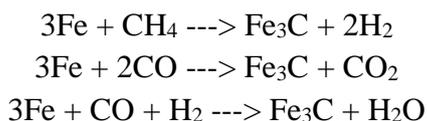
Es la relación entre el oxígeno eliminado de los óxidos de hierro y el oxígeno total combinado con hierro en la carga:

$$G.R. = \frac{O \text{ eliminado } (\%) \times 100}{O \text{ total } (\%)}$$

- **Carburización**

La carburización es el proceso por medio del cual se aumenta el contenido de carbono en un material. El contenido de carbono en el producto reducido es esencial para el uso más eficaz del producto en la manufactura de hierro y acero [35].

La carburización del hierro metálico se puede lograr por medio de una o más de las siguientes reacciones:



### 11.1 Procesos de Reducción Directa

La evolución de los procesos de reducción directa se ha basado principalmente en la utilización del gas natural o del carbón, como fuente de agentes reductores; sin embargo, más del 90% de las plantas de reducción directa que operan en el mundo a nivel industrial utilizan el gas como reductor. Dentro de los procesos que utilizan el gas como reductor, tres de ellos son los más resaltantes:

Cuadro N° 2.17 Principales tecnologías de producción de Hierro de reducción directa utilizando Gas Natural

N°	TECNOLOGÍA
1	FINMET
2	HYL
3	MIDREX

Fuente: Elaboración propia

### 11.2 Tecnología FINMET

El proceso FINMET está constituido por dos grandes secciones:

Una sección para la generación del gas reductor y la otra para la reducción de los minerales de hierro.

- La primera gran sección corresponde a la generación de gas reductor, está constituido por un reformador gas – vapor convencional y su correspondiente equipo de recuperación de calor que incluye el área de generación de vapor.

- La segunda sección corresponde al proceso de reducción, que está conformada por un tren de cuatro reactores de lecho fluidizado de reducción, que están interconectadas con las líneas de transferencia de gas y sólidos.

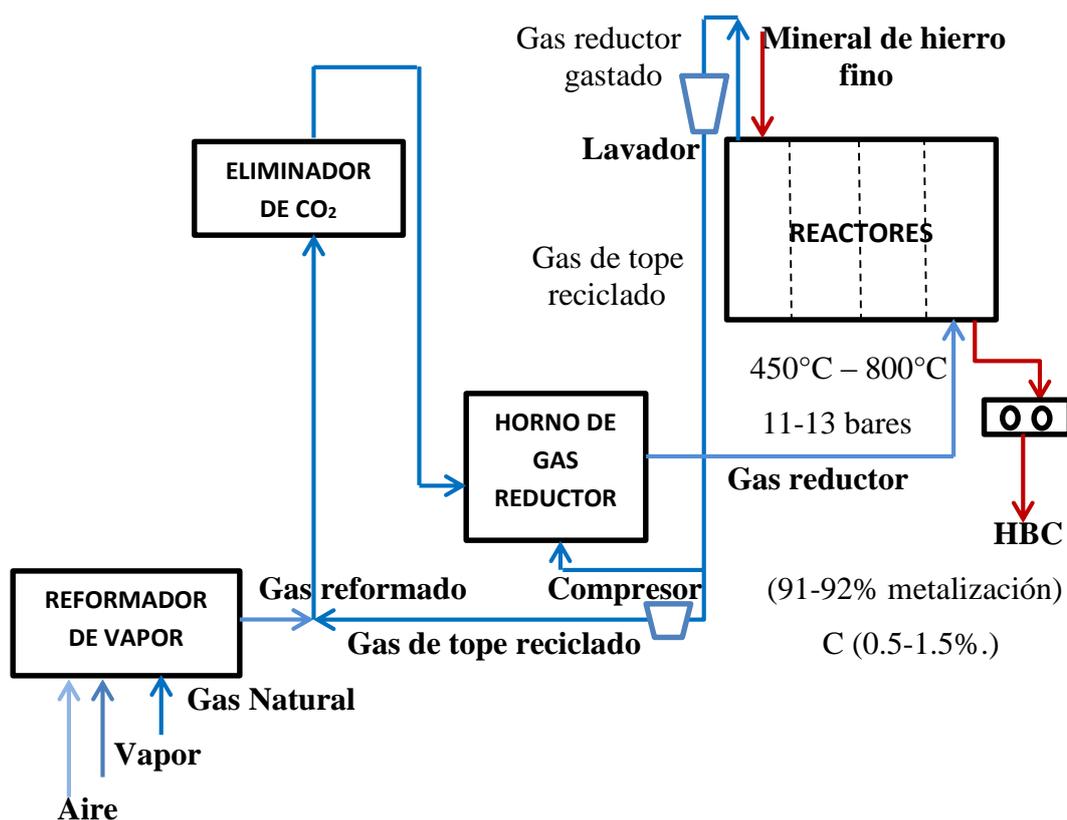
### **11.2.1 Proceso de reducción FINMET**

- El proceso FINMET utiliza finos de mineral de hierro que fluyen hacia abajo por gravedad desde la parte superior a la inferior del reactor, mientras que el gas reductor fluye hacia arriba en una dirección contracorriente.
- Este flujo en contracorriente mejora la eficiencia del proceso, aumentando así la reducción de más de lo que puede lograrse en un solo reactor para el gas dado y los flujos de mineral.
- El mineral fino se calienta en el primer reactor a aproximadamente 450 ° C por el gas reductor parcialmente gastado procedente del reactor anterior, que entra en contacto con el mineral por medio de una red de distribución de gas [36].
- Las temperaturas de funcionamiento de los reactores varían desde aproximadamente 450 ° C en el reactor superior a 780-800 ° C en la inferior y la presión de los reactores es entre 11 y 13 bar.
- El mineral de hierro que ingreso al primer reactor fluye hacia abajo a través de los reactores restantes, llegando a ser más alto en hierro metálico en cada paso debido al contacto con el gas de fluidización progresivamente más rico. Alcanzando una metalización de alrededor de 91-92% en el último reactor.
- El gas reductor gastado sale del reactor al sistema de manejo de gas y se recicla al proceso.
- El gas de tope reciclado es primero lavado y enfriado en un lavador húmedo, donde se enfría el gas y se elimina cualquier resto de polvo.
- Una pequeña parte del gas lavado se retira para controlar el gas inerte acumulado en el sistema y la presión del sistema, esto se utiliza como combustible en el horno de gas reductor.
- El gas de reciclado restante se comprime en un compresor centrífugo y se devuelve al proceso.
- El gas requerido para la reducción se suministra por una mezcla del gas de tope reciclado, y gas fresco proporcionado por un reformador de vapor, necesario para

compensar lo que se consume en el proceso. Debido a que no todo el  $H_2$  y  $CO$  en el gas reductor se consume durante la reducción, este gas puede ser reciclado.

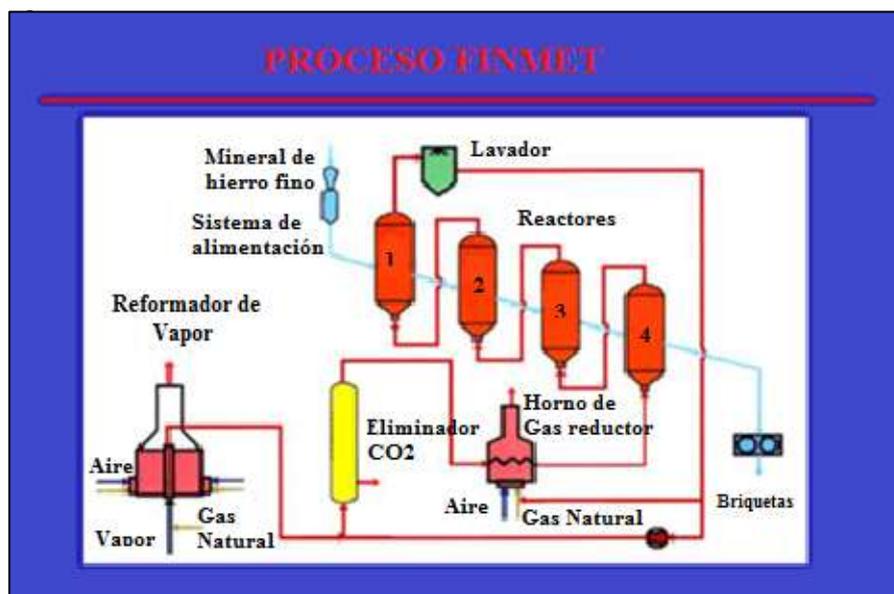
- La corriente de gas reformado, así como parte del gas de reciclaje se envían al proceso, antes pasan a través de un sistema de eliminación de  $CO_2$ , y luego se precalienta hasta  $780\text{ }^{\circ}C$  en el horno de gas reductor antes de ser enviado a los reactores.
- Los finos de mineral de hierro reducido se introducen en máquinas de fabricación de briquetas, para posteriormente ser compactadas en forma de briqueta recibiendo el nombre de Hierro Briqueteado Caliente (HBC).

Figura 2-22 Diagrama de proceso de reducción FINMET



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-23 Proceso de Reducción FINMET



Fuente: [36]

### 11.3 Tecnología HYL

El Proceso HyL es un sistema de reducción directa del hierro patentado por la empresa mexicana Hojalata y Lámina S.A. (Hylsa) en 1957 [38].

#### 11.3.1 Proceso de reducción HYL

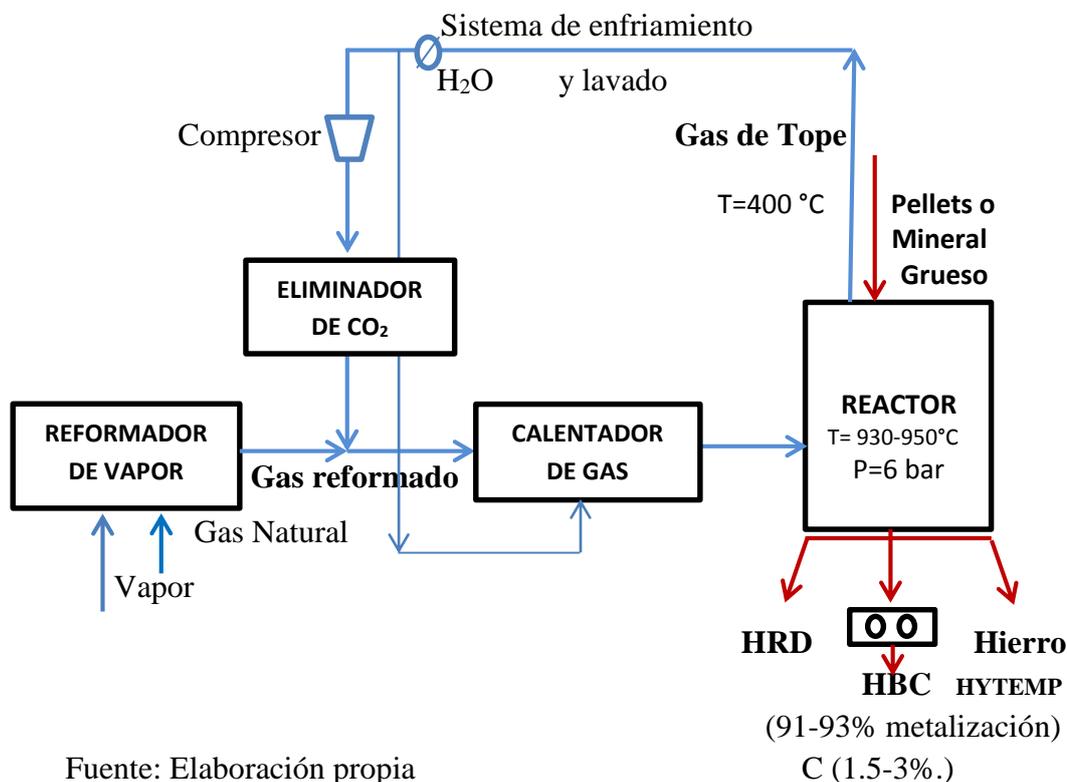
El Proceso HyL, consiste básicamente de dos secciones que operan independientemente: una sección para la generación del gas reductor y la otra para la reducción de los minerales de hierro.

- El proceso HyL, utiliza como insumo los pellets de mineral de hierro, mineral grueso, o la mezcla de ambos que son transportados por una cinta transportadora hasta la parte superior del horno de reducción.
- Estos insumos fluyen hacia abajo por gravedad, desde la parte superior a la parte inferior del horno.
- En el interior del horno de cuba, el gas reductor caliente se alimenta a la zona de reducción y fluye hacia arriba a contra-corriente con el mineral de hierro lecho móvil. El horno de reducción opera a una presión de alrededor 6 bar absolutos, lo que permite una alta productividad.
- Las reacciones de reducción tendrá lugar en esta zona. La sección de reducción comprende dos circuitos funcionalmente independientes: uno para la reducción del

mineral de hierro (circuito de reducción) y el otro para el enfriamiento y la carburización del hierro de reducción directa (HRD) producido (circuito de enfriamiento).

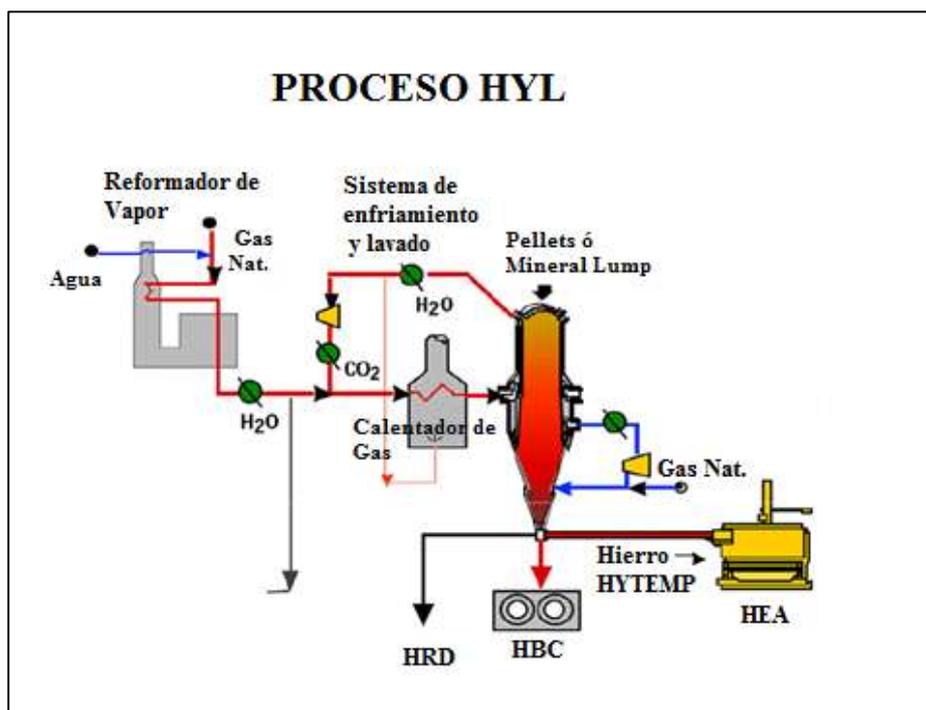
- La metalización puede alcanzar entre 91-93 por ciento y el contenido de carbono puede alcanzar de 1,5 a 3,0 %.
- El gas reductor agotado (gas de tope) sale del reactor a aproximadamente 400 ° C, luego esta corriente de gas pasa a través del sistema de enfriamiento / lavado.
- El gas lavado, pasa luego a través del compresor de recirculación de gas de proceso, donde aumenta su presión. Casi la totalidad del gas de tope es reciclado, solo una pequeña porción es purgada del sistema para controlar la concentración de los inertes y la presión del sistema.
- El gas comprimido, es enviado a la unidad de eliminación de dióxido de carbono para luego mezclarse a la corriente de gas natural (o gas complementario) que proviene del reformador de gas.
- Esta corriente de gas reductor se hace pasar a través del calentador de gas, donde se calienta hasta una temperatura entre 930-950 ° C, cerrando así el circuito de gas reductor.

Figura 2-24 Diagrama de proceso de reducción HyL



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-25 Proceso de Reducción HYL



Fuente: [39]

## 11.4 Tecnología MIDREX

El proceso de reducción directa MIDREX fue desarrollado en el año 1969 por la compañía Midland Ross, instalándose el primer módulo en Portland, Estados Unidos.

### 11.4.1 Proceso de reducción MIDREX

El proceso MIDREX utiliza gas natural como fuente energética y reductora de pellets de mineral o mineral grueso de hierro.

El proceso se inicia con la preparación de la materia prima que consiste en recubrir los pellets de mineral de hierro con cal hidratada para evitar que se aglomere por efectos de las altas temperaturas.

Los principales componentes de la planta son:

- a) El horno de cuba de reducción,
- b) El reformador MIDREX de gas
- c) El recuperador de calor
- d) El sistema de refrigeración con gas

### a) Reducción en el horno de cuba

El proceso de reducción directa MIDREX utiliza un flujo continuo de gases reductores para químicamente extraer el oxígeno del mineral de hierro.

- Los gases reductores se producen en el reformador, y se introducen en el horno de reducción con una concentración y temperaturas controladas.
- Fluyen contra la corriente del mineral de hierro descendiente, los gases reductores calientan, reducen y carburizan al mineral a la composición deseada.

- El horno de cuba presenta tres zonas:

**1. La zona superior del horno,** es conocida como zona de reducción, y es aquí donde ocurren las reacciones químicas de reducción que dan como producto el hierro reducido.

**2. Zona de enfriamiento o zona inferior,** en que el gas refrigerante entra por la parte inferior del reactor y fluye a contracorriente con el sólido, para bajar la temperatura del hierro de reducción directa (HRD) a 45°C para su manejo en los sistemas de transporte.

**3. Zona isobárica o zona media,** Esta sección del reactor separa las zonas de reducción y enfriamiento. Se llama isobárica por ser zona de presión constante con el fin de no tener flujo de gas a través de ella y no mezclar el gas de reducción con el de enfriamiento. Teóricamente en esta zona lo único que debe fluir es el sólido que se transfiere de la zona de reducción a la de enfriamiento.

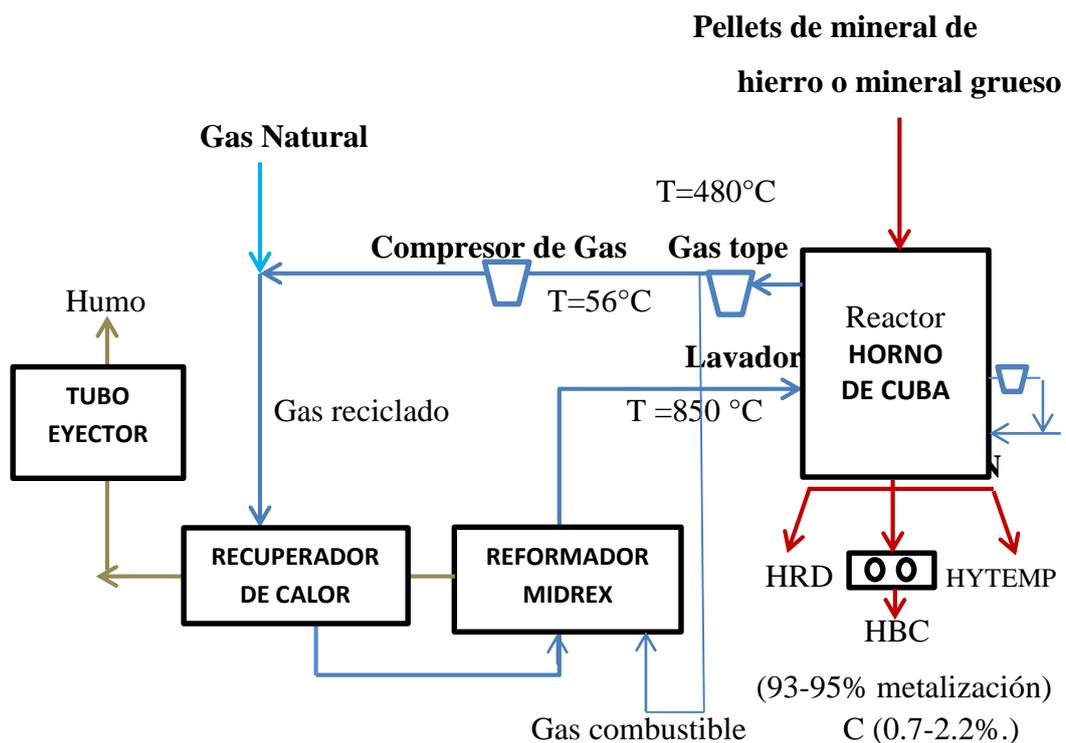
- La velocidad con la que ocurran estas reacciones, determinan el tiempo de residencia necesario para producir HRD con una metalización que normalmente oscila entre 93% y 95% (generalmente es entre 4 y 6 horas); esto también es determinado por la capacidad de los equipos existentes en planta [42].

- A medida que el gas reductor asciende dentro del horno, el mismo va perdiendo su poder reductor. Los gases de reducción entran a la zona de reducción del reactor a 850 °C, remueven el oxígeno del mineral de hierro y salen por el tope del horno.

- Este gas que sale de la zona de reducción, por el tope de horno (conocido como Gas de Tope o gas de cola), tiene una temperatura entre 300 °C y 480 °C.

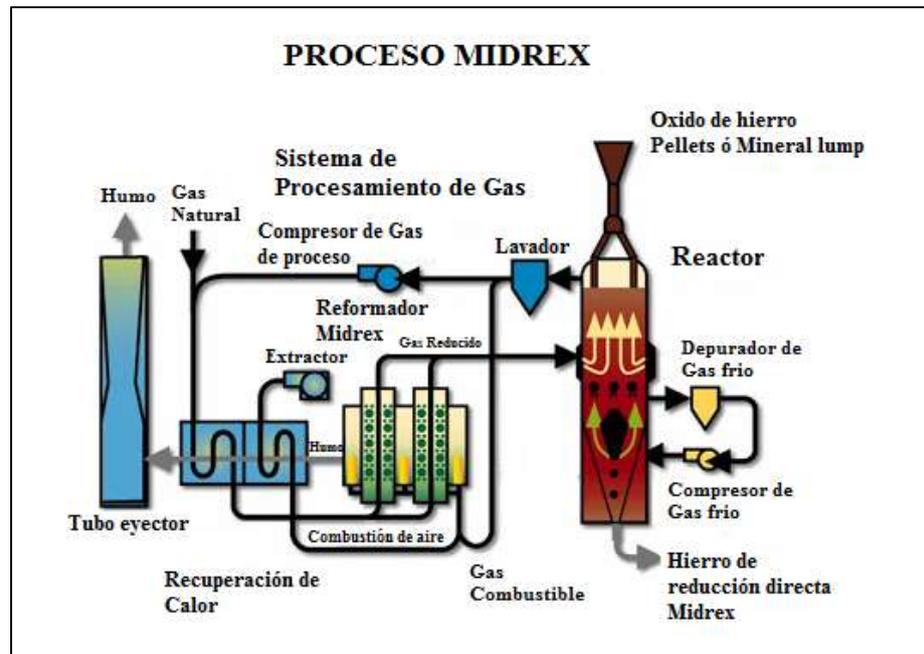
- El gas tope pasa por el lavador de gas donde se enfría a una temperatura entre 48 °C y 56 °C, y se le remueven las partículas finas de metálico y/o óxido. El enfriamiento en este lavador, remueve un porcentaje de vapor de agua formado durante la reducción.
- El gas se divide en dos ramas, una parte es reciclado para que pueda ser utilizado nuevamente como Gas de Proceso.
- Pasa por los compresores de proceso y se mezcla con gas natural (gas de alimentación); para ingresar a los recuperadores de calor.
- Y la otra parte del gas de tope lavado es utilizado como combustible en los quemadores del reformador.
- El gas que re circula posee los suficientes elementos oxidantes como para producir la reforma del gas, eliminando así la necesidad de alimentar aire o vapor.

Figura 2-26 Diagrama de proceso de reducción MIDREX



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-27 Proceso de Reducción MIDREX



Fuente: [45]

### b) Reformador MIDREX de gas natural

El proceso para producir los gases reductores: hidrogeno y monóxido de carbono, consiste en la reacción del gas natural con el agua y dióxido de carbono en el reformador.

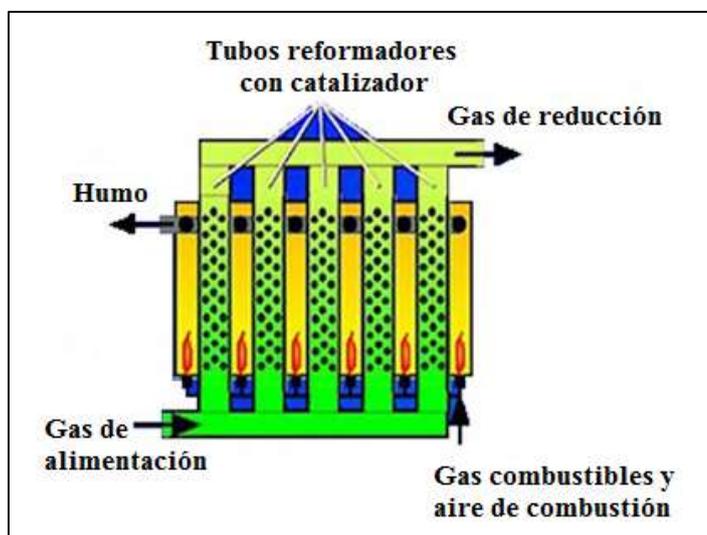
- **Reformador:** Es un horno recubierto con material refractario y tubos de aleación llenos de catalizador a base de níquel a una temperatura entre 900 °C – 1000 °C [45]. Dentro de este, el gas es calentado y reformado a medida que pasa por los tubos. El gas de alimentación que entra por la parte inferior de cada tubo a unos 460°C, se pone en contacto con el catalizador, convirtiéndose en gas reformado (hidrogeno y monóxido de carbono) y sale por la parte superior, a una temperatura de 920 °C (promedio).

El gas reformado caliente de cada tubo es colectado por dos ductos paralelos ubicados en el techo del reformador. Estos convergen en un solo ducto. El gas reformado contiene de 90 – 95% de reductores que serán dirigidos al horno de reducción [42].

La reacción que permite llevar a cabo este proceso es la siguiente:



Figura 2-28 Reformador MIDREX de Gas Natural

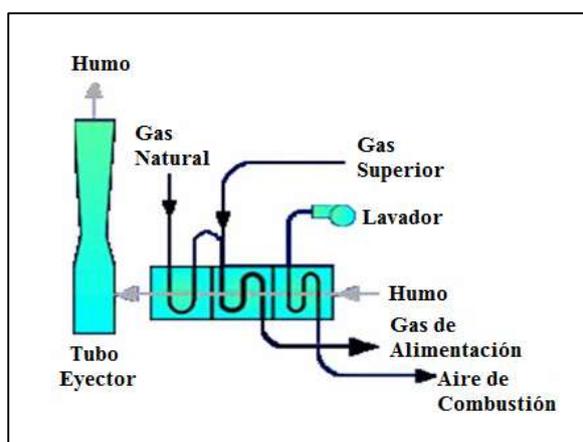


Fuente: [45]

### c) Recuperador de Calor

En esta parte del proceso, El calor en los gases de combustión (llamado gases de humo) producidos en los quemadores se utilizan para precalentar el gas natural de alimentación del Reformador, el aire de combustión hacia los quemadores y el gas natural a gas proceso en el bloque de recuperación de calor y finalmente ser liberados en la atmosfera a través de un tubo eyector.

Figura 2-29 Sistema de recuperación de calor



Fuente: [45]

#### **d) Sistema de Refrigeración del producto**

La zona de enfriamiento tiene como objetivo bajar la temperatura del HRD a 45°C para su manejo en los sistemas de transporte.

Además de enfriar el HRD, en esta zona se realiza la deposición del carbono (Carburización), mediante el craqueo del metano (CH<sub>4</sub>) presente en el gas de enfriamiento, para obtener valores de 0.7 a 2.2% de carbono aproximadamente en el HRD.

#### **11.4.2 Minerales utilizados en el proceso MIDREX y su importancia**

En el proceso MIDREX por razones de economía y productividad, se utiliza generalmente una mezcla de varias materias primas: distintas calidades de pellets y minerales en trozos.

Las razones económicas están dadas por el menor costo del mineral en trozos respecto de los pellets y las razones de productividad se basan en el hecho de permitir temperaturas de operación mayores (870° - 900° C) contra 760° C para 100% de pellets.

Esta temperatura está fijada por el punto de ablandamiento de los pellets. Las mayores temperaturas ocasionan una más eficiente utilización del gas por mayor velocidad de reacción incrementándose la producción y disminuyendo el consumo específico de energía.

El mineral grueso genera una mayor cantidad de finos que los pellets y por consiguiente una mayor cantidad de éstos son llevados por los gases a los lavadores. Estos dos factores se conjugan para aumentar la cantidad de mineral necesario para producir una tonelada de producto reducido.

El mayor contenido de finos disminuye la permeabilidad de la carga, produciéndose un incremento en el consumo eléctrico para el accionamiento de los compresores.

Según Pospst y Saviate, en “Minerales calibrados de alta ley – Utilización e unidades Midrex de reducción directa”, el mayor aumento de productividad, se logra con una mezcla de 70% de pellets y 30% de mineral calibrado [49].

## 12 PRODUCTOS DEL PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA

Las tecnologías ofrecen la flexibilidad de producir dos formas de productos diferentes, dependiendo de los requisitos específicos de cada usuario.

### 12.1 Hierro de Reducción Directa (HRD)

Material reducido que sale por debajo del horno de reducción también se le conoce como Hierro Esponja que es producto del sistema de enfriamiento a partir del gas de refrigeración que se inyecta para la eficiencia y el control del proceso de enfriamiento y óptima carburación.

El hierro de reducción directa, es un producto de hierro de alta calidad que se produce a partir del pellet de mineral de hierro, mineral grueso o la mezcla de ambos. Se utiliza generalmente en una instalación de fabricación de acero adyacente.

### 12.2 Hierro Briquetado Caliente (HBC)

Es el HRD al que se elimina el circuito de enfriamiento y se descarga el mineral de hierro reducido de forma continua a temperaturas superiores a los 700 ° C. Luego pasan a las máquinas de briquetas calientes donde se enfría utilizando agua de refrigeración para finalmente ser descargados y almacenados.

Tanto el HRD como el HBC pueden ser transformados en acero.

Figura 2-30 Productos de la reducción directa



Fuente: [50]

### 12.3 Diferencias entre los productos de Reducción Directa

- Debido a su estructura esponjosa el HRD es un excelente aislante.
- El Hierro de Reducción Directa no es transportable a grandes distancias por ser muy liviano, se desgasta y produce pérdida. También el pellet de mineral de hierro es transportable a cortas distancias, en cambio el HBC es transportable a grandes distancias y presenta estabilidad durante el transporte marítimo y terrestre.
- El área de superficie específica del HRD es alrededor de 1 m<sup>2</sup>, debido a esta gran superficie el HRD reacciona muy fácilmente con agua y/o con el oxígeno, puesto que la reacción es exotérmica se produce calor que puede causar un sobrecalentamiento y fusión de HRD en pilas, silos o más peligrosamente en un buque de carga. La reacción con el agua también genera hidrogeno que produce mezclas explosivas con el aire.
- Las briquetas tienen forma de pasta (ladrillejo-aglomerado) rectangulares en forma de jaboncillo.

En el cuadro N° 2.18 se muestran las características típicas de los productos obtenidos en la reducción directa del mineral de hierro con gas natural.

Cuadro N° 2.18 Características típicas de los productos de reducción directa

Características típicas		
	HRD	HBC
Metalización (%)	92-95	92-95
Carbón (%)	1.5 - 5.5	1.5 - 2.5
Temperatura (°C)	40	40
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	3.5	5.0
Tamaño nominal (mm)	6 - 16	110x60x30
Peso de la Briqueta (kg)	-	0.5-0.7
Briqueteado US\$/Tm	-	3.00

Fuente: [59]

## **13 PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE LOS PROCESOS DE REDUCCIÓN DIRECTA:**

### **13.1 Productos que cada tecnología ofrece**

Los procesos Midrex y HyL, tienen mayor flexibilidad en la elaboración del producto final, pudiendo producir Hierro de Reducción directa y Hierro Briqueteado Caliente. A diferencia del proceso Finmet que solo da como producto Hierro briqueteado caliente por la mejor aglomeración del mineral fino reducido.

### **13.2 Alimentación de mineral de hierro por tecnología**

A diferencia de los procesos Midrex y HyL, el proceso Finmet se caracteriza principalmente porque el mineral que procesa es de granulometría fina, con un tamaño de partícula comprendido entre 0,1 y 3mm. A diferencia del proceso Midrex y HyL que procesa pellets y mineral grueso.

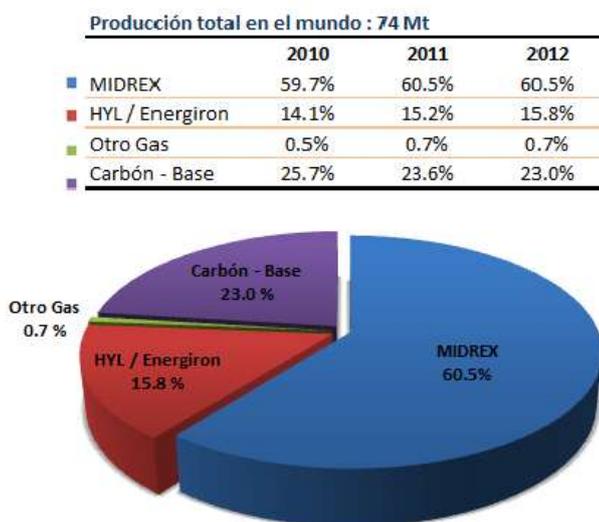
### **13.3 Diferencia entre los equipos y variables de cada proceso**

- El proceso Finmet trabaja con 4 reactores de lecho fluidizado en lugar de lecho empacado (3 de reducción y 1 de calentamiento).
- Los procesos Midrex y HyL trabajan con un horno de reducción (Horno de Cuba).
- El proceso Finmet es caracterizado por la alta presión de operación de 12 bares, lo que permite compensar las grandes caídas de presión ocurridas en el sistema.
- El proceso HyL es caracterizado por un sistema automatizado de válvulas que controlan la presurización y despresurización a la entrada y salida de las tolvas de carga de óxido y descarga de HRD.
- El proceso MIDREX ha desarrollado muy bien el grado y rango de control del contenido de carbono en el producto reducido.
- El reformador MIDREX elimina la necesidad de un sistema de eliminación de CO<sub>2</sub> por separado mientras se reforma el CH<sub>4</sub> con CO<sub>2</sub> (convertir el CO<sub>2</sub> en CO).
- El proceso MIDREX, es un proceso muy eficiente por el uso de gas de reciclado y la capacidad para alimentar gas reformado caliente hacia el horno de Cuba sin enfriamiento y recalentamiento.

### 13.4 Producción de hierro de reducción directa a nivel mundial según licenciante de tecnología

En cuanto a la producción mundial de HRD por proceso, estimada en 74.0 Mt, Midrex lidera la producción con el 60.5 % en el año 2012 con respecto a sus más cercanos competidores, las tecnologías HYL con 15.8% de la producción, seguidos muy por debajo de otras tecnologías a base de otros gases con el 0.7% y las tecnologías basadas en el carbón con el 23.0% en el mercado tecnológico. En referencia la producción del año 2011 se estimó para Midrex en 60.5 %, HYL 15.2%, tecnologías a base de otros gases 0.7% y tecnologías basadas en el carbón 23.6%. Manteniéndose así la tendencia, ver figura 2-31.

Figura 2-31 Producción de HRD por proceso en el Mundo



Fuente: [52]

Durante los últimos años Midrex ha mantenido el liderazgo en el mercado. La evolución de los procesos de reducción directa utilizados en la industria siderúrgica se basa en los cambios tecnológicos generados a través de los años, destacando las mejoras en los métodos, procesos, aparatos y plantas, los cuales han evolucionado favorablemente hasta llegar hoy en día a implementarse en países desarrollados, tecnologías que se consideran limpias, con la finalidad de proteger las condiciones del medio ambiente y reducir así el impacto ambiental, estableciendo al proceso de reducción directa como uno de los procesos de la industria siderúrgica en donde las mejoras continuas y la competencia entre las grandes empresas por abarcar el mercado tecnológico persiste a través de los años [55].

### 13.5 Cantidad de Plantas instaladas en el mundo según licenciante de tecnología

Las tecnologías MIDREX y HYL, son consideradas las tecnologías líderes en cuanto a producción de HRD a nivel mundial y en cuanto a número de plantas establecidas alrededor del mundo como se indica en el cuadro N° 2.19 que muestra que hasta Abril del 2013 existían setenta y cinco (75) plantas en el mundo utilizando la tecnología de MIDREX, veintinueve (29) plantas la tecnología de HYL y 4 plantas FINMET.

Cuadro N°2.19 Plantas de Reducción Directa en el Mundo

	<b>MIDREX</b>	<b>HYL</b>	<b>FINMET</b>
<b>Localización</b>	<b>Módulos</b>	<b>Módulos</b>	<b>Módulos</b>
América Latina	10	11	4
América del Norte	1	1	-
Asia	14	7	-
África/ Medio Oriente	45	9	-
Europa	5	1	-
<b>TOTAL MUNDO</b>	<b>75</b>	<b>29</b>	<b>4</b>

Fuente: [52]+ Elaboración propia

Al continuar la tendencia actual en cuanto al desarrollo del proceso de reducción directa está contemplará a la empresa MIDREX como la empresa que se apoderará del mercado en los países generando constantemente mejoras tecnológicas debido a la integración de la investigación, el desarrollo y la innovación en sus procesos productivos. Aumentando constantemente sus ventas, debido a los nuevos desarrollos en cuanto a la construcción y acondicionamiento de plantas que protegen el medio ambiente, que reducen la energía utilizada y la materia prima requerida.

### 13.6 Principales diferencias técnicas entre los licenciantes de tecnología

En el cuadro N°2.20 se muestran el resumen de las diferencias técnicas de los principales Procesos de Reducción Directa:

Cuadro N° 2.20 Diferencias principales entre los licenciantes de tecnología de los procesos de reducción directa en base al gas natural

<b>Diferencias Técnicas de los procesos de Reducción Directa</b>			
<b>Características</b>	<b>MIDREX</b>	<b>HyL</b>	<b>FINMET</b>
Fuente metálica	Pellets / Mineral Grueso	Pellets / Mineral Grueso	Finos
Tipo de reactores	Cuba	Cuba	Lecho Fluido
Cantidad de reactores	1	1	4
Tratamiento de gas	Reformado	Reformado	Reformado
Presión	Atmosférica	6 Bar	12 Bar
Temperatura	Media	Media	Media
<b>Energía</b>			
Gas natural (GJ/TM)	10	10.9	13
Electricidad (Kwhr/TM)	125	85	150
<b>Producción</b>			
Producto	HRD, HBC	HRD, HBC	HBC
Metalización (%)	(93 - 95)	(91 - 93)	(91 - 92)
Carbono (%)	(0.7 - 2.2)	(1.5 - 3)	(0.5 - 1.5)
Producción en el mundo (%) - 2012	60.5	15.8	< 0.7
<b>Plantas instaladas en el mundo</b>			
N° plantas – Hasta Abril 2013	75	29	4

Fuente: [59] + Elaboración propia

## **14 TRANSPORTE DEL GAS NATURAL POR EL GASODUCTO SUR PERUANO Y SU RELACIÓN CON EL MINERAL DE HIERRO EN ESTA ZONA DEL PERÚ**

El proyecto Gasoducto Sur Peruano (GSP) consiste en el diseño, financiamiento, construcción, operación, mantenimiento y transferencia al Estado Peruano de un Sistema de Transporte de gas natural con capacidad total de transporte de 1500 MMPCD, con una longitud mayor a 1000 kilómetros y un diámetro de 32 pulgadas, en tres tramos [60].

La adjudicación de la construcción del proyecto GSP fue realizada el día 30 de junio del presente año (2014), resultando ganador de la licitación de este megaproyecto el consorcio Gasoducto Sur Peruano, conformado por la empresa brasileña Odebrecht y la empresa española Enagás, tras presentar un costo de servicio de US\$ 7,328 millones por los 34 años de concesión.

La inversión en el proyecto GSP será mayor US\$3,600 millones, para dotar de gas natural y de energía eléctrica al sur del país, lo que posibilitará potenciar el sector eléctrico y el desarrollo de la industria petroquímica.

Objetivos del proyecto:

- Reforzamiento del sistema de transporte de gas natural y líquidos de gas natural. Incluye ductos de reforzamiento desde la Planta de Separación Malvinas hasta el punto de conexión.
- Construcción de gasoducto y/o poliducto desde el sistema de transporte de gas natural existente (entre Malvinas y Chiquintirca) hasta la provincia de Anta en la Región Cusco, que esté en capacidad de suministrar gas natural a la futura central térmica de Quillabamba y a la costa sur del país.
- Construcción del Gasoducto Sur Peruano, desde la provincia de Anta hasta la Costa Sur del país.

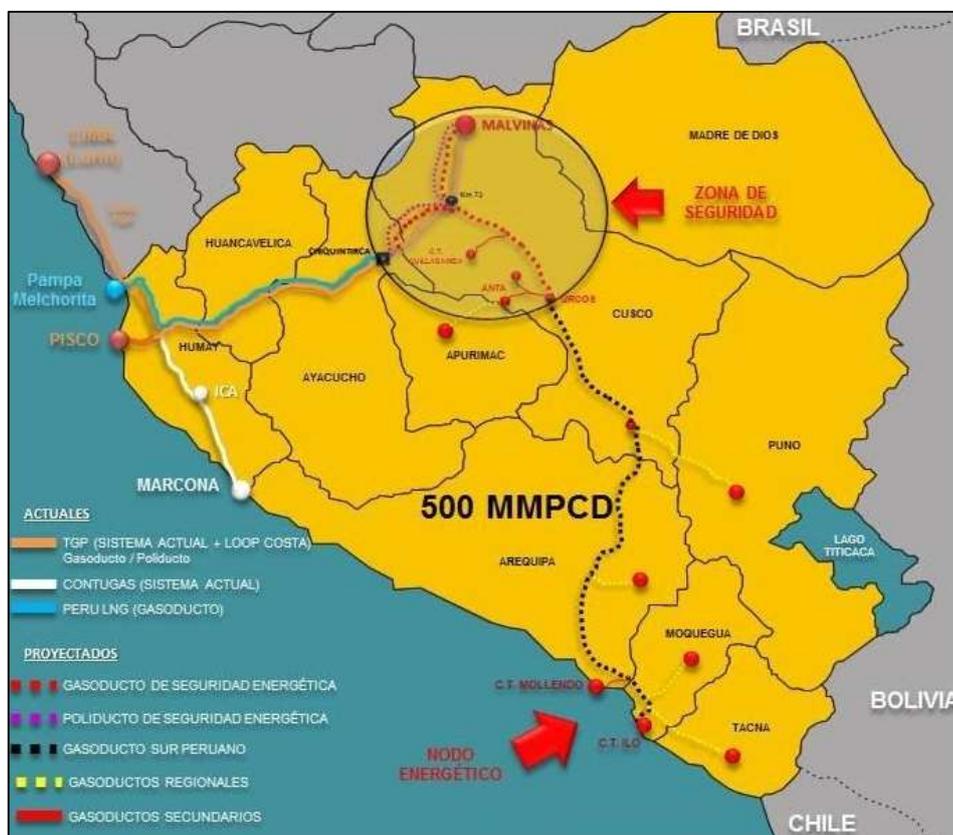
Dicha infraestructura permitirá afianzar el Sistema de Seguridad Energética existente, así como descentralizar la generación eléctrica del país (concentrada actualmente, más del 50%, en la costa central del país); así también al desarrollo del Nodo Energético y el Polo Petroquímico en la zona sur del país.

### 14.1 Área de Influencia del Gasoducto Sur Peruano

El área de influencia del proyecto comprenderá las regiones de Apurímac, Puno, Arequipa, Cusco, Moquegua y Tacna. Los puntos referenciales por los cuáles pasará obligatoriamente el Gasoducto Sur Peruano desde la provincia de Anta-Cusco hasta la costa sur del país son: Mollendo e Ilo.

A partir de este ducto se desarrollarán las redes intermedias de gas natural para complejos mineros, redes de distribución para industrias, comercios y domicilios además significara a futuro el desarrollo de los polos petroquímicos y la instalación de centrales de generación de electricidad.

Figura 2-32 Mapa del Proyecto Gasoducto Sur Peruano



Fuente: [60]

El proyecto llevará gas natural en un inicio de aproximadamente 500 millones de pies cúbicos por día”. Además, que el gas natural que discurrirá por estas tuberías estará distribuido de la siguiente manera: 70% para el nodo, 20% para la industria petroquímica, lo que mejora la industria del etano para la producción de polietileno, lo cual trae como consecuencia mejoras en otras industrias conexas como las de plástico; y finalmente un 10% en otras industrias.

## 14.2 Ruta del Gasoducto Sur Peruano

**El primer tramo :** Partirá de la selva de Camisea hasta la provincia de Anta (Cusco), cumplirá el rol de dotar al país de seguridad energética, y de alivio de la restricción eléctrica del país, lo que es independiente de la existencia de reservas.

También la construcción de un gasoducto y/o poliducto desde el sistema de transporte de gas natural existente, entre Malvinas y Chiquintirca, hasta la provincia de Anta (Cusco), que esté en capacidad de suministrar gas natural a la futura central térmica de Quillabamba (200 megavatios (MW)) y a la costa sur del país.

Figura 2-33 Ruta del proyecto del Gasoducto Sur Peruano presentado por el Ministerio de Energía y Minas



Fuente: [61]

**El segundo tramo:** Corresponde al Gasoducto Sur Peruano y debe llegar hasta los puertos de Ilo y Matarani, lugares donde se desarrollara el Nodo Energético del Sur del Perú, se instalarán dos centrales térmicas:

- La Planta 1 de 500 MW, ubicada en Mollendo (Arequipa), será instalada por la empresa Samay I (de capitales israelíes).
- La Planta 2 de 500 MW, ubicada en Ilo (Moquegua), el proyecto estará a cargo de Enersur (de capitales belgas).

El Nodo Energético creará otro núcleo de generación eléctrica en el sur del país, permitiendo atender en los próximos años una demanda creciente en esta región.

### 14.3 Potenciales clientes del Gasoducto del Sur

El GSP no tiene aún clientes que le garanticen un mínimo de consumo a parte de la demanda de gas que corresponde a generadores eléctricos. Al no tener clientes (contratos o compromisos a firme), el proyecto se encuentra en tren de espera.

Sin embargo existe una enorme posibilidad de desarrollo industrial. Con este recurso esta zona del país podría convertirse en un polo industrial al considerar el gas natural como fuente de:

Cuadro N° 2.21 Potenciales usos del gas natural

<b>GAS NATURAL</b>	<b>POTENCIALES USOS</b>
COMBUSTIBLE	Residencial Comercial Industrial GNV Generación Eléctrica
MATERIA PRIMA PARA PROCESOS	Hierro Esponja GTL Petroquímica
LIQUIDOS DEL GAS NATURAL	GLP Nafta Destilados Livianos Petroquímica

Fuente: Elaboración propia + [63]

Respecto a la ruta del GSP, será definida en todo el recorrido, por los usuarios con volumen de demanda de gas sostenido, se le podrá abastecer con un ramal dedicado. Considerando que además de utilizarse como combustible domestico a través de una red de distribución y como combustible para vehículos puede emplearse el gas para nuevos usos como por ejemplo, para una planta de GTL, la conversión del mineral de hierro a hierro esponja que es lo que se plantea en este proyecto, fábrica de cemento, para un sistema de ducto virtual, entre otras. Plantas que podrían ser un cliente del proyecto y así desarrollar nuevos mercados e impulsar el consumo de gas para establecer la viabilidad económica del GSP.

#### **14.4 Situación actual de los proyectos petroquímicos**

Hay numerosas empresas que han mostrado interés en desarrollar proyectos petroquímicos en las zonas geográficas determinadas que han sido limitadas por el Estado en la costa sur, destinadas a la implementación de Complejos Petroquímicos que según la Ley N° 29163 , “Ley de promoción para el desarrollo de la Industria Petroquímica “ , otorgaran a la industria Petroquímica Básica e Intermedia incentivos y beneficios básicos, siempre que sus titulares cumplan con los requisitos establecidos por la citada ley.

**En el caso del metano:** La situación es tal que CFI INDUSTRIES , empresas americana interesada en desarrollar un proyecto de amonio/urea, a pesar de haber suscrito un contrato de Suministro de Gas Natural con el Consorcio Camisea (Productor) , decidió frente a los cambios favorables en los EEUU, abandonar su proyecto. Actualmente, el acuerdo contractual efectuado por CFI con el consorcio Camisea, lo ha heredado la empresa Nitratos del Perú – empresa que cuenta con capitales chilenos del grupo Sido Koppers y capitales peruanos del grupo Brescia. El proyecto que desean llevar adelante en la zona de Pisco comprende las siguientes instalaciones:

- Plantas de Ácido Nítrico
- Planta de Nitrato de Amonio
- Planta de Amoniaco

Adicionalmente Orica, empresa constituida en Australia, proveedora de insumos y explosivos para la industria minera muy importante, con operaciones en alrededor de 50 países a nivel mundial está interesada en construir una planta de nitrato de amonio en Ilo, sea con materia prima- amoniaco –local o importada.

**En el caso del etano:** El estado ha decidido que este proyecto utilice como materia prima el etano proveniente de la zona de Camisea, y que se desarrolle en la zona sur del país- entre Matarani e Ilo – como parte de un proyecto más ambicioso que comprenderá mejoras a la seguridad energética, y a la masificación del gas natural para uso prioritario en los sectores residencial y vehicular, con lo que pretende promover el despegue industrial en la zona sur.

Es bueno guardar en mente que además del metano y del etano se debería desarrollar dentro del Complejo Petroquímico que el Estado Peruano quiere ejecutar en la zona

sur del Perú, proyectos que hagan uso del propano, del butano y de los aromáticos, hidrocarburos que se encuentran presentes en los condensados de Camisea en cantidades significativas y que deberían ser aprovechados. En la práctica, los Complejos Petroquímicos de escala mundial, incluyen unidades de producción a partir de dichos hidrocarburos, por lo que toda infraestructura de transporte, de alojamiento y de telecomunicaciones que sean compartidas (sinergias), deben tomarlos en cuenta para su ejecución.

#### **14.5 Cantidad de gas natural para el Gasoducto Sur Peruano**

La configuración del segundo tramo será adecuada al volumen de reservas probadas, mientras se construye el primer tramo, se confirmará los niveles de reservas con los que cuentan los lotes 57 y 58. La entrada de la empresa China National Petroleum Corporation (CNPC), en las operaciones de Talara y del área de Camisea que controlaba PETROBRAS S.A., traerá sin duda cambios en la dinámica del sector hidrocarburos. A partir de este momento se definirá la configuración del proyecto para la segunda etapa, en función del volumen de gas encontrado.

A la fecha, las únicas reservas probadas de gas natural que podría abastecer el determinado proyecto la tiene el lote 88 del Consorcio Camisea, el lote 57 de propiedad de Repsol y la empresa China National Petroleum Corporation (CNPC) – conocida como petrochina y el lote 58 que es operada también por la empresa petrochina que según el libro anual de reservas de hidrocarburos aún no cuenta con reservas probadas hasta el año 2012.

El lote 88 y el 56 constituyen el denominado yacimiento de Camisea de Pluspetrol, el cual posee la mayor reserva gasífera del país. La explotación comercial del lote 88 se inició en el 2004 y del lote 56 en septiembre del año 2008.

Actualmente el gas natural proveniente del lote 88 se vende exclusivamente al mercado local, no obstante, hasta 0.57 TPC de las reservas de este se encuentran comprometidos a Perú LNG hasta el 2029.

Por su parte, la totalidad de la producción del lote 56 del yacimiento Camisea se exporta a través de Perú LNG (proyecto de GN licuefactado que inició operaciones en junio 2010).

Sin embargo como resultado de nuevas perforaciones y estudios petrofísicos se estima que en los lotes 88 y 56 se podría considerar que Pluspetrol logró incrementar en cerca de 3 trillones de pies cúbicos sus reservas, 1.8 TCF corresponden al lote 88, y poco más de 1 TCF proviene del lote 56, que permite al estado determinar la reserva prevista para el Gasoducto Sur, en base a las exploraciones realizadas hasta el momento, ya estarían asegurados 3 de los 6 TCF que necesita el gasoducto del sur y el polo petroquímico. “En el lote 58 se tienen probados 1.7 TCF; en el lote 57; 0.3 TCF y 1TCF provendrá del Lote 88”.

Cuadro N°2.22 Reservas de gas natural asignada al Gasoducto Sur Peruano

<b>Reservas de gas natural asignada</b>	
Lote	TCF
88	1
58	1.7
57	0.3
<b>Total</b>	<b>3</b>

Fuente: Elaboración propia + [64]

Los otros 3TCF saldrían del lote 57, donde Repsol realiza perforaciones de 1TCF que debe comprobarse y del lote 58, donde estima que podría haber de 5 a 10 TCF. Además el gobierno está analizando las normas para proceder con la asignación del lote Fizcarrald a Petroperú este año, donde espera que pueda haber como mínimo 1 TCF de gas natural.

#### **14.6 Construcción de la infraestructura para el transporte y procesamiento de Gas Natural**

La configuración propuesta por Kuntur Transportadora de Gas S.A. considera que junto a la construcción del GSP, se debería construir un poliducto que traería una parte de los líquidos separados en la Planta de Separación de Malvinas para su fraccionamiento en el Sur. En este poliducto se transportaría el etano requerido para el proyecto, por lo que dicho poliducto deberá tener un diseño que le permita este tipo de transporte y aún más importante, se tendría que construir una Planta fraccionadora en el Sur. Considerando que con una línea de líquidos de gas natural que transporte el etano no se tendría que hacer ninguna unidad de recuperación del etano para los consumidores intermedios, ni se tendrían pérdidas de etano, ni complicaciones operativas.

Se plantea crear un nuevo consorcio que tendría como área de influencia el desarrollo gasífero de toda la zona Sur del Perú. Para este objetivo tendría que obtener el gas natural de los lotes 57,58 y también inicialmente de Lote 88 (1TF). Tiene como obstáculo inicialmente la compra de los activos y las reservas desarrolladas por PETROBRAS S.A. en el lote 58 y un trabajo seguido para confirmar mayores reservas.

En la conformación de este Nuevo Consorcio el Estado Peruano podría participar con PETROPERÚ S.A. para la parte petroquímica y también en la futura comercialización de los combustibles que se obtengan de este desarrollo gasífero. Actualmente, la Ley N° 29970 (artículo 7°) solo faculta a PETROPERÚ S.A. a participar en la petroquímica del etano. El contar con dos consorcios distintos permitirá desarrollar un mercado del gas natural en Perú mucho más competitivo, e incrementaría la seguridad energética del país [65].

En este esquema la Planta de Malvinas se mantiene como el gran centro de procesamiento y separación de hidrocarburos proveniente de los Lotes 56, 57,58 y 88 con las siguientes características:

- Implementar el sistema de separación para retirar el etano de la corriente de gas natural seco que actualmente transporta por el gasoducto del Consorcio Camisea. Esta corriente procesada tendrá una composición estándar con etano (hasta un máximo de 3%) para ser transportado por TGP y Perú LNG.

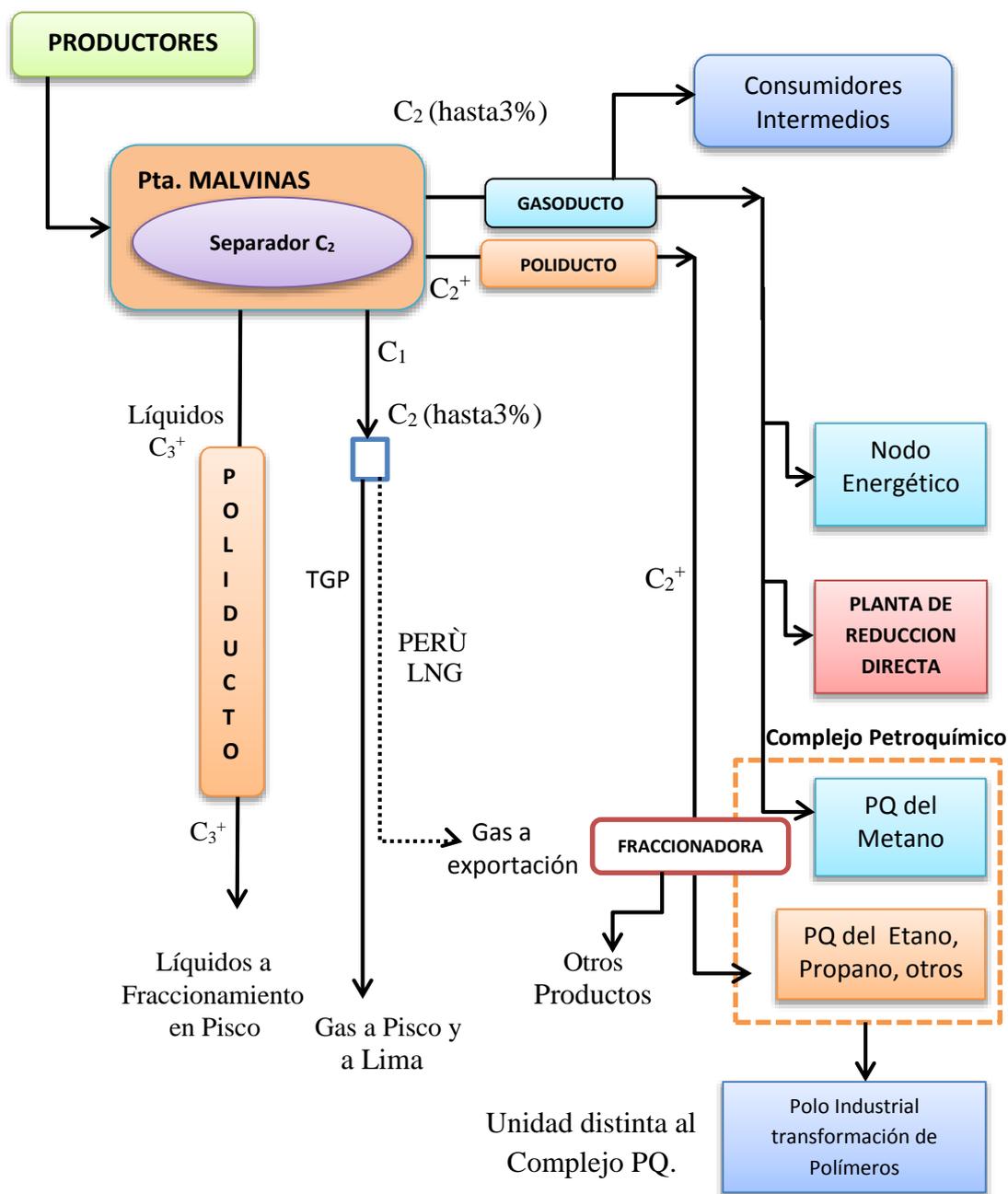
- El etano anteriormente retirado junto con la corriente de gas natural proveniente de los Lotes 57 y 58, y a través de un siguiente sistema de separación permitirá obtener dos corrientes de gas natural. Una primera corriente de gas natural seco de composición estándar con etano (hasta un máximo de 3%) a ser transportado por un nuevo gasoducto, y una segunda corriente rica en etano e hidrocarburos más pesados para ser transportados en condición líquida por un nuevo poliducto.

El contar con una Planta de fraccionamiento de líquidos de gas natural al final del poliducto, vecina a la cual puede construirse la separadora de etano y la planta de etileno presenta ventajas significativas:

- Se dispondrá de GLP que ya no necesitaría transportarse en camiones desde Pisco, lo cual no solo es un ahorro en fletes, sino que proporciona un incremento en la seguridad de suministro a todo sur del país.
- Posteriormente los excedentes de propano y butano; así como, la nafta que se producirá en la nueva Planta de Fraccionamiento, podrían servir para el desarrollo de productos petroquímicos de otras cadenas diferentes a la del metano o del etano, beneficiándose de las instalaciones de las primeras plantas.
- Se dispondrá igualmente de una cantidad de Diesel que podrá mezclarse con el Diesel producido en la Refinerías y con el Biodiesel para su comercialización en el sur del país.
- No interfiere con la decisión de incluir también en la localización del sur una industria petroquímica del metano (fertilizante y explosivo).

En la Figura 2-34 se puede observar un esquema posible para construcción de la infraestructura y procesamiento del gas natural. Este esquema tiene como ventaja obtener desde un inicio y en único lugar (la planta de procesamiento de Malvinas) una corriente de gas natural seco de composición estándar y otra corriente líquida con alto contenido de etano e hidrocarburos más pesados.

Figura 2-34 Diagrama de la posible construcción de la infraestructura y procesamiento de gas natural



Fuente: [65]

### 14.7 Ubicación de las reservas de mineral de hierro y la posible ruta del Gasoducto Sur para su puesta en valor.

En los departamentos de Apurímac, Cusco, Moquegua, Tacna y otras regiones del sur del país se encuentran grandes recursos de mineral de hierro (aproximadamente de 1746.54 MMTM). La explotación del gas de Camisea al evaluarse la construcción del Gasoducto Sur ha despertado el entusiasmo de estas regiones al darle a su mineral un mayor valor agregado. Esto se podría conseguir con la reducción directa del mineral de hierro utilizando el gas de Camisea como agente reductor para la producción de hierro esponja. La construcción del Gasoducto Sur Peruano le da ventajas para el desarrollo de un proyecto siderúrgico, indudablemente los proyectos para la explotación de este mineral y su conversión en productos, ya sea reducción directa o terminada de acero, tendrán que tomar en cuenta una serie de factores tales como el mercado, el transporte, la ubicación entre otros.

Figura 2-35 Ubicación de los proyectos de mineral de hierro y la posible ruta del Gasoducto Sur Peruano



Fuente: Elaboración propia

## 15 DIMENSIONAMIENTO DEL PROYECTO Y LOCALIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES

### 15.1 Capacidad de producción

Como se mencionó en el estudio de mercado, el cuadro N° 2.13, resume la producción de acero crudo por las dos únicas empresas siderúrgicas del Perú. Para el año 2013 la producción de acero crudo fue de 1.09 millones de TM, considerando que esta producción es producto del proceso de reducción directa utilizando HRD, acero reciclado como insumo o mediante el proceso de alto horno a partir del arrabio para la obtención final de acero.

Por otro lado se muestra en el Cuadro N°2.10 que la producción nacional de Acero laminado en Perú (Acero crudo procesado con un grado de metalización del 97% y que tiene una forma determinada) es de alrededor 1.45 millones de TM. Considerando el ratio de metalización de 97% es equivalente a 1.5 millones de TM de acero crudo.

La diferencia existente de 0.41 millones de TM es debido a que en la actualidad existe la importación de palanquilla que ingresa directamente al Horno eléctrico para la obtención del acero crudo.

Entonces se tiene:

Cuadro N°2.23 Equivalencia entre la producción de acero crudo y el hierro esponja

	<b>Acero Crudo (MMTM)</b>	<b>Equivalente Hierro Esponja (MMTM)</b>	<b>Total Hierro esponja (MMTM)</b>
<b>Producción Nacional</b>	1.09	1.28	1.76
<b>Importación (Palanquilla)</b>	0.41	0.48	

Fuente: Elaboración propia

El cuadro N°2.23 indica que para producir 1.5MMTM de acero crudo se requieren 1.76 MMTM de hierro esponja. En vista de la gran demanda y la tendencia ascendente del mercado siderúrgico se contempla la construcción de una planta de briquetas de mineral de hierro esponja o Hierro Briqueteado Caliente (HBC) en una capacidad total de producción de 1500000 TM/ año, que es uno de los módulos más

grandes considerados a nivel mundial con la finalidad de abastecer de HBC al mercado nacional.

## 15.2 Flujo de Materiales

A efectos de cálculo de flujo de materiales se debe considerar este proyecto como una concepción unitaria que abarca desde la planta de concentración del mineral, que llega de las minas de Opabán, Cerro Ccopane y Morritos, para pasar luego a la planta de peletización y ser utilizado como insumo en un módulo de reducción directa en la fabricación del producto final HBC.

El esquema simplificado del flujo de materiales y su balance, se muestra en la figura 2-36, cuya descripción es la siguiente:

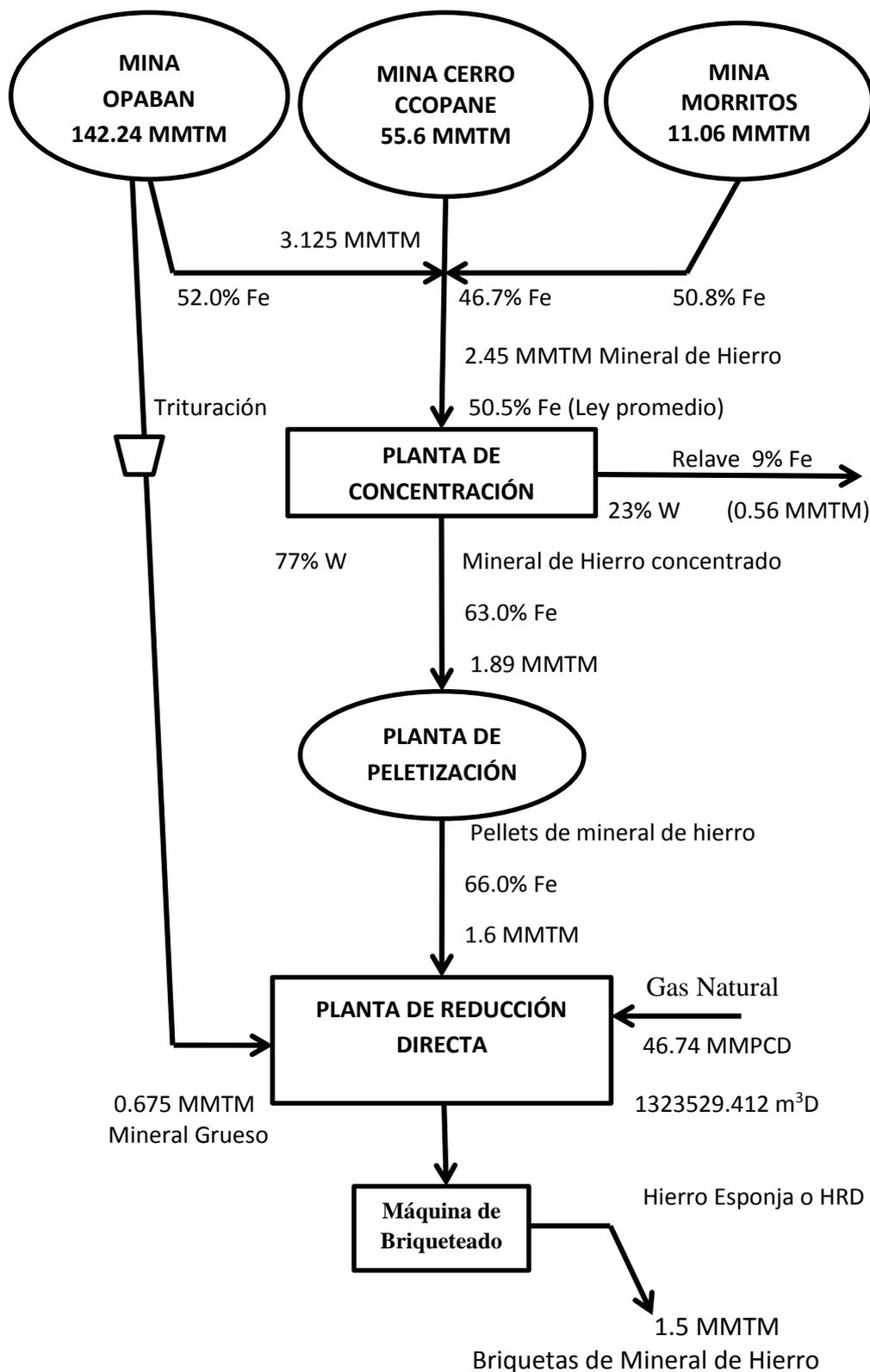
- **La planta concentradora**, el mineral de hierro que llega de las minas: Opabán, Cerro Ccopane y Morritos, tienen una ley promedio del 50.5 % Fe, la cantidad necesaria de mineral de hierro es de 3125000 TM para el proyecto al año.

De esta cantidad de mineral 2450000 TM ingresa a planta de concentración donde el material estéril (no mineralizado, sílice y otros), es eliminado para subir la ley de contenido de hierro del mineral 63 % Fe, necesaria para ser utilizada como insumo en la planta de peletización.

Y la diferencia de mineral de hierro 675000 TM (52%Fe) pasa solo por el proceso de trituración para obtener mineral grueso que ingresa directo a la planta de reducción, pasando previamente por un proceso de trituración de la que se obtiene un producto mineral con una ley más alta de hierro.

- **La planta de peletización**, producirá 1.6 MMTM /año de pellets, con una ley de 66%, que serán íntegramente consumidos por la planta de reducción directa.
- **La planta de Reducción Directa**, un solo modulo con una capacidad anual de 1500000TM/año, del horno reductor se obtiene como producto hierro esponja por su aspecto poroso que contiene hierro metálico (Fe). La metalización que se logra es del 92 a 95 % de hierro.
- **Briqueteado**, el hierro esponja producido es posteriormente transformado en briquetas densas por compactación mecánica, eliminando la naturaleza porosa del producto reducido y al mismo tiempo disminuyendo la posibilidad de autoignición del producto por reoxidación.

Figura 2-36 Flujo de materiales de la planta de reducción



Fuente: Elaboración propia



### 15.3 Ubicación de la Planta

La ubicación de la planta responde principalmente a razones económicas y geográficas como: La proximidad a los yacimientos de mineral de hierro y de las fuentes energéticas de Gas Natural, terreno para zona industrial así como la facilidad de acceso a los mercados mundiales mediante puertos, carreteras y el suministro de energía eléctrica, son factores importantes para considerar en la ubicación de la planta.

De acuerdo a estos factores se considera la zona de la región de Ilo ubicado en el departamento de Moquegua como una zona estratégica para la instalación de una planta de producción de hierro esponja por:

1. La proximidad a los yacimientos de mineral de hierro, proyectos en el departamento de Arequipa, Cusco, Apurímac y Tacna.
2. Tiene un punto de suministro de energía eléctrica (Enersur).
3. Suministro de gas natural al propiciar la construcción del gasoducto Sur Peruano, lo que transfiere ventajas a los procesos, ya que estos hacen uso de los insumos antes mencionados.
4. Se dispone de terrenos industriales para llevar a cabo el proyecto. De acuerdo al Reglamento de Zonificación Urbana de la ciudad de Ilo, aprobado mediante Ordenanza Municipal N° 187-2002-MPI, Se destina una zona para uso industrial llamada Zona de Industria Media (IM), considerada como zona donde se concentran establecimientos industriales con utilización de gran volumen de materia prima, que constituyen - por sus niveles operacionales - Industrias molestas que pueden ser compatibles con ciertas actividades urbanas pero con las restricciones del caso. Son las que producen un grado de contaminación ambiental para el área urbana, requiriendo ubicarse en zonas que deben tener un cierto aislamiento con las otras zonas urbanas residenciales y comerciales previstas en el Plan [66].
5. Tiene una amplia red de carreteras pavimentadas dentro del área industrial, siendo las más importantes: La carretera Interoceánica del Sur y La carretera

costanera del Sur. Además tiene acceso al mar, cuenta con el terminal portuario de Ilo (ENAPU- Empresa Nacional de Puertos).

6. Actualmente, la empresa Total Genius Iron Mining realiza la extracción del mineral de hierro en bruto de la mina Morritos, este mineral es transportado en volquetes y llevado por la carretera costanera directamente hasta el Puerto de Ilo donde es cargado en buques con destino a China para ser finalmente procesado.

Figura 2-37 Zona de industria media -Ilo



Fuente: [67]

Figura 2-38 Terminal portuario de Ilo



Fuente: [67]

## 16 CONSIDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación, desarrollada se sustenta en los indicadores como Flujo de Caja, Valor Actual Neto (VAN), Tasas internas de Retorno (TIR), tiempo de recuperación de la inversión (Payback) y los diversos análisis de sensibilidad son calculados en base a los elementos de costos.

Esta parte es muy importante, pues es la que al final permite decidir la implantación del proyecto. Normalmente no se encuentran problemas en relación con el mercado o la tecnología disponible que se empleará en la fabricación del producto; por tanto, la decisión de inversión casi siempre recae en la evaluación económica ahí radica su importancia.

### 16.1 Índice de Costos

Debido a que los costos de capital usados para hacer estimaciones no son válidos para cualquier tiempo por el aumento en los precios a causa de la inflación, es necesario usar un método para ajustar los precios al tiempo requerido.

Los índices más usados para la estimación del costo de los equipos y del capital de inversión para plantas químicas están dados por la Chemical Engineering Plant Cost index (CEPCI), se encuentran en gráficos o cuadros publicados por la revista Chemical Engineering de manera mensual.

Cuadro N°2.24 Chemical Engineering Plant Cost index (CEPCI) 2005 – 2014

<b>CHEMICAL ENGINEERING PLANT COST INDEX (CEPCI)</b>			
<b>AÑO</b>	<b>INDEX</b>	<b>AÑO</b>	<b>INDEX</b>
<b>2005</b>	468.2	<b>2010</b>	550.8
<b>2006</b>	499.6	<b>2011</b>	585.7
<b>2007</b>	525.4	<b>2012</b>	584.6
<b>2008</b>	575.4	<b>2013</b>	567.3
<b>2009</b>	521.9	<b>2014</b>	572.6

Fuente: [68]

Se usa como referencia los costos de inversión de plantas ubicada en la Costa del Golfo construida en el año 2011, para la planta de pellets de mineral de hierro y

2005 para la planta de producción de hierro de reducción directa, de acuerdo al índice CEPCI se tiene:

Cuadro N°2.25 Índice de Costo (CEPCI) de Plantas de referencia

INDICE DE COSTO DE PLANTAS	
AÑO	INDICE
2005	468.2
2011	585.7
2014	572.6

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 2.26 Capacidad de plantas de referencia

Planta	Capacidad	Año
Pellets	3000000 TM/año	2011
Hierro Reducción Directa	1500000 TM/año	2005

Fuente: Elaboración Propia

Una forma de hacer el ajuste usando el índice de costos, que es un número que muestra la relación entre el precio de un bien en un tiempo “t” y el precio del mismo bien en un tiempo base. Si se conoce el costo en una fecha determinada, el costo presente puede determinarse por la siguiente formula:

$$I_B = I_A \left( \frac{C_B}{C_A} \right)^F \frac{Index_B}{Index_A}$$

Dónde:

B: Representa el tiempo “t”

A: Representa el tiempo base

I: Inversión

C: Capacidad de planta

F: Factor de Escalamiento

Entonces utilizando los índices CEPCI, y las capacidades de planta requeridas se puede resumir:

Cuadro N° 2.27 Calculo del CAPEX

CEPCI	PLANTA PROCESAMIENTO DE HIERRO	PLANTA PELLETS	PLANTA HRD
<b>Factor</b>		0.7	0.7
<b>Index</b>		572.6	572.6
<b>Cap. (TM/año)</b>		1,600,000	1,500,000
<b>Inversión MMUS\$</b>	12	246	418
<b>CAPEX</b>	<b>676 MMUS\$ en Perú</b>		

Fuente: Elaboración propia

El CAPEX obtenido es igual a la inversión total requerida en Perú para producir hasta 1500000 TM de Briquetas por año, para lo cual se hace una inversión de 676 MMUS\$.

Considerando para la planta de procesamiento de mineral de hierro una inversión de 12 MMUS\$, de la sumatoria de equipos, materiales y accesorios para la su instalación con el fin de procesar aproximadamente 9000 TM /DIA de mineral de hierro.

En el caso de las plantas de Pellets y Hierro de reducción directa, su inversión está dada para plantas en la Costa del Golfo, para estimar la inversión en Perú, se multiplican por el factor de localización 1.2 debido a que Perú es catalogado como un país en desarrollo industrial. Obteniéndose inversiones de 246 MMUS\$ para la planta de pellets y 418 MMUS\$, para la planta de HRD.

En consecuencia, se calcula la inversión de 676 MMUS\$ para el CAPEX (Capital expenditure o inversiones de bienes de capitales) del Completo de Reducción Directa de Hierro.

Ahora lo siguiente es calcular el OPEX (Operational expenditure o Gastos de Operación) que está compuesto por los costos fijos y variables, se detalla a continuación las consideraciones para las estimaciones económicas para luego analizar 3 escenarios en los cuales se pueda llevar a cabo este complejo.

## **16.2 Asunciones para la evaluación económica**

### **1. Tiempo de vida del proyecto**

Se ha estimado una vida útil de 15 años, se considera este lapso de tiempo con base en la presunción que en este tiempo se desarrollaran tecnologías más eficientes que serán necesarias para sostener competitivamente en el mercado.

En este tiempo se incluyen 5 años de construcción y permisos de acuerdo a la ley vigente (2015 – 2019), etapa pre operativa y 10 años de operación a partir del 2020.

### **2. Inversión**

La inversión a realizar en este proyecto, es principalmente en equipamiento de la planta, que corresponde a la maquinaria y los equipos necesarios para el proceso productivo. La inversión estimada en 676 MMUS\$ será desembolsada en partes, durante la etapa pre operativa del Complejo de reducción directa de mineral de hierro (2015-2019), en tal sentido se plantea desembolsar en los 5 años: un 5% en el primer año, 10% en el segundo año; 25% en el tercer año, 30% para el cuarto y el 30% restante el quinto año.

### **3. Factor de operación**

Si bien la Planta de Briquetas tiene una capacidad nominal o instalada de 1500000 TM/año, no siempre ocurre que la producción se mantenga en las cifras mencionada debido a la efectividad y disponibilidad real de la planta por esto se considera una producción promedio del 90% y además se considera un stream factor de 340 días al año.

### **4. Estimaciones de ingresos**

Precio del Producto: El precio del Hierro Briqueteado Caliente, en promedio es \$325/TM, precio referencial que se mantiene en el mercado para realizar estudios económicos.

### **5. Estimaciones de costos de producción**

Los costos se dividen en dos grupos, en los costos fijos y los costos variables, cuyo detalle se encuentra en los siguientes puntos.

### a) Costos Fijos

Los costos fijos son aquellos costos que la empresa debe pagar independientemente de su nivel de operación, es decir, produzca o no produzca debe pagarlos y se considera:

- **Mano de Obra**

El costo del personal es asumido como promedio de remuneraciones, entre los diferentes niveles de responsabilidad. Para el caso de la plantas de Pellets se considera 1.10 US\$/TM y para el caso de HBC es de 5.47 US\$/TM en base a estudios realizados en proyectos similares.

Se presupuestan otros costos fijos como: **Tasas y Seguros** en 2% de la inversión inicial, **Gastos Generales** en 1% de la inversión inicial y **Mantenimiento** en 3% de la inversión inicial, con los que se puede cubrir todos los gastos por estos conceptos.

### b) Costos Variables

Los costos variables son aquellos ligados directamente al proceso y varían de acuerdo al nivel de producción de la planta. Para este proyecto sólo se considerará:

- **Mineral de hierro**

El precio del mineral de hierro es tomado a un precio mínimo de producción 25US\$/ TM, a la entrada de planta.

- **Gas Natural:**

El precio del Gas Natural a boca de pozo para los consumidores industriales es de 3.54 US\$/MMBTU y si a ello le sumamos una tarifa de transporte 1.00 US\$/MMBTU el precio del gas será 4.54 US\$/MMBTU a la entrada de la planta de reducción directa.

- **Energía Eléctrica**

La tarifa de Energía Eléctrica se calcula a partir del Pliego Tarifario Aplicable a Usuarios Finales de Electricidad perteneciente al departamento de Moquegua, por lo que la empresa Electrosur publica la tarifa de 0.08 US\$/kWh.

- **Agua**

El costo de Agua de proceso, es extraído de estudios económicos similares 0.04US\$/ m3.

- **Cal o Bentonita**

Precio de referencia de la Bentonita en la actualidad se considera 0.1 US\$/ TM, de acuerdo al portal Industrial QuimiNet.

## **6. Consideraciones en la planta de procesamiento del mineral de hierro**

Para la planta de procesamiento de mineral de hierro a hierro concentrado utilizado como insumo en la fabricación de pellets además del costo de mineral de hierro 25 US\$ /TM se considera el costo unitario de procesamiento para convertir el mineral bruto de hierro a mineral concentrado determinado en 2.10 US\$ /TM que procesa un total de 2450000 TM/año.

Además 675000 TM de mineral ingresa a proceso de trituración y el costo de este proceso se considera 10% del costo unitario de procesamiento en planta concentradora que es 0.21 US\$/TM.

## **7. Flujo de Caja**

En el flujo de caja se considera la inversión, ingresos y egresos antes mencionados además:

## **8. Depreciación**

Para el cálculo de la depreciación se aplicara al 10% con el método de línea recta, según la disposición señalada en artículo 22 del CAPITULO VI, del Texto Único Ordenado del Impuesto a la Renta.

## **9. Impuesto a la Renta**

En el cálculo del Impuesto a la Renta se aplicara al 30 %, según la disposición señalada en el artículo 55 del CAPITULO VII, del Texto Único Ordenado del Impuesto a la Renta.

## **10. Costo de Oportunidad de Capital**

El Costo de Oportunidad de Capital fue extraído de estimaciones económicas de otros proyectos de interés actuales. Para el presente estudio económico se considera 12.50%.

### 16.3 Análisis de sensibilidad

Las variables que se estimaron necesarias sensibilizar que podrían afectar al proyecto son tres: el precio de la materia prima, cambios en la producción y el precio del producto terminado. Se realizará un análisis unidimensional, es decir, variando sólo una de las variables y dejando el resto constante.

- Precio de la materia prima de mayor incidencia – Mineral de Hierro y Gas Natural, en el análisis se considera incrementos en los costos de la materia prima sobre el precio referencial desde 5 hasta 20% y también descuentos desde 5% hasta 20%.
- Cambios en la producción o Uso de la capacidad instalada desde un 90%, con decrementos del 5 % hasta un 70%.
- El precio del producto terminado, sobre el precio base estable se ha considerado incrementos, así como descuentos de 5 %,10%, 15%y 20% a la capacidad de producción.

## 17 ASPECTOS AMBIENTALES

Los aspectos ambientales considerados en este capítulo son aquellos elementos relacionados con las actividades productoras que podrían interactuar con el medio ambiente.

Cuadro N°2.28 Aspectos ambientales asociados a la unidad de producción

ASPECTOS AMBIENTALES	IMPACTOS AMBIENTALES
<b>Proceso de Separación y Concentración de Minerales</b>	
Generación y emisión de material particulado	Modificación de la Calidad de aire
Generación y emisión de efluentes	Modificación de la calidad de las aguas superficiales
Generación y emisión de ruido	Modificación de la calidad sonora del ambiente , desplazamiento de especies
Generación de depósitos de residuos solidos	Modificación del paisaje
<b>Peletizacion</b>	
Generación de residuos solidos	Modificación de la calidad del suelo o del agua
<b>Proceso de Reducción Directa</b>	
Emissiones de CO <sub>2</sub>	Contaminación y Efecto invernadero

Fuente: Elaboración propia

## 17.1 Determinación de los Controles

La **minería** produce **material particulado (polvos)** que se levantan en el transporte, descarga y acopio de la materia prima lo que se evita o atenúa con la **adecuada localización** y el riego de los mismos. Suelen usarse correas transportadoras cubiertas.

La **trituration y molienda** también producen **polvos y sólidos en suspensión** cuyos efectos deben remediarse instalando mangas y filtros.

Tanto en la **producción de pellets** así como en la **reducción directa** y siderurgia, que son procesos pirometalúrgicos y consumidores de grandes cantidades de agua y energía – en particular este último, se producen gases contaminantes como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Afortunadamente, el azufre, no acompaña la composición química del gas natural, aunque es uno de los elementos indeseables, así como el exceso de fósforo, en los minerales.

La eliminación de CO<sub>2</sub> es un proceso de separación muy utilizado en las plantas químicas, petroquímicas, plantas de procesamiento de gas natural y otras industrias. El tratamiento de gas con aminas se refiere a un grupo de procesos que utilizan soluciones acuosas de varias aminas para eliminar el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de gases. El proceso también se conoce como eliminación del gas ácido y endulzamiento. En las plantas pueden implementarse métodos comerciales que funcionan con soluciones de carbonato o procesos que utilizan Metildietanolamina (MDEA) como solución absorbente.

## 17.2 Normas y Base Legal

En general, Perú cuenta con un amplio marco legal e institucional para la Protección Ambiental:

- Calidad de Aire - **La Resolución Ministerial N° 315-96-EM-VMM, (Art. 11° Anexo 4 y Anexo 5)** para emisiones de las actividades minero-metalúrgicas.
- Resúdos Mineros – **D.S N°016 -93-EM (Art.7° numeral 1)** Reglamento de Protección ambiental en la Actividad Minero- Metalúrgica.
- Calidad del Agua - **R.M N° 011-96-EM-VMM (Art. 9° ,10°, Anexo 4 y Anexo 5)** Aprueban Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos Minero-Metalúrgico.

- Residuos Sólidos – **Ley N° 27314 (Art.37°) y D.S. N° 057-2004-PCM (Art.115°)** Ley General de Residuos Sólidos y su Reglamento.

Las cuales establecen el control de la contaminación del medio ambiente y se establecen alternativas y estrategias para la conservación y recuperación de los recursos naturales, para la salud y el bienestar de la población.

### **17.3 La industria Siderúrgica y el ambiente**

Uno de los principales efectos de los procesos siderúrgicos sobre el ambiente lo constituyen las emisiones de CO<sub>2</sub>. Aunque no produce efecto alguno sobre la salud humana ni los ecosistemas a los niveles atmosféricos normales, el dióxido de carbono es importante por su contribución al “efecto invernadero”, que se asocia al calentamiento global.

- **Efecto invernadero y cambio climático global**

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) son el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>), el ozono (O<sub>3</sub>) troposférico y algunos otros como los halo-carbonos.

La emisión de los GEI se produce por actividades naturales como la respiración o las erupciones volcánicas y por actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la deforestación, actividades agropecuarias y actividades industriales. Los GEI han venido incrementándose durante las últimas décadas, producto principalmente de actividades humanas. Esto ha provocado un aumento en la temperatura del planeta, provocando el llamado Cambio Climático Global (IPCC, 2007). De no limitarse la emisión de los GEI, la temperatura del planeta seguirá aumentando provocando diversos efectos como la elevación del nivel del mar, cambios en el patrón de las precipitaciones, disminución de glaciares, etc.

### **17.4 Factores de Emisión de CO<sub>2</sub>**

Para la evaluación comparativa de los aspectos ambientales entre la vía de producción de hierro de reducción directa a partir del gas natural o la producción de arrabio en el alto horno utilizando el coque metalúrgico se consideran los factores de emisión para el dióxido de carbono basados en un dictamen de expertos inspirado en las prácticas típicas para las diferentes posibilidades de producción de acero,

basándose en el Documento de referencia relacionado con la producción de hierro y acero de la Oficina europea de Prevención y control integrado de la contaminación (European IPPC Bureau, 2001). De donde se tiene los factores de emisión de CO<sub>2</sub>, indicados en el cuadro 2.29.

Cuadro N°2.29 Factores de emisión de CO<sub>2</sub>

<b>Factor Emisión de CO<sub>2</sub></b>	
<b>Proceso</b>	<b>Factor de emisión</b>
Producción de hierro (tonelada de CO <sub>2</sub> por tonelada de arrabio producido)	1.35
Producción de hierro reducido directo (tonelada de CO <sub>2</sub> por tonelada de DRI producido)	0.70

Fuente: [69]

### **17.5 Análisis de las emisiones de los procesos vía Gas Natural y Coque metalúrgico**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> para estos procesos están calculadas sobre la base de los factores de emisión del cuadro n° 2.29.

- La mayor parte del CO<sub>2</sub> es emitido por la industria del hierro asociado con la producción de hierro esponja y, más específicamente, por el empleo del carbón como agente reductor en la producción de hierro metálico que por su uso como fuente de energía.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> son mucho mayores en los procesos por la vía alto horno utilizando como agente reductor el coque metalúrgico, estas emisiones se reducen en un 52% por el procesos de reducción directa, utilizando como agente reductor el gas natural.

Al no existir normativa local o Límites Máximos Permisibles – LMP para las emisiones de CO<sub>2</sub> realizamos un estimado del impacto que tendría la instalación de una planta de reducción directa, utilizando como agente reductor el gas natural. El Banco Mundial indica que las emisiones peruanas de CO<sub>2</sub> para el año 2010, fueron de 57.58 MM de T<sub>M</sub>CO<sub>2</sub>/año. Si tomamos como referencia estos valores, obtenemos los incrementos que se muestran en el cuadro n° 2.30.

Cuadro N° 2.30 Cuadro comparativo del posible impacto en el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub>

	Vía Gas Natural	Vía Coque metalúrgico
TM producto /año	1500000	1500000
TM CO <sub>2</sub> / TM producto	0.70	1.35
TM de CO <sub>2</sub> / año	1050000	2025000
Incremento	<b>1.82%</b>	<b>3.52%</b>

Fuente: [69] + Elaboración propia

El incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> vía gas natural al total de las emisiones registrada por el banco mundial (1.82%), menor a la que se genera por el uso de coque metalúrgico (3.52%). Debido a la mejora en la tecnología evidenciada en las últimas décadas, que ha reducido las emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de hierro reducido al utilizar gas natural como agente reductor. También se ha mejorado en la implementación de tecnología que ayuda a reducir el consumo de energía, como lo es el aumento en el uso de los gases de escape que desprenden los hornos, utilizados ya sea para la producción de energía eléctrica o para algún proceso secundario en el proceso de fabricación.

## CAPÍTULO III RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1 Resultado de mercado

De acuerdo al estudio de mercado se resume la producción de acero laminado en el Perú para año 2013 y se indica la cantidad de hierro esponja necesaria para su producción:

Cuadro N°3.1 Mercado de acero laminado

Mercado	Acero Laminado (MMTM)	Acero Crudo (MMTM)	Equivalencia Hierro esponja (MMTM)
<b>Consumo aparente</b>	3	3.09	3.63
<b>Exportaciones</b>	0.1	0.103	0.13
<b>Importaciones</b>	1.65	1.7	2.00
<b>Producción Nacional</b>	1.45	1.49	1.76

Fuente: Elaboración propia

La producción de acero laminado en el Perú es de 1.45 que equivale a 1.5 MMTM de acero crudo (ratio 97% de metalización). En vista de la gran demanda y la tendencia ascendente se contempla la construcción de una planta de hierro esponja de **1.5MMTM/año**, que pueda abastecer en parte la producción nacional de hierro esponja que alcanza los 1.76 MMTM /año de acuerdo a su equivalente en producción de acero crudo en el Perú.

De esta manera se reducirán las importaciones de HRD, coque, carbón, acero reciclado y palanquilla, que en la actualidad, las empresas siderúrgicas nacionales consumen para la producción de acero crudo.

### 3.2 Ubicación de la planta

Se considera al puerto de **Ilo**, ubicado en el departamento de Moquegua, como una zona estratégica para la instalación de una planta de producción de hierro esponja por cumplir con los siguientes factores determinantes para la selección:

Cuadro N° 3.2 Factores considerados importantes en la selección del puerto de Ilo

<b>Factores</b>	<b>Ventajas de la ubicación</b>
Cercanía a la fuente de mineral de hierro:	Proyectos de mineral de hierro en : Arequipa, Cusco Apurímac y Tacna
Suministro de Gas Natural	Propiciar la construcción del Gasoducto Sur
Suministro de energía eléctrica	Central Termoeléctrica de Enersur
Terrenos disponibles	Zona industrial - De acuerdo al reglamento de Zonificación urbana de la ciudad de Ilo
Facilidad de acceso	Carretera Interoceánica del Sur , Carretera costanera del Sur, Terminal portuario de Ilo (ENAPU)
Extracción actual de mineral de hierro	La empresa Total Genius Iron Mining exporta mineral de hierro a través del puerto de Ilo a china.

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Selección de tecnología

La selección de la Tecnología es en base a la eficiencia del proceso de reducción directa, considerando que la más apropiada es la Tecnología **MIDREX**, al ser utilizada en la planta para transformar el mineral de hierro con bajo grado de metalización en un producto de hierro de reducción directa de alto porcentaje de pureza, y de esa manera sea apto para la utilización en la fabricación de acero y aplicaciones de fundición. Además se consideran los beneficios indicados en el cuadro N°3.3.

Cuadro N°3.3 Resumen de las características tecnológicas y sus ventajas consideradas importantes en la selección de la Tecnología MIDREX

<b>Características</b>	<b>Ventaja</b>
Eficiencia en el horno reductor	Recirculación del gas reductor agotado hacia el reformador
Flujo continuo de sólidos en el reactor	Obtención de un producto homogéneo
Capacidad del Reformador MIDREX para reformar CO <sub>2</sub>	Producir más monóxido de carbono
Durante la reformación del gas natural con CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O se genera un excedente	Se usa como combustible en los quemadores y/o se vende para el control de presión del sistema
Sistema de recuperación de calor	Eficiencia térmica del proceso
Se puede aprovechar los costos relativos de varios tipos de minerales	Mezcla de pellets y mineral grueso
Tiene como productos HRD , HBC	Incrementa la capacidad de producción de los hornos eléctricos de arco
El sistema opera a baja presión	1 atm
Mayor confiabilidad por la cantidad de plantas instaladas	Representa el 60.5% de la producción de HRD en el mundo (75 plantas instaladas)

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Evaluación económica

Se estudia la rentabilidad del proyecto a través de indicadores económicos (TIR, VAN, PAYBACK) que permitan evaluar la viabilidad del proyecto. Se considera todas las asunciones anteriormente señaladas en el apartado 17 del capítulo II.

#### 3.4.1 Planta de procesamiento de mineral de hierro

Cuadro N°3.4 Costos de procesamiento de mineral de hierro por año

<b>Procesamiento de mineral de hierro a planta concentradora</b>		
Costo fijo	1.32	US\$/TM
Costo variable	0.78	US\$/TM
Costo total unitario de concentración	2.10	US\$/TM
Cantidad de mineral a planta concentradora	2450000	TM
Costo de procesamiento	5.15	MMUS\$
<b>Procesamiento de mineral de hierro a trituración</b>		
Costo unitario de trituración (10% del Costo total unitario de concentración)	0.21	MMUS\$
Cantidad de mineral a trituración	675000	TM
Costo de procesamiento	0.14	MMUS\$
Precio de mineral de hierro	25	US\$/TM
Cantidad total	3125000	TM
Precio total de mineral de hierro	78.13	MMUS\$
<b>TOTAL</b>	<b>83.41</b>	<b>MMUS\$</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2 Planta de pellets de mineral de hierro

Cuadro N°3.5 Costo fijo por año de la planta de pellets de mineral de hierro

DESCRIPCION	Producción	Precio unitario	Costo por año
Mano de obra	1,600,000 TM/año	1.10 US\$/TM	1.76 MMUS\$
Tasas y Seguros (0.02 CAPEX)			4.91 MMUS\$
Gastos generales (0.01 CAPEX)			2.46 MMUS\$
Mantenimiento (0.03 CAPEX)			7.37 MMUS\$
<b>TOTAL</b>			<b>16.49 MMUS\$</b>

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°3.6 Costo variable por año de la planta de pellets de mineral de hierro

DESCRIPCION	Cantidad	Precio unitario	Costo por año
<b>MATERIA PRIMA</b>			
Gas Natural	19,488,000 Nm3/año	0.16 US\$/m3	3 MMUS\$
Cal o Bentonita	32,000,000 Kg/año	0.1 US\$/kg	3 MMUS\$
<b>SERVICIOS</b>			
<b>Energía eléctrica</b>			
En molienda y concentración	40,000,000 KWh	0.08 US\$/KWh	3 MMUS\$
En cocción	48,000,000 KWh	0.08 US\$/KWh	4 MMUS\$
<b>Agua de proceso</b>			
En molienda y concentración	432000 m3	0.04 US\$/m3	0.02 MMUS\$
En cocción	768,000 m3	0.04 US\$/m3	0.03 MMUS\$
<b>TOTAL</b>			<b>13.41 MMUS\$</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3 Planta de briquetas de mineral de hierro

Cuadro N°3.7 Costo fijo por año de la planta de briquetas de mineral de hierro

DESCRIPCION	Producción	Precio unitario	Costo por año
Mano de obra	1,500,000 TM/año	5.47 US\$/TM	8.205 MMUS\$
Tasas y Seguros (0.02 CAPEX)			8.4 MMUS\$
Gastos generales (0.01 CAPEX)			4.2 MMUS\$
Mantenimiento (0.03 CAPEX)			12.5 MMUS\$
<b>TOTAL</b>			<b>33.3 MMUS\$</b>

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°3.8 Costo Variable por año de la planta de Briquetas de mineral de Hierro

DESCRIPCION	Cantidad	Precio Unitario	Costo por año
<b>MATERIA PRIMA</b>			
Gas natural	450,000,000 Nm3/año	0.16 US\$/Nm3	72 MMUS\$
<b>SERVICIOS</b>			
Energía eléctrica	195000000 KWh	0.08 US\$/KWh	15.60 MMUS\$
Agua de proceso	2250000 m3	0.04 US\$/m3	0.09 MMUS\$
<b>TOTAL</b>			<b>87.69 MMUS\$</b>

Fuente: Elaboración propia

Considerando una producción anual de 1500000 TM y un factor producto 90%. Se tiene un ingreso de 439 MMUS\$ anual.

#### **INGRESO**

$$\text{Ingreso} = \text{Producción anual} * \text{Precio} * \text{Factor producto}$$

Producción anual =	1,500,000	TM/año
Precio =	325	US\$/ TM
Factor producto = 90%	0.90	

$$\text{INGRESO} = \boxed{439} \text{ MMUS$/año}$$

Cuadro N°3.9 Cálculos económicos del escenario

**Ingresos por venta (MMUS\$)**

Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
<b>Vida del proyecto</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Hierro esponja						439	439	439	439	439	439	439	439	439	439
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>						<b>439</b>									

**Egresos (Cifras en MMUS\$)**

Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
<b>Vida del proyecto</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Costos fijos + Costos variables						-234	-234	-234	-234	-234	-234	-234	-234	-234	-234
<b>TOTAL EGRESOS</b>						<b>-234</b>									

Cuadro N°3.10 Flujo de caja económico del escenario (cifras en MMUS\$)

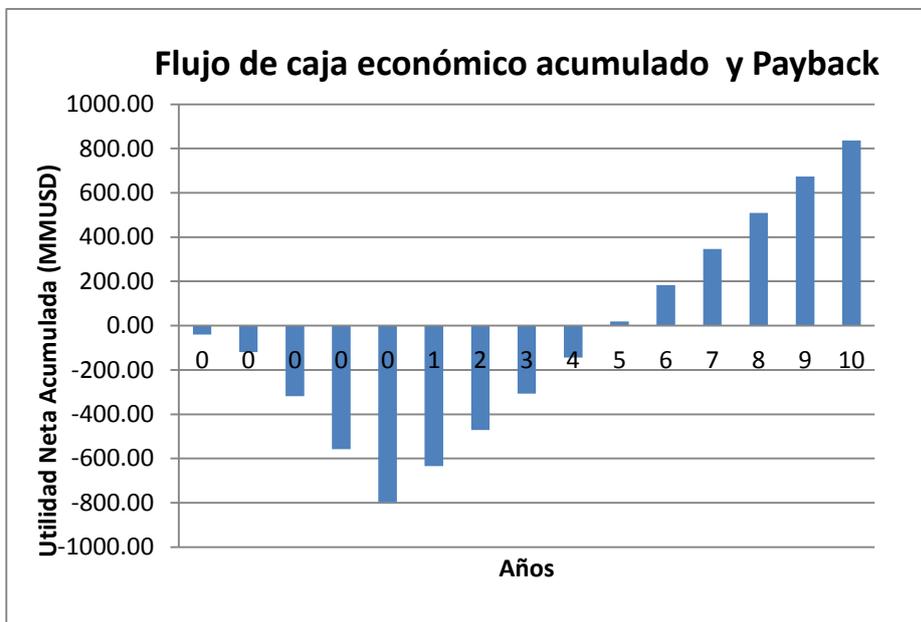
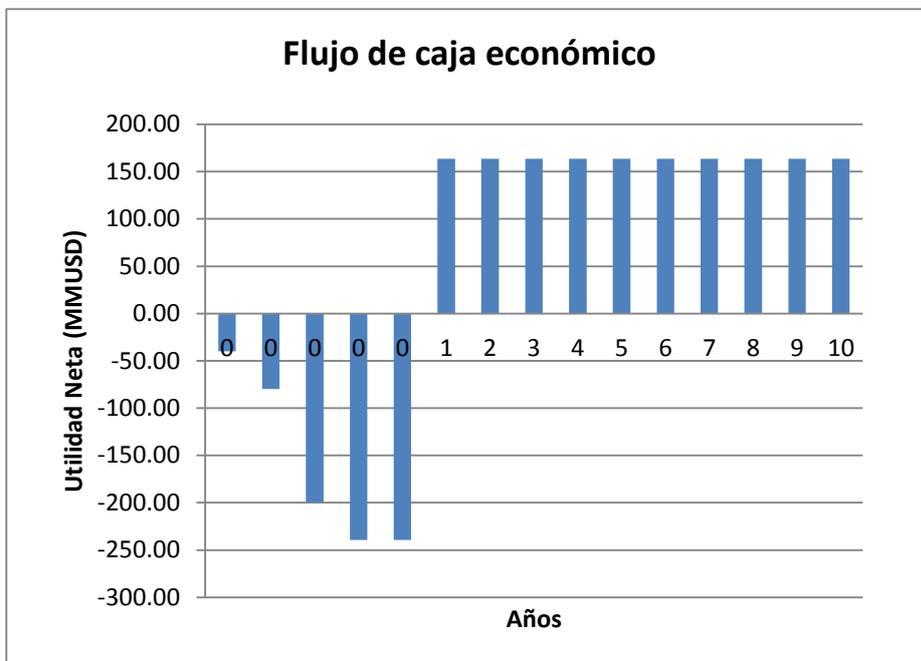
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
<b>Vida del proyecto</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Inversión	-33.79	-67.58	-168.95	-202.74	-202.74										
Ingresos						439	439	439	439	439	439	439	439	439	439
Egresos						-234	-234	-234	-234	-234	-234	-234	-234	-234	-234
Depreciación (10% CAPEX activo)						-67.58	-67.58	-67.58	-67.58	-67.58	-67.58	-67.58	-67.58	-67.58	-67.58
<b>Utilidad bruta</b>						<b>137</b>									
IGV (18%)	-6.08	-12.16	-30.41	-36.49	-36.49										
Impuesto a la renta (30%)						-41.06	-41.06	-41.06	-41.06	-41.06	-41.06	-41.06	-41.06	-41.06	-41.06
<b>Utilidad neta</b>						<b>95.81</b>									
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>-39.87</b>	<b>-79.75</b>	<b>-199.36</b>	<b>-239.24</b>	<b>-239.24</b>	<b>163.39</b>									

<b>ANALISIS ECONOMICO AL 2029</b>	
<b>Tasa Interna de Retorno (TIR)</b>	12%
<b>Costo de Oportunidad de Capital (COK)</b>	12.50%
<b>Valor Actual Neto (VAN)</b>	<b>MMUS\$ 107.13</b>

Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
<b>Vida del proyecto</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Flujo de caja	-39.87	-79.75	-199.36	-239.24	-239.24	163.39	163.39	163.39	163.39	163.39	163.39	163.39	163.39	163.39	163.39
Flujo de caja acumulado	-39.87	-119.62	-318.98	-558.22	-797.46	-634.07	-470.68	-307.29	-143.90	19.49	182.87	346.26	509.65	673.04	836.43

Se calcula un **TIR** de **12%** y **VAN** de **107.13 MMUS\$**, calculados con un **Costo de Oportunidad de Capital** de **12.50 %**.

Grafico 3-1 Flujo de caja económico y Payback

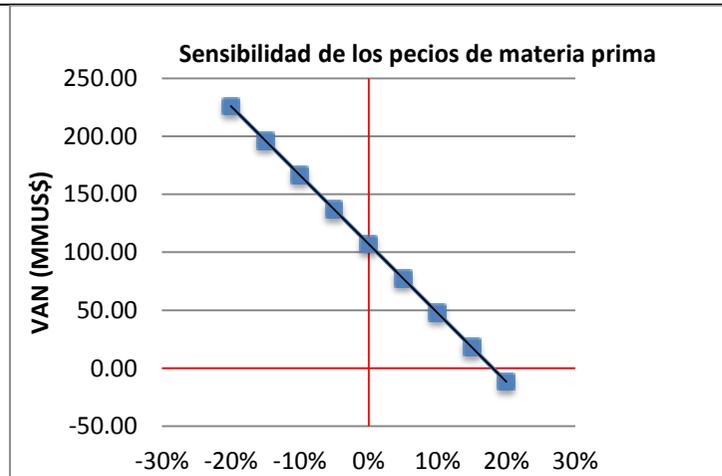


Como se aprecia en los gráficos superiores se obtiene un **Payback** o periodo recuperación de **9 años**, en el cual se recupera la inversión inicial de la planta. A partir del año 5 de puesta en marcha la planta se empezaría a recaudar la inversión.

Es necesario desarrollar el análisis de sensibilidad para medir el grado de reacción de los resultados obtenidos y facilitar parámetros y herramientas para la toma de decisiones.

Cuadro N° 3.11 Sensibilidad de los precios de la materia prima del escenario

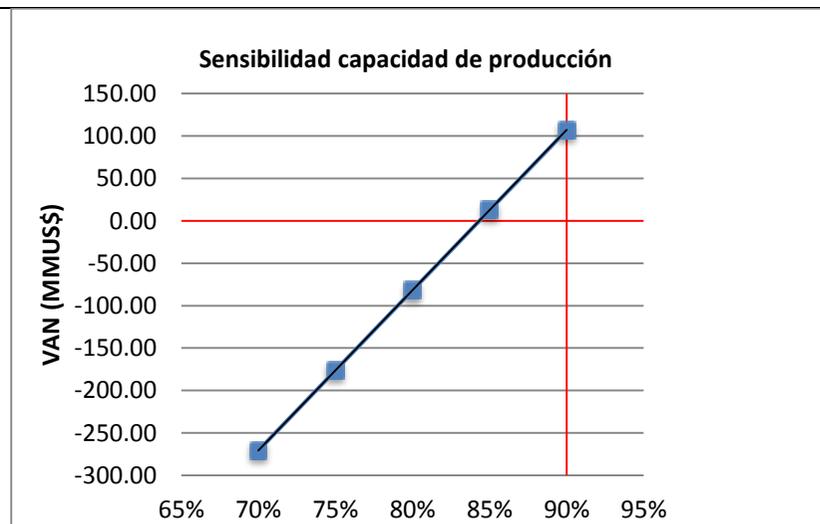
Variación	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
Precio Mineral de Hierro US\$/TM	20.00	21.25	22.50	23.75	25.00	26.25	27.50	28.75	30.00
Precio de Gas Natural US\$/Nm3	0.128	0.136	0.144	0.152	0.16	0.168	0.176	0.184	0.192
Precio de Gas Natural US\$/MMBTU	3.62	3.85	4.08	4.30	4.53	4.76	4.98	5.21	5.44
VAN (MMU\$)	225.91	196.22	166.52	136.83	107.13	77.44	47.74	18.05	-11.65
TIR	14%	14%	13%	12%	12%	11%	11%	11%	9%



El incremento máximo que se podría sobrellevar en los precios del mineral de hierro y el gas natural es de 18% obteniendo el VAN = 0.

Cuadro N°3.12 Sensibilidad de la capacidad de producción del escenario

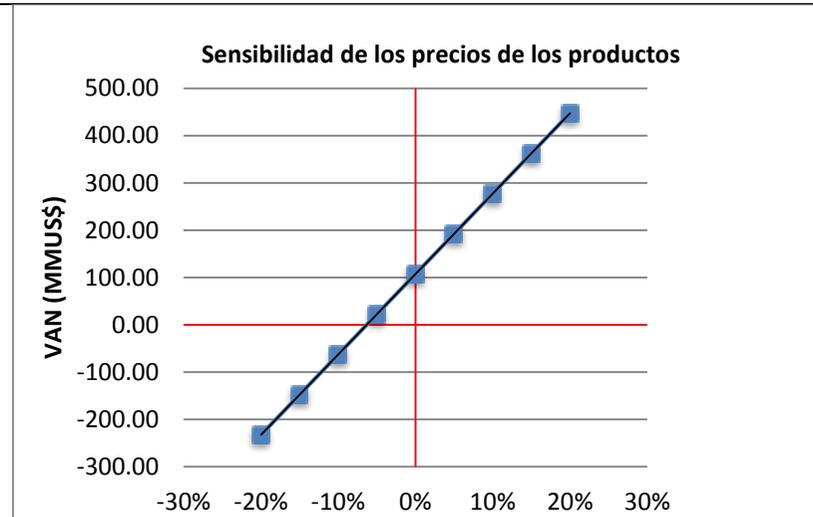
Variación	70%	75%	80%	85%	90%
HBC TM/DIA	3088.24	3308.82	3529.41	3750.00	3970.59
VAN (MMU\$)	-270.73	-176.26	-81.80	12.67	107.13
TIR	3%	5%	8%	10%	12%



La capacidad de producción a la que se podría operar con el VAN = 0 es al 84%

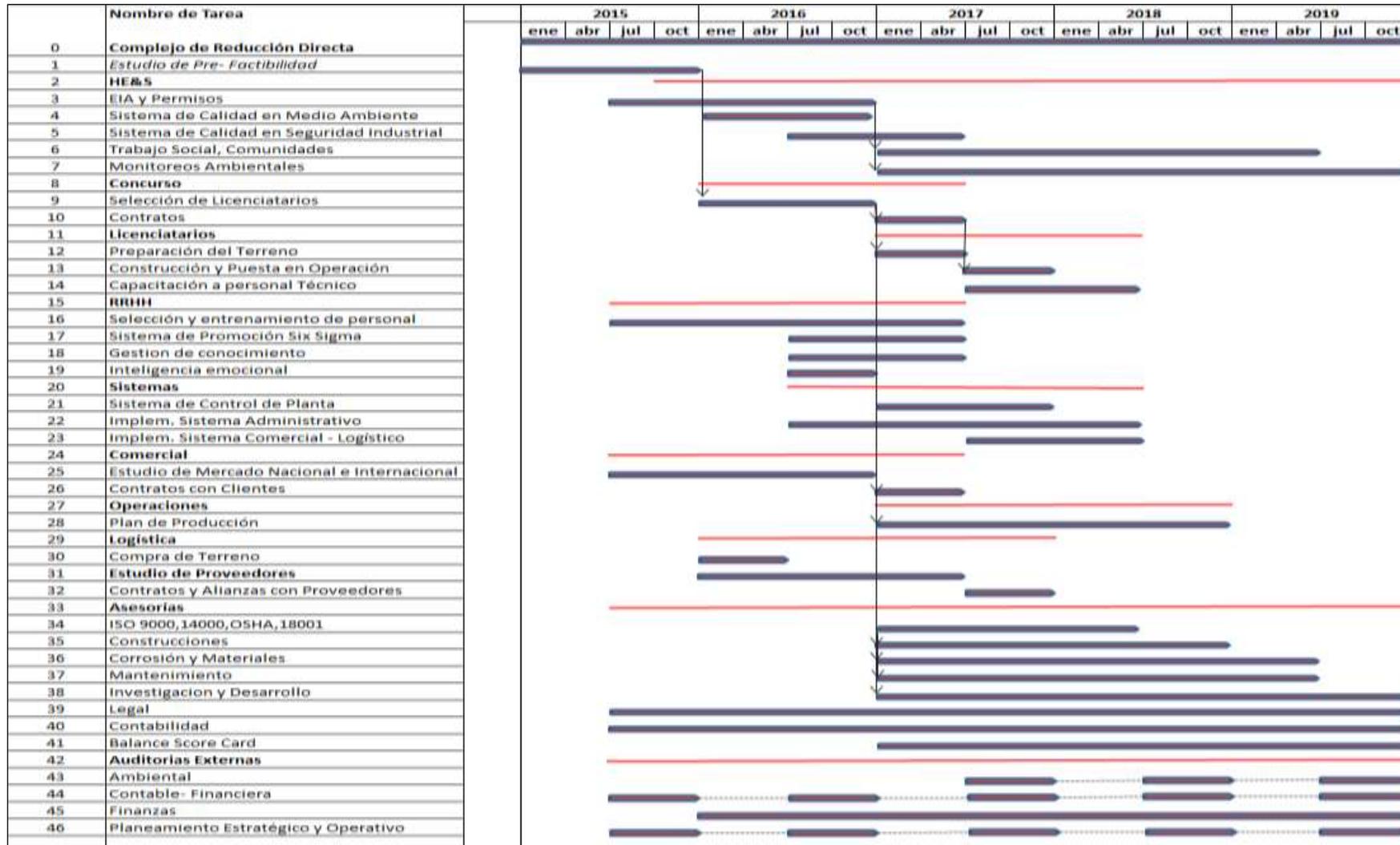
Cuadro N° 3.13 Sensibilidad de los precios de los productos del escenario

Variación	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
<b>Precio HBC</b>									
<b>US\$/TM</b>	260.00	276.25	292.50	308.75	325.00	341.25	357.50	373.75	390.00
<b>VAN (MMU\$)</b>	-232.94	-147.92	-62.90	22.11	107.13	192.15	277.17	362.19	447.21
<b>TIR</b>	4%	6%	8%	10%	12%	14%	15%	17%	18%



Los precios de los productos podrían tolerar un decremento de hasta 6% (VAN=0), lo cual significa un precio de 305.5 US\$/TM

Cuadro N° 3.14 Cronograma de actividades en las etapas de implementación e inicio de operación hasta el año 2019



Las actividades del proyecto que se desarrollaran dentro de la etapa pre operativo que durara (5años), iniciados a partir del año 2015 al término del año 2019 considerando el Cuadro N° 3.14, son las siguientes:

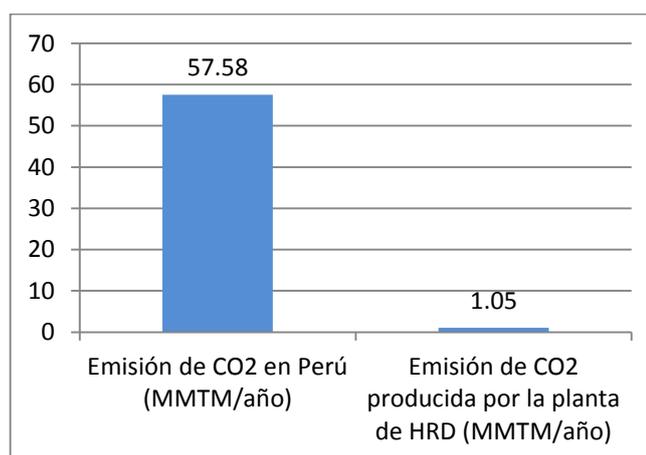
Estudio de Pre factibilidad: en el que se determinara el EIA y los permisos, sistema de calidad en medio ambiente, seguridad y el trabajo social con las comunidades.

Además de la selección de tecnología, licenciantes, construcción, área comercial, recursos humanos, finanzas, para finalmente realizar la puesta en operación.

### 3.5 Evaluación Ambiental

La mayor parte del CO<sub>2</sub> es emitido por la industria del hierro asociado con la producción de hierro esponja y, más específicamente, por el empleo del carbón como agente reductor en la producción de hierro metálico que por su uso como fuente de energía. El Banco Mundial indica que las emisiones peruanas de CO<sub>2</sub> para el año 2010, fueron de 57.58 MM de T<sub>M</sub>CO<sub>2</sub>/año. Las emisiones de CO<sub>2</sub> al crear una planta de producción de Hierro Esponja de una capacidad de 1.5 MMTM /año son de 1.05 MMTM CO<sub>2</sub>/año vía gas natural menores en un 52% a las emisiones generadas vía alto horno utilizando como agente reductor el coque metalúrgico (2.02 MMTM CO<sub>2</sub>/año).

Figura 2-39 Incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> por año generada por una planta de Producción de hierro esponja de 1.5 MM TM /año de capacidad



Fuente: Elaboración propia

La Figura 2-39 indica el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> vía gas natural al total de las emisiones en Perú registrada por el banco mundial que representa el (1.82%) del total, menor a la que se generaría por el uso de coque metalúrgico (3.52%) del total de emisiones de CO<sub>2</sub> en Perú.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 CONCLUSIONES**

- 1.** El Perú cuenta con grandes recursos de mineral de hierro (1746.54 MMTM) y reservas probadas de gas natural (15.4 TFC), contabilizados al año 2012, que mejor pueden capitalizarse mediante el procesamiento de productos como hierro esponja o (HBC), trayendo grandes beneficios al propiciar la construcción del Gasoducto Sur Peruano por considerarse una de las opciones para el consumo de gas natural con el fin de dar un mayor valor agregado al mineral de hierro, ya que actualmente se exporta como metal en bruto, reduciendo ganancias e ingreso de divisas al país.
- 2.** El estudio concluye que la capacidad de planta sería de 1500000 TM/ año de hierro esponja en forma de briquetas, en base al consumo de acero laminado nacional en los últimos años, con un consumo de gas natural 46.74 MMPCD como materia prima para la planta de reducción directa. La oferta es para el mercado nacional que actualmente consume 3MMTM de acero laminado e importa 1.65 MMTM. El tamaño de planta 1.5MMTM/año, coincide con el límite tecnológico respecto del tamaño de las plantas.
- 3.** La tecnología seleccionada para el proceso de producción de hierro esponja fue la Tecnología MIDREX, en base a la eficiencia del horno de cuba, recirculación del gas reductor, el sistema de operación, el menor consumo de energía debido al sistema de recuperación de calor y la mayor confiabilidad por la cantidad de plantas instaladas en el mundo. Ver cuadro N°3.3.

**4.** La planta de producción de HBC, se ubicaría en el puerto de Ilo, por considerarse una zona estratégica, próxima a las fuentes de mineral de Hierro, Gas Natural (al propiciar la construcción del GSP), energía eléctrica a través de Enersur y cuenta con grandes terrenos denominadas zonas industriales además en la actualidad ya se encuentra extrayendo mineral hierro a exportación producido en la mina Morritos por el puerto de Ilo con destino a China.

**5.** La producción de HBC en 1.5 MMTM /año produce 1.05 T<sub>M</sub>CO<sub>2</sub>/año, menor en un 52% a las emisiones en la producción de arrabio por la vía alto horno. Estas nuevas tecnologías que utilizan el gas natural favorecen a los procesos de reducción directa, con la menor cantidad de emisiones a objeto de garantizar la sustentabilidad ambiental y económica.

**6.** De los resultados de la investigación, se concluye que es un proyecto rentable. El VAN (Valor Actual Neto) tiene un valor positivo de 107.13 MMUS\$ y el TIR (Tasa Interna de Retorno) del 12%, y un payback o periodo de recuperación de 9 años, en el cual se recupera la inversión inicial de la planta. A partir del año 5 de puesta en marcha la planta se empezaría a recaudar la inversión.

Al desarrollar el análisis de sensibilidad se obtuvo que el incremento máximo que se podría sobrellevar en los precios del mineral de hierro y el gas natural sin generar pérdidas es de 18 %, que representa 22.5 US\$/TM y 5.3 US\$/MMBTU respectivamente. Así mismo, respecto a la capacidad de producción esta es del 84% que corresponde a 3706 TM/día (1.26 MMTM/año) en la cual puede operar sin pérdidas económicas, y con respecto al precio del producto (HBC) este podría tolerar un decremento de hasta 6%, que equivale a un precio de 305.5US\$/TM.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

- 1.** Se recomienda evaluar la posibilidad de completar un complejo siderúrgico en el Sur del país, con la producción final de acero laminado, considerando el gran consumo nacional y el incremento de las importaciones existentes.
- 2.** Se recomienda que el Estado Peruano exija a las empresas titulares de las concesiones mineras de los proyectos de mineral de hierro, publiquen la actualización de la estimación de sus recursos y reservas de mineral de hierro para conocimiento público. Es importante para el desarrollo del Estado conocer los recursos naturales con los que puede trabajar, pues la economía del mismo se basa en las reservas con que cuenta y los negocios que puede realizar con esos recursos.
- 3.** El precio máximo de gas natural es de 5.3 US\$/ MMBTU, valores superiores harían no viable el proyecto. Se recomienda estudiar la posibilidad de implementar un mecanismo de fondo de compensación que permita ajustar la variabilidad del precio de la materia prima.

## CAPÍTULO V

### REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, DIRECCIÓN GENERAL DE HIDROCARBUROS: *Libro anual de reserva de hidrocarburos* (2013).
2. JHINZAO MINING PERU S.A.  
Página web (Visitado 2014-01-20):  
<http://www.jinzhaoperu.com/es/pampapongo.php>
3. CARDERO RESOURCE CORP.  
Página web (Visitado 2013-11-16):  
[http://www.cardero.com/s/news\\_releases.asp?ReportID=457910](http://www.cardero.com/s/news_releases.asp?ReportID=457910)
4. STRIKE RESOURCES, *Annual Report 2012*  
Página web (Visitado 2013-10-10):  
<http://strikeresources.com.au/investor-centre/reports/annual-reports/?lang=es>
5. SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE ADUANAS Y ADMINISTRACION TRIBUTARIA  
Página web (Visitado el 2014-05-21):  
<http://www.sunat.gob.pe/>
6. SISTEMA DE INFORMACION MINERO COLOMBIANO  
Página web (Visitado el 2014-05-21):  
[http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta\\_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=121&grupo=369&FechaInicial=01/01/1984&FechaFinal=31/08/2013](http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=121&grupo=369&FechaInicial=01/01/1984&FechaFinal=31/08/2013)
7. VIGILANCIA DE LAS INDÚSTRIAS EXTRACTIVAS (2012). Reporte Regional N°15 Arequipa  
Página web (Visitado el 2014-05-18):  
<http://www.descosur.org.pe/vminero/Reporte%20Regional15VIE.PDF>

8. VIGILANCIA DE LAS INDÚSTRIAS EXTRACTIVAS (2012). Reporte Regional N°15 Arequipa  
Pagina web (Visitado el 2014-05-18):  
<http://www.descosur.org.pe/vminero/Reporte%20Regional15VIE.PDF>
9. AVANCE Y DESARROLLO DE PROYECTOS (2011). Minero noticias.  
Pagina web (Visitado el 2013-07-13):  
[http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/INVERSION/2014/cep\\_m0114.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/INVERSION/2014/cep_m0114.pdf)
10. PERUVIAN LATIN RESOURCES (2012). La voz de Mariela. Boletín informativo del proyecto Mariela.  
Pagina web (Visitado el 2014-05-17):  
<http://es.scribd.com/doc/92538836/La-Voz-de-Mariela-Ano-I-N%C2%BA-1>
11. JUNEFIELD MINERAL RESOURCES HOLDINGS LIMITED  
Pagina web (Visitado el 2014-05-17):  
[http://junefieldmineralresources.com/page/default\\_xi.asp?pageID=72](http://junefieldmineralresources.com/page/default_xi.asp?pageID=72)
12. PERU: PROYECTOS MINEROS DEL FUTURO (2012). Perfil de la minería peruana.  
Pagina web (Visitado el 2014-05-17):  
<http://mineriadelperu.com/wp-content/uploads/2011/07/demo-proyectos-mineros-del-futuro.pdf>
13. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL SEMIDETALLADO DEL PROYECTO DE EXPLORACIÓN PAMPA DE PONGO DE JINZHAO MINING PERU S.A.  
Pagina web (Visitado el 2014-03-18):  
[http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/inicio/resumen/RE\\_1987926.PDF](http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/inicio/resumen/RE_1987926.PDF)
14. APURIMAC FERRUM  
Pagina web (Visitado el 2013-12-18):  
<http://www.apurimacferrum.com.pe/>
15. MODIFICATORIA DE LA DECLARACION DE IMPACTO AMBIENTAL (2012). *Proyecto de Exploración “Mariela”*.  
Pagina Web (Visitado el 2013-05-20):

<http://munilapuntadebombon.gob.pe/www/images/noticias/estudio%20de%20impacto%20ambiental/DIA%20MARIELA/MODIFICACION/Cap%20I%20RESUMEN%20EJECUTIVO.pdf>

16. STRIKE RESOURCES ANNUAL REPORT 2013 (2013).  
Pagina web (Visitado el 2014-05-17):  
<http://strikeresources.com.au/investor-centre/reports/annual-reports/?lang=es>
17. APURIMAC FERRUM ALLANA EL CAMINO A LA MAYOR MINA DE HIERRO DEL PERU (2010).  
Pagina web (Visitado el 2014-11-20):  
<http://www.minerandina.com/apurimac-ferrum-allana-el-camino-a-la-mayor-mina-de-hierro-del-peru/>
18. INFORME OFICIAL JUNEFIELD GROUP (2011). *Estimación de recursos*.
19. PROYECTO OPABAN  
Pagina web (Visitado el 2014-05-17):  
<http://www.apurimacferrum.com.pe/ferrum/>
20. MEGAROYECTO DE FIERRO APURÍMAC DOBLA RECURSOS (2010).  
Noticias mineras.  
Pagina web (Visitado el 2013-06-22):  
<http://www.minerandina.com/megaroyecto-de-fierro-apurimac-dobla-recursos/>
21. CUERVO RESOURCES  
Pagina web (Visitado el 2014-013):  
[http://www.cuervoresources.com/es/index.php/propiedades/cerro\\_ccopane/](http://www.cuervoresources.com/es/index.php/propiedades/cerro_ccopane/)
22. WORLDSTEEL ASSOCIATION. *Crude steel production*  
Pagina web (Visitado el 2014-08-06):  
<http://www.worldsteel.org/statistics/crude-steel-production.html>
23. ASOCIACION LATINOAMERICANA DE ACERO (2013). *América Latina en Cifras 2013*. Informe técnico ALACERO.  
Pagina web (Visitado el 2014-05-15):  
<http://www.alacero.org/acero/Paginas/Am%C3%A9ricaLatinaenCifras.aspx>
24. CONGRESO ALACERO (2013). *Panorama del acero en Perú*.  
Pagina web (Visitado el 2014-05- 15):  
[http://www.alacero.org/Tecnologia/BT\\_4\\_2013/Revista%20Acero%20Latinoamericano/7%20Panorama%20del%20acero%20en%20Per%C3%BA.pdf](http://www.alacero.org/Tecnologia/BT_4_2013/Revista%20Acero%20Latinoamericano/7%20Panorama%20del%20acero%20en%20Per%C3%BA.pdf)

25. CASTRO S, BAUTISTA, C. (2013). *Siderúrgico- Peru, Informe Anual 2012*. Corporación Aceros Arequipa S.A. – (CAASA)  
Pagina web (Visitado el 2014-05- 15):  
[http://128.121.179.224/files/instituciones\\_no\\_financieras/aceros\\_arequipa/ca/aceros\\_arequipa\\_ca.pdf](http://128.121.179.224/files/instituciones_no_financieras/aceros_arequipa/ca/aceros_arequipa_ca.pdf)
26. THE MIDREX (2013). *World Direct Reduction statistics 2012*  
Pagina web (Visitado el 2014-05-12):  
<http://www.midrex.com/uploads/documents/MDX%20STATS%202012%207-3-13Final.pdf>
27. COORPORACIÓN ACEROS AREQUIPA S.A. (2012). *Memoria Anual 2012*.  
Pagina web (Visitado el 2014-09-04):  
[http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/docs/MEMORIA\\_2012.pdf](http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/docs/MEMORIA_2012.pdf)
28. EMPRESA SIDERURGICA DEL PERU S.A.A. (2012). *Memoria Anual 2012*.  
Pagina web (Visitado el 2014-09-04):  
<http://www.bvl.com.pe/hhii/CM0003/20130221194302/MEMORIA32ANUAL322012.PDF>
29. COPORACIÓN ACEROS AREQUIPA. *Proceso de Producción del Acero*.  
Pagina web (Visitado 2014-08-06):  
<http://www.acerosarequipa.com/proceso-de-reduccion-directa.html>
30. SIDERPERU: GERDAU. *Proceso de producción del Acero*.  
Pagina web (Visitado 2014-08-06):  
<http://www.sider.com.pe/contenidos/detalle/100/proceso-de-produccion-del-acero>
31. INFOACERO. *Proceso de peletizacion del hierro*.  
Pagina web (Visitado el 2014-05-15):  
<http://www.infoacero.cl/procesos/peletiza.htm>
32. MANUAL DE CHANCADO. *Procesamiento de minerales* (2011).  
Pagina web (Visitado el 2014-06-15):  
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/manual-chancado-procesamiento-minerales/manual-chancado-procesamiento-minerales.shtml>
33. KATZ, MIGUEL. *Materiales y materias primas. Mineral de hierro* (2011).  
Pagina web (Visitado el 2014-07-12):  
<http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/minerales-de-hierro.pdf>

34. GUTIERREZ, R. (1998). *Influencia de la basicidad en la microestructura de los pellets y en su comportamiento metalúrgico en los procesos de reducción directa*. Trabajo de Tesis, Universidad Colima  
Pagina web (Visitado el 2013-08- 10):  
[http://digeset.ucol.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/Rafael%20Alejandro%20Gutierrez%20Ramirez.pdf](http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Rafael%20Alejandro%20Gutierrez%20Ramirez.pdf)
35. AVILA, O. (2006). *Sistema experto para el monitoreo y control del proceso de reducción directa MIDREX I de la empresa SIDOR, C.A.* Proyecto de grado Universidad de Los Andes Mérida, Venezuela  
Pagina web (Visitado el 2014-05- 13):  
<http://es.scribd.com/doc/52389511/Olga-Avila-Parte-I>
36. WHIPP, R. (2011). How HBI is made.  
Pagina web (Visitado el 2014-04-29):  
<http://metallics.org.uk/PDF/How%20HBI%20Is%20Made.pdf>
37. SCARNATI, T. (2008). *Opciones prácticas para el avance de la industria de reducción directa en la India*.  
Pagina web (Visitado el 2014-03-12):  
<http://www.tenovagroup.com/pdf/technical/29-MILLENIUM%20PRACTICALred.pdf>
38. HYLSA, S.A. (1997) HYL Technology Division: *4000 años después una historia de la reducción directa de mineral de hierro*.  
Pagina web (Visitado el 2013-11-20):  
<http://metallics.org.uk/wp-content/uploads/2013/10/4000-Years-Later-A-History-of-the-Direct-Reduction-of-Iron-Ore-first-published-in-1977-and-updated-in-1997.pdf>
39. WHIPP, R. (2007). *Direct Reduction Fundamental and Applications*.  
Pagina web (Visitado el 2014-05-22):  
<http://metallics.org.uk/wp-content/uploads/2013/10/DRI-Basics.pdf>
40. SCARNATI, T. (2008). *Innovative DR Technology for Innovative Steelmaking*. MB North African Steel Conference  
Pagina web (Visitado el 2014-05-08):  
<http://www.tenovagroup.com/pdf/exhibition/Innovative%20DR%20Technology%20for%20Innovative%20Steelmaking.pdf>

41. INDUSTRIAL EFFICIENCY TECHNOLOGY DATABASE, *Iron and Steel*  
Pagina web (Visitado el 2014-05-06):  
<http://ietd.iipnetwork.org/content/iron-and-steel>
42. GUTIERREZ, K. (2006). *Recuperación del gas de tope de las plantas de reducción directa con tecnología midrex*. Trabajo de Grado Universidad del Zulia- Venezuela.  
Pagina web (Visitado el 2014-05- 08):  
[http://tesis.luz.edu.ve/tde\\_arquivos/81/TDE-2011-07-19T14:50:23Z-1473/Publico/gutierrez\\_kary.pdf](http://tesis.luz.edu.ve/tde_arquivos/81/TDE-2011-07-19T14:50:23Z-1473/Publico/gutierrez_kary.pdf)
43. INDUSTRIAL EFFICIENCY TECHNOLOGY DATABASE, *Direct Reduced Iron*  
Pagina web (Visitado el 2014-05-06):  
<http://ietd.iipnetwork.org/content/direct-reduced-iron>
44. PRODUCCIÓN DE HIERRO ESPONJA  
Pagina web (Visitado 2013-05-07):  
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Hierro-Esponja/4460858.html>
45. CARBONERO, L. (2007). *Descripción del proceso de elaboración de briquetas*.  
Visita a COMSIGUA  
Pagina web (Visitado el 2014-05- 13):  
<http://ingconceptual.blogspot.com/2007/06/visita-comsigua.html>
46. TENOVA HYL, *Direct Reduction*  
Pagina web (Visitado el 2014-01-27):  
[http://www.hyltechnologies.com/direct\\_reduction\\_tech.php](http://www.hyltechnologies.com/direct_reduction_tech.php)
47. THE METALS PROCESSING ADVISOR WEBSITE  
Pagina web (Visitado el 2013-03-13):  
[http://www.heat treatconsortium.com/MetalsAdvisor/iron\\_and\\_steel/process\\_descriptions/raw\\_metals\\_preparation/ironmaking/direct\\_reduction/ironmaking\\_direct\\_reduction\\_combution\\_tech.htm](http://www.heat treatconsortium.com/MetalsAdvisor/iron_and_steel/process_descriptions/raw_metals_preparation/ironmaking/direct_reduction/ironmaking_direct_reduction_combution_tech.htm)
48. HYL DIRECT REDUCTION  
Pagina web (Visitado el 2013-12-11):  
<http://www.readbag.com/millennium-steel-articles-pdf-2006-pp43-45-ms06>
49. NOTICIA BOLIVIA Y EL MUNDO (2012), *Procesos de reducción del hierro*  
Pagina web (Visitado el 2014-05-08):  
[http://www.noticiasbo.com/noticia/Procesos\\_de\\_reduccion\\_del\\_hierro.html](http://www.noticiasbo.com/noticia/Procesos_de_reduccion_del_hierro.html)

50. GUERRA, M. (2009). *Estudio de factibilidad económica para el incremento de producción de briquetas mediante el aumento de la temperatura del gas reductor en CVG ferrominera Orinoco C.A.* Programa PRUFAI coordinación de pasantías.  
Pagina web (Visitado el 2014-05- 10):  
[http://www.cidar.uneg.edu.ve/DB/bcuneg/EDOCS/TESIS/TESIS\\_PREGRADO/INFORMES%20DE%20PASANTIAS/IP89592009ChaconMaria.pdf](http://www.cidar.uneg.edu.ve/DB/bcuneg/EDOCS/TESIS/TESIS_PREGRADO/INFORMES%20DE%20PASANTIAS/IP89592009ChaconMaria.pdf)
51. HYL Solutions for Quality DRI Production in India  
Pagina web (Visitado el 2013-12-17):  
<http://www.tenovagroup.com/pdf/exhibition/HYL%20technology%20for%20India%20-%20S&M%20Conf.pdf>
52. THE MIDREX (2013). *World Direct Reduction statistics 2012*  
Pagina web (Visitado el 2014-05-12):  
<http://www.midrex.com/uploads/documents/MDX%20STATS%202012%207-3-13Final.pdf>
53. PELLETS DE MINERAL DE HIERRO ENERGIZADOS PARA REDUCCIÓN DIRECTA Y PRODUCCIÓN DE HIERRO ESPONJA  
Pagina web (Visitado el 2013-05-27):  
[http://www.combustionindustrial.com/img/PELLETS\\_DE\\_MINERAL\\_DE\\_HIERRO\\_ENERGIZADOS.pdf](http://www.combustionindustrial.com/img/PELLETS_DE_MINERAL_DE_HIERRO_ENERGIZADOS.pdf)
54. THE MIDREX (2013). *Process*  
Pagina web (Visitado el 2014-05-12):  
<http://www.midrex.com/uploads/documents/Midrex%20Process%20Brochure%20Dec%202012.pdf>
55. ARZOLA, M., ESPINOZA, E., RODRIGUEZ, A., MENDEZ, M. (2013). *Mercado tecnológico del proceso de producción de hierro de reducción directa: Caso SIDOR c.a.* COPÉRNICO Revista arbitrada de divulgación científica  
Pagina web (Visitado el 2014-05-12):  
[http://copernico.uneg.edu.ve/numeros/c16/c16\\_art01.pdf](http://copernico.uneg.edu.ve/numeros/c16/c16_art01.pdf)
56. MORALES, R., PRENZEL, M. (2002). *Flexible and Reliable direct reduction plants the key for economic DRI/HBI production.* XXXII ABM Iron-making Seminar  
Pagina web (Visitado el 2014-08-08):  
[http://www.market-ing.com.mx/anexos/ABM\\_FS\\_Paper.pdf](http://www.market-ing.com.mx/anexos/ABM_FS_Paper.pdf)

57. BERENGUEL, A. (2008). *Diseño de un modelo de gestión para el taller zonal de laminación en caliente de la siderúrgica del Orinoco Alfredo Maneiro C.A (SIDOR)*. Trabajo de Grado Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”.
- Página web (Visitado el 2014-05- 03):
- <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/disenomodelogestiontallerzonal-laminacion-caliente-sidor/disenomodelogestiontallerzonal-laminacion-caliente-sidor.pdf>
58. BERGES, M. (2010). *Optimización energética del proceso de reformado de metano con captura in situ de CO2*. Máster Universitario en Energías Renovables y Eficiencia Energética-Universidad de Zaragoza.
- Página web (Visitado el 2014-02- 07):
- [http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUITIZ/2010/4913/TAZ-TFM-2010-016\\_ANE.pdf](http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUITIZ/2010/4913/TAZ-TFM-2010-016_ANE.pdf)
59. FUENMAYOR, Y. (2006). *Modelo matemático – financiero para decisiones de inversión en el subsector de producción de briquetas en ciudad Guayana, en el estado Bolívar, Venezuela*. Trabajo de grado Universidad Nacional Experimental de Guayana.
- Página web (Visitado el 2014-01- 27):
- [http://www.cidar.uneg.edu.ve/DB/bcuneg/EDOCS/TESIS/TESIS\\_POSTGRADO/MAESTRIAS/FINANZAS/TGMHGF84Y882006YusiVictor.pdf](http://www.cidar.uneg.edu.ve/DB/bcuneg/EDOCS/TESIS/TESIS_POSTGRADO/MAESTRIAS/FINANZAS/TGMHGF84Y882006YusiVictor.pdf)
60. PROINVERSION. *Agencia de Promoción de la inversión Privada – Perú*.
- Página web (Visitado el 2014 -06-09):
- <http://www.proyectosapp.pe/modulos/JER/PlantillaProyecto.aspx?ARE=0&PFL=2&JER=5675>
61. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. *Avances del Proyecto de Gasoducto del Sur*
- Página web (Visitado el 2014 -05-19):
- [http://www.diadelaenergia.com/presentaciones/edwin\\_quintanilla.pdf](http://www.diadelaenergia.com/presentaciones/edwin_quintanilla.pdf)
- GAMARRA, PEDRO. *Sector minera- energético Cusco*
- Página web (Visitado el 2014 -03-12):
- [http://www.confiep.org.pe/facipub/upload/publicaciones/1/2211/pedro-sanchez\\_sector\\_minero.pdf](http://www.confiep.org.pe/facipub/upload/publicaciones/1/2211/pedro-sanchez_sector_minero.pdf)
62. PROINVERSION. *Seguridad Energética del País y Desarrollo del Gasoducto Sur Peruano*

Página web (Visitado el 2014 -01-02):

[http://www.proinversion.gob.pe/RepositorioAPS/0/2/JER/PC\\_H\\_SEGURIDAD/PPT\\_WEB\\_MAR2014.pdf](http://www.proinversion.gob.pe/RepositorioAPS/0/2/JER/PC_H_SEGURIDAD/PPT_WEB_MAR2014.pdf)

63. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. *Ventajas del uso de gas natural-Sector Industrial. (2011).*

Página web (Visitado el 2014 -03-19):

<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgh/publicaciones/gasnatural/gasindustrial.pdf>

64. PETROLEO GAS & NEGOCIO. *CAMISEA 8 años después.*

Página web (Visitado el 2014 -01-27):

<http://es.calameo.com/read/000557383aed2c99dcc96>

65. MAYORGA, E. (2013). *Revaluando los proyectos petroquímicos en el Perú*, pág. 35.

66. MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ILO. *Reglamento de zonificación urbana. (2011).* Ordenanza Municipal N° 187-2002—MPI

67. PROVINCIA DE ILO. *Historia (2011).*

Página web (Visitado el 2014-02-01):

[http://es.wikipedia.org/wiki/Provincia\\_de\\_Ilo](http://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Ilo)

68. CHEMICAL ENGINEERING. (2014), Volumen 121 N° 4, pag.84.

69. EMISION DE FUNDICIONES FERROSAS. *Guía sectorial para el suministro de información al Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes*

Página web (Visitado el 2014 -07-14):

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:W5cpxxAsAU YJ:sinia.minam.gob.pe/admDocumento.php%3Faccion%3Dbajar%26docadjunto%3D2521+%&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe>

70. PETROLEO gas & negocios. *¿Petroquímica en Perú?* (2013), Edición N°48, pág. 33.

71. PARASKEVAIDIS, J. *Technical Dictionary of the Petroleum and Gas Industry (2010).*