

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



EVALUACIÓN DE UN COMPLEJO DE PRODUCCIÓN DE
FERTILIZANTES DE ORIGEN FOSFATADO EN EL
VALLE MANTARO - REGIÓN JUNÍN

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO PETROQUÍMICO

ELABORADO POR
JESSE NENCY ZORRILLA PARIACHI

PROMOCIÓN: 2011-II

LIMA - PERÚ

2014

Dedico este pequeño trabajo
a mi querida familia,
Jorge, Clotilde,
Braulio y Olafito.

Mi enorme agradecimiento
a las personas que
me apoyaron con su
granito de arena.

SUMARIO

Actualmente, al año 2013, el Perú exporta importantes cantidades de roca fosfórica que posteriormente retorna como fertilizante fosfatado, tal es así que el valor CIF de importaciones al año 2006 fue del 16.64 MMUS\$ y al año 2012 fue de 122.33 MMUS\$, lo cual representa alrededor de 200 MTM de fertilizantes importados. Siendo este un importante capital de trabajo que sale del país, se presenta la oportunidad de desarrollar la industria en la producción de fertilizantes fosfatados de procedencia nacional. En ese sentido, se investigó la posible ubicación de un complejo de fertilizantes fosfatados de acuerdo a las materias primas necesarias, resultando idóneo el Valle del Mantaro por contar con el Proyecto Fosfatos Mantaro de procesamiento de Roca Fosfórica, así como a la cercanía del importante insumo gaseoso, el Gas Natural de Camisea, perteneciente al Proyecto Derivación Principal Ayacucho y por último el Ácido Sulfúrico proveniente del Complejo Metalúrgico Doe Run Perú (La Oroya) y de la Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A. (Lima). Con la materia prima identificada, se realizó el Estudio de Mercado nacional e internacional para los posibles productos a obtener, resultando viable la producción Monofosfato de Amonio y Difosfato de Amonio que abastezca en su totalidad al mercado nacional con 355 MTM anuales y un 35% de la demanda total sudamericana equivalentes a 1,120 MTM anuales de ambos fertilizantes. Posteriormente se realizó la Evaluación Técnica de los procesos involucrados donde se determinó favorablemente las 3 licenciantes de tecnología idóneas para el tipo de materia prima disponible. Establecidas las licenciantes, se realizó el balance de materia y energía pudiendo establecer las cantidades de materia prima a utilizar, a su vez también se determinó que la cantidad disponible de Ácido Sulfúrico solo cubriría una tercera parte de lo demandado por el Complejo. Por otro lado, respecto a la Evaluación Económica se estimó una inversión aproximada de 1,250 MMUS\$, con un TIR de 15.72% y VAN de 393.98 MMUS\$, en el mejor de los escenarios, representando una atractiva oportunidad de inversión. En relación a la Evaluación Ambiental, se identificó la Legislación aplicable al

Complejo, a su vez se cuantificó los posibles impactos de los procesos involucrados resaltando un incremento del 1.12% anual en la emisión de CO₂ y producción de más de 8 MMTM anuales de fosfoyeso como subproducto. Finalmente, la implementación del Complejo de fertilizantes en el Valle Mantaro, región Junín, es posible bajo condiciones de suministro de fertilizantes al mercado nacional de 55 MTM/año de Fosfato Monoamónico y 300 MTM/año de Fosfato Diamónico, sin necesidad de abastecer el mercado regional; con precios de Gas Natural a 4.4912 US\$/MMBTU, roca fosfórica a 90 US\$/TM, ácido sulfúrico a 50 US\$/TM y el precio de los fertilizantes fosfatados a 730 US\$/TM; en ese sentido, los indicadores económicos dieron como resultado un TIR de 12.63%, un VAN de 112.59 MMUS\$ y un Payback de 4 años, para un CAPEX de 539 MMUS\$, a un costo de oportunidad de 12% y con la exoneración en el pago de regalías del Gas Natural en boca de pozo.

TÍTULO DE TESIS

EVALUACIÓN DE UN COMPLEJO DE PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTES DE ORIGEN FOSFATADO EN EL VALLE MANTARO - REGIÓN JUNÍN

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Antecedentes del Problema	1
1.2. Formulación del Problema	2
1.3. Justificación.....	3
1.3.1. Reservas de Roca Fosfórica.....	3
1.3.2. Estado actual del complejo metalúrgico Doe Run Perú en la Oroya y de la Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A., producción de Ácido Sulfúrico.	5
1.3.3. Disponibilidad de Gas Natural y Distancia entre el ducto Camisea-Pisco y el proyecto Fosfatos Mantaro: Derivación Principal Ayacucho	7
1.3.4. Breve Estudio de Mercado respecto a la demanda nacional y precios internacionales	10
1.3.5. La Línea Férrea Central para sacar los productos a la costa	12
1.4. Objetivo General y Específico	14
1.4.1. Objetivo General	14
1.4.2. Objetivos Específicos.....	14
1.5. Hipótesis General.....	14
1.6. Matriz de Consistencia	15
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1. La Roca Fosfórica y sus Derivados. Usos y características.	16
2.1.1. El Fósforo: principal nutriente. Breve historia.....	16
2.1.2. Roca Fosfórica.....	17
2.1.3. Rocas Fosfóricas como Materia prima para Procesos Industriales.....	17

2.1.4. Caracterización Mineralógica de las Rocas Fosfóricas.....	20
2.1.4.1. Apatitas sedimentarias	20
2.1.4.2. Apatitas ígneas.....	21
2.1.4.3. Otros minerales en las Rocas Fosfóricas	21
2.2. Mercado de la Roca Fosfórica y sus Principales Derivados.....	22
2.2.1. Internacional	22
2.2.1.1. Demanda Mundial	22
2.2.1.2. Oferta Mundial: Capacidad Mundial y Producción de Roca Fosfórica	23
2.2.1.3. Reservas Mundiales de Roca Fosfórica	23
2.2.1.4. Recursos mundiales	25
2.2.2. Nacional.....	25
2.2.2.1. Demanda Nacional	25
2.2.2.2. Oferta Nacional.....	27
2.2.2.3. Reserva Nacional	27
a. Yacimiento de Fosfatos en el Valle Mantaro.....	27
b. Yacimiento de Fosfatos de Bayóvar	32
2.2.3. Demanda Regional de MAP y DAP	33
2.2.3.1. Importación del MAP en la Región Sudamericana	33
2.2.3.2. Producción del MAP en la Región Sudamérica	34
2.2.3.3. Importación del DAP en la Región Sudamérica	35
2.2.3.4. Producción del DAP en la Región Sudamérica	36
2.2.3.5. Producción e Importación del MAP y DAP en la Región Sudamérica	36
2.3. Mercado del Gas Natural	39
2.3.1. Demanda Nacional	39
2.3.2. Oferta Nacional.....	41
2.3.3. Reservas de Gas Natural.....	43
2.3.4. Precios del Gas Natural	43
2.4. Mercado del Ácido Sulfúrico.....	45
2.4.1. Demanda Nacional	45
2.4.2. Oferta Nacional	46
2.4.3. Reservas Nacionales	48
2.4.3.1. Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A.....	48
2.4.3.2. Complejo Metalúrgico Doe Run Perú (DRP)	49

2.4.3.3.	Proyecto Modernización Refinería Talara (PMRT) Petróleos del Perú S.A.	50
2.4.3.4.	Procesadora Industrial Río Seco	51
2.4.3.5.	Southern Cooper Corporation	52
2.4.4.	Precio del Ácido Sulfúrico	52
2.5.	Demanda del Mercado Nacional de Productos Fosfatados Finales	53
2.5.1.	Importación de Superfosfatos	55
2.5.2.	Importación de Ácido Fosfórico (85%)	56
2.5.3.	Importación de Fosfato Monoamónico (MAP)	57
2.5.4.	Importación de Fosfato Diamónico (DAP)	59
2.6.	Demanda del Sector Agrícola	60
2.6.1.	Importación de Fertilizantes en el Sector Agrícola	62
2.6.2.	Importación registrada en SUNAT-Operatividad Aduanera y el MINAGRI	63
2.6.3.	Precios Nacionales de los Fertilizantes Importados	65
2.6.4.	Precios Internacionales de los Fertilizantes Importados	67
2.6.5.	Precios de los Fertilizantes en el Mercado Regional	70
2.7.	Ruta de Comercialización Actual de Fertilizantes Fosfatados	70
2.8.	Evaluación Técnica de los Procesos Industriales	71
2.8.1.	Elaboración de Amoníaco	71
2.8.1.1.	Licenciantes de la Tecnología	71
2.8.1.2.	Descripción del Proceso de Amoníaco	72
a.	Proceso de Preparación del Gas de Síntesis	72
b.	Steam Reforming	75
c.	Procesamiento de Gas en Hidrógeno Puro	77
d.	Síntesis de Amoníaco	80
e.	Tecnología de la Síntesis del Amoníaco	83
2.8.1.3.	Comparación entre las licenciantes	85
2.8.1.4.	Economía de la Producción de Amoníaco	87
2.8.2.	Elaboración de Ácido Fosfórico: Proceso Húmedo (<i>Wet Process</i>)	87
2.8.2.1.	Química del Proceso Húmedo	88
2.8.2.2.	Tipos de Proceso Húmedo	89
2.8.2.3.	Descripción del Proceso Dihidrato	91

a.	Selección de la roca fosfórica	91
b.	Recepción y Almacenamiento.....	95
c.	Molienda de la Roca y su Preparación	95
d.	Fuente de Ácido Sulfúrico.....	96
e.	Sistema de Reacción	96
f.	Tiempo de reacción y tiempo de retención	100
g.	Filtración	101
h.	La concentración y la clarificación.	103
i.	Utilización de lodos.....	105
2.8.2.4.	Diferencias entre los procesos:	105
2.8.3.	Elaboración de Fosfato Monoamónico (MAP) y Fosfato Diamónico (DAP)	107
2.8.3.1.	Licenciantes de la tecnología	107
2.8.3.2.	Descripción del Proceso:.....	108
a.	Fundamentos de los Fosfatos de Amonio.....	108
b.	Proceso Básico TVA.....	109
c.	Tecnología del Proceso Uhde GmbH de Reactor Tubular.....	111
2.9.	Evaluación Económica	116
2.9.1.	Método y conceptos económicos.....	116
2.9.1.1.	Valor Actual Neto (V.A.N.).....	116
2.9.1.2.	Tasa Interna de Retorno (T.I.R.).....	116
2.9.1.3.	Payback.....	116
2.10.	Proyección del Mercado.....	117
2.11.	Aspectos técnicos	117
2.11.1.	Elección de Tecnología	117
2.11.2.	Elección de Tamaño de Planta	117
2.12.	Evaluación Ambiental.....	118
2.13.	Bases Legales.....	118
2.13.1.	Ley N° 29970	118
2.13.2.	Aspectos relevantes de la Resolución Suprema N° 053-2013-EM	122
3.	CAPÍTULO III: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	126
3.1.	Proyección del Mercado de los fertilizantes fosfatados.....	126

3.1.1. Proyección de Importación de Superfosfatos en el Perú	126
3.1.2. Proyección de Importación de Ácido Fosfórico en el Perú.....	126
3.1.3. Proyección de Importación del Fosfato Monoamónico (MAP) en el Perú	127
3.1.4. Proyección de Importación del Fosfato Diamónico (DAP) en el Perú	128
3.1.5. Proyección de la Demanda Regional Sudamérica.....	128
3.2. Ubicación y características del Complejo.....	129
3.3. Elección del tamaño de planta	134
3.4. Elección de los Procesos Industriales	134
3.4.1. Planta de Ácido Fosfórico	134
3.4.2. Planta de Amoníaco.....	135
3.4.3. Planta de Fosfatos de Amonio: MAP y DAP	136
3.5. Balances de Materia y Energía de los Procesos Industriales.....	137
3.5.1. Planta de Ácido Fosfórico	137
3.5.2. Planta de Amoníaco.....	138
3.5.3. Planta de Fosfatos de Amonio: MAP y DAP	139
3.5.4. Balance General del Complejo	140
3.6. Ruta propuesta para la distribución nacional de productos finales	141
3.7. Evaluación Económica	142
3.7.1. Precios de la Materia Prima y Productos Finales.....	143
3.7.1.1. Precio del Gas Natural	143
3.7.1.2. Precio de la Roca Fosfórica Concentrada	147
3.7.1.3. Precio del Ácido Sulfúrico.....	147
3.7.1.4. Precio del MAP y DAP.....	147
3.7.2. Estimaciones globales	148
3.7.2.1. Flujo de Caja del Escenario 1	154
3.7.2.2. Flujo de Caja del Escenario 2.....	159
3.7.2.3. Flujo de Caja del Escenario 3.....	165
3.8. Evaluación Ambiental.....	171
3.8.1. Legislación Ambiental aplicable al Complejo	171
3.8.2. Aspectos Sociales.....	173
3.8.3. Aspectos Ambientales de los Procesos Involucrados.....	174
3.8.3.1. En la Producción de Amoníaco	174

3.8.3.2. En la Producción de Ácido Fosfórico.....	176
4. CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	178
4.1. Conclusiones.....	178
4.2. Recomendaciones.....	181
5. CAPÍTULO V: BIBLIOGRAFÍA.....	183
6. ANEXO I: Glosario y Definiciones.....	189
7. ANEXO II: Cálculo Tarifario del Gas Natural	197

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1 Proyectos involucrados	3
Cuadro 1.2 Fertilizantes Fosfatados	10
Cuadro 1.3 Importación de Productos Fosfatados (TM)	10
Cuadro 1.4 Valor CIF de la Importación de Productos Fosfatados (MMUS\$)...	11
Cuadro 2.1 Producción Anual Mundial y Reservas de Roca Fosfórica (MTM) .	24
Cuadro 2.2 Balanza Comercial de Roca Fosfórica en Perú (TM)	26
Cuadro 2.3 Potencial de las Reservas del Proyecto Fosfatos Mantaro	29
Cuadro 2.4 Balance Regional Sudamérica	38
Cuadro 2.5 Demanda Interna Anual de Gas Natural 2004 - 2013	40
Cuadro 2.6 Oferta Nacional de Gas Natural 2004 - 2013	41
Cuadro 2.7 Balance de Producción del Gas Natural 2004 - 2013* (MMPCD) ..	42
Cuadro 2.8 Reservas de Gas Natural al 2012	43
Cuadro 2.9 Reporte del Precio de Gas Natural de Uso Industrial (Categoría E) Mes de Abril 2013	45
Cuadro 2.10 Categoría Tarifaria de Calidda	45
Cuadro 2.11 Demanda Anual Interna del Ácido Sulfúrico 2006 - 2012.....	46
Cuadro 2.12 Producción Anual Interna de Ácido Sulfúrico 2006 - 2012	47
Cuadro 2.13 Producción Anual de Ácido Sulfúrico Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A. (2006 - 2012)	49
Cuadro 2.14 Precio del Ácido Sulfúrico 2006 - 2012 (US\$/TM).....	53
Cuadro 2.15 Importación Anual de Productos Fosfatados (TM) 1996 - 2012.....	54
Cuadro 2.16 Importación Anual de Superfosfatos. 1996 - 2012	55
Cuadro 2.17 Importación Anual de Ácido Fosfórico. 1996 - 2012.....	56
Cuadro 2.18 Importación Anual de Fosfato Monoamónico (MAP) 1996 - 2012.....	58
Cuadro 2.19 Importación Anual de Fosfato Diamónico (DAP) 1996 - 2012.....	59

Cuadro 2.20 Siembras de los Principales Cultivos, según Zonas Geográficas 2008 - 2013, en Ha	61
Cuadro 2.21 Importación Anual por Tipo de Fertilizante. 2010 - 2012, TM	62
Cuadro 2.22 Importación de SUNAT-Operatividad Aduanera vs Demanda MINAGRI (TM) 2010 - 2012.....	64
Cuadro 2.23 Precio Promedio de Venta de Principales Fertilizantes Químicos	66
Cuadro 2.24 Precio Internacional DAP y SP desde octubre de 2012 a noviembre de 2013 US\$/TM.....	68
Cuadro 2.25 Margen Comercial Bruto por Región para el DAP y SPT Octubre 2013	69
Cuadro 2.26 Precios CIF de Fertilizantes en Chile US\$/TM	70
Cuadro 2.27 Precio FOB del DAP en Colombia US\$/TM	70
Cuadro 2.28 Ruta de Comercialización Actual de los Fertilizantes.....	71
Cuadro 2.29 Materias Primas y Procesos para la Generación de Hidrógeno	73
Cuadro 2.30 Contenido en Equilibrio de Amoníaco para un Gas Conteniendo una Relación Hidrógeno:Nitrógeno de 3:1	82
Cuadro 2.31 Comparación de Licenciantes de Producción de Amoníaco	86
Cuadro 2.32 Economía de la Producción de Amoníaco	87
Cuadro 2.33 Análisis Típico de Rocas Fosfóricas Comerciales.....	92
Cuadro 2.34 Consumo de Roca Fosfórica en función su Calidad.....	93
Cuadro 2.35 Cálculo de H ₂ SO ₄ Requerido por TM de P ₂ O ₅ Recuperado como Ácido Fosfórico Usando el Análisis Promedio de Rocas Fosfóricas	94
Cuadro 2.36 Consumo de H ₂ SO ₄ para Diferentes Grados de Roca Fosfórica.....	94
Cuadro 2.37 Consumo de H ₂ SO ₄ para diferentes Grados de Roca Fosfórica.....	103
Cuadro 2.38 Diferencias entre los Procesos.....	106

Cuadro 2.39 Contenido Nutritivo de Fosfatos de Amonio Puros.....	108
Cuadro 2.40 Parámetros del Proceso Uhde GmbH	113
Cuadro 2.41 Diferencia en el contenido nutritivo de Fosfato de Amonio Puro	115
Cuadro 3.1 Estimación del 35% de Cuota Anual de la Demanda Regional	129
Cuadro 3.2 Demanda estimada de Productos Fosfatados	134
Cuadro 3.3 Consumo de Materia Prima por TM de Ácido Fosfórico.....	138
Cuadro 3.4 Consumo de Materia Prima por TM de Ácido Fosfórico.....	139
Cuadro 3.5 Consumo de Productos Intermedios por TM de MAP y DAP	139
Cuadro 3.6 Balance General del Complejo.....	140
Cuadro 3.7 Reporte del Precio de Gas Natural Categoría E para el Complejo.....	146
Cuadro 3.8 Resumen de precios de Insumos y Productos	147
Cuadro 3.9 Índice de Costo de Plantas CEPCI.....	148
Cuadro 3.10 Plantas Referenciales	148
Cuadro 3.11 Cálculo del CAPEX	149
Cuadro 3.12 Costo Fijo por Año del Escenario 1	154
Cuadro 3.13 Costo Variable por Año del Escenario 1.....	154
Cuadro 3.14 Cálculos Económicos del Escenario 1	155
Cuadro 3.15 Flujo de Caja Económico del Escenario 1 (cifras en MMUS\$).....	156
Cuadro 3.16 Sensibilidad de los Precios de la Materia Prima del Escenario 1	158
Cuadro 3.17 Sensibilidad de la Capacidad de Producción del Escenario 1	158
Cuadro 3.18 Sensibilidad de los Precios de los Productos del Escenario 1	159
Cuadro 3.19 Costo Fijo por Año del Escenario 2.....	160
Cuadro 3.20 Costo Variable por Año del Escenario 2.....	160
Cuadro 3.21 Cálculos Económicos del Escenario 2	161

Cuadro 3.22 Flujo de Caja Económico del Escenario 2 (cifras en MMUS\$).....	162
Cuadro 3.23 Sensibilidad de los Precios de la Materia Prima del Escenario 2.....	164
Cuadro 3.24 Sensibilidad de la Capacidad de Producción del Escenario 2.....	164
Cuadro 3.25 Sensibilidad de los Precios de los Productos Escenario 2.....	165
Cuadro 3.26 Reporte del Precio de Gas Natural Categoría E para el Complejo - Escenario 3.....	166
Cuadro 3.27 Costo Fijo por Año del Escenario 3.....	166
Cuadro 3.28 Costo Variable por Año del Escenario 3.....	166
Cuadro 3.29 Cálculos Económicos del Escenario 3.....	167
Cuadro 3.30 Flujo de Caja Económico del Escenario 3 (cifras en MMUS\$).....	168
Cuadro 3.31 Sensibilidad de los Precios de la Materia Prima del Escenario 3.....	170
Cuadro 3.32 Sensibilidad de la Capacidad de Producción del Escenario 3.....	170
Cuadro 3.33 Sensibilidad de los Precios de los Productos del Escenario 3.....	171
Cuadro 3.34 Legislación Ambiental aplicable al Complejo.....	172
Cuadro 3.35 Identificación de Impactos Ambientales.....	174
Cuadro 3.36 Factor de Emisión para la producción de Metanol (TM CO ₂ por GJ de energía consumida).....	175
Cuadro 4.1 Procesos y Licenciantes elegidos.....	179
Cuadro 4.2 Resultado de Escenarios Evaluados.....	180

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 Panorama General del Proyecto Fosfatos Mantaro y del Complejo de Producción de Fertilizantes de Origen Fosfatado en el Valle Mantaro	4
Gráfico 1.2 Complejo Metalúrgico Doe Run Perú, La Oroya, Junín.....	6
Gráfico 1.3 Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A.	7
Gráfico 1.4 Proyecto Derivación Principal Ayacucho	9
Gráfico 1.5 Importación de Productos Fosfatados 1996 - 2012.....	11
Gráfico 1.6 Sistema de Ferrocarril Central Andino.....	12
Gráfico 1.7 Trayecto del Sistema de Ferrocarril Central Andino.....	13
Gráfico 2.1 Flujo de Producción de Fertilizantes NPK	18
Gráfico 2.2 Depósitos Económicos y Potencialmente Económicos	25
Gráfico 2.3 Balanza Comercial de Roca Fosfórica en Perú.....	26
Gráfico 2.4 Planta Concentrados Fosfatos Bayóvar	27
Gráfico 2.5 Ubicación del Proyecto Fosfatos Mantaro	28
Gráfico 2.6 Propiedad del Mantaro (plano parcial).....	29
Gráfico 2.7 Muestra representativa de la estructura sinclinal.....	30
Gráfico 2.8 Torres de Transmisión Eléctrica que atraviesan las Reservas de Fosfato Mantaro.....	31
Gráfico 2.9 Perfil Litológico de las Reservas Fosfatos Mantaro.....	32
Gráfico 2.10 Mapa General del Yacimiento Fosfatos Bayovar.....	33
Gráfico 2.12 Importación de MAP en la Región Sudamérica(TM)	34
Gráfico 2.13 Producción Anual en la Región Sudamérica (Colombia y Brasil)	35
Gráfico 2.14 Importación de DAP en la Región Sudamérica (TM).....	35
Gráfico 2.15 Producción Regional de DAP	36
Gráfico 2.16 Demanda Regional Anual de MAP y DAP (TM)	37
Gráfico 2.17 Cuota de Importación Anual de MAP y DAP (%).....	37
Gráfico 2.18 Balance Regional Sudamérica de MAP.....	38
Gráfico 2.19 Balance Regional Sudamérica de DAP.....	39

Gráfico 2.20 Demanda Interna Anual de Gas Natural 2004 - 2013*	40
Gráfico 2.21 Producción (Oferta) Nacional de Gas Natural 2004 - 2013*	41
Gráfico 2.22 Balance de Producción del Gas Natural 2004 - 2013*	42
Gráfico 2.23 Yacimiento Camisea - Lote 56 y 88.....	43
Gráfico 2.24 Estructura de Comercialización del Gas Natural	44
Gráfico 2.25 Demanda Anual Interna del Ácido Sulfúrico (TM)	46
Gráfico 2.26 Producción Anual Interna de Ácido Sulfúrico 2006 - 2012	47
Gráfico 2.27 Balanza Comercial Anual del Ácido Sulfúrico.....	48
Gráfico 2.28 Producción Anual de Ácido Sulfúrico Refinería Votorantim Metals Cajamarquilla S.A. 2006 - 2012.....	49
Gráfico 2.29 Complejo Metalúrgico Doe Run Perú, La Oroya, Junín.....	50
Gráfico 2.30 Precio del Ácido Sulfúrico 2006 - 2012.....	53
Gráfico 2.31 Importación Anual de Productos Fosfatados (TM) 1996 - 2012 ...	54
Gráfico 2.32 Importación Anual de Superfosfatos. 1996 - 2012	56
Gráfico 2.33 Importación Anual de Ácido Fosfórico. 1996 - 2012.....	57
Gráfico 2.34 Importación Anual de Fosfato Monoamónico (MAP). 1996 - 2012.....	58
Gráfico 2.35 Importación Anual de Fosfato Diamónico (DAP). 1996 - 2012	60
Gráfico 2.36 Siembras de los Principales Cultivos, según Zonas Geográficas y Regiones Agosto 2008 a enero 2013, en Ha	61
Gráfico 2.37 Hectáreas Sembradas en el Período agosto-enero 2012-2013p/.....	62
Gráfico 2.38 Importación Anual por tipo de Fertilizante 2010-2012	63
Gráfico 2.39 Importación de SUNAT vs Demanda MINAG. 2010 - 2012.....	64
Gráfico 2.40 Evolución de Precios Internacionales del DAP y SP. marzo 2003 – noviembre 2013	67
Gráfico 2.41 Precio Internacional DAP y SP desde el año 2012 a noviembre de 2013	68
Gráfico 2.42 Diagrama de Flujo Simplificado de la Producción de Amoniaco.....	74

Gráfico 2.43 El Amoniaco en el gas de salida como una función de la velocidad espacial.....	82
Gráfico 2.44 Dependencia de la Cristalización del Sulfato de Calcio en la Temperatura y la Concentración del P_2O_5	89
Gráfico 2.45 Proceso Hemidrato.....	90
Gráfico 2.46 Proceso Hemidrato - Dihidrato	91
Gráfico 2.47 Planta Típica de Ácido Fosfórico Proceso Húmedo	97
Gráfico 2.48 Sistema de Reacción Multicompartimental en el Proceso Prayon Mark IV	99
Gráfico 2.49 Sistema de Reacción en el Proceso Rhone Poulenc	100
Gráfico 2.50 Unidad Típica de Concentración de Ácido Fosfórico.....	104
Gráfico 2.51 Proceso TVA DAP	110
Gráfico 2.52 Efecto de la Relación Molar $NH_3:H_3PO_4$ en la Solubilidad de los Fosfatos de Amonio	110
Gráfico 2.53 Reactor Tubular de DAP y MAP con Granulador	113
Gráfico 2.54 Rutas del Gas Natural del Año 2009	120
Gráfico 2.55 Propuesta de la distribución de la Sierra Central.....	120
Gráfico 2.56 Gasoductos Existentes y en Proyecto en el Territorio Peruano del Año 2009	121
Gráfico 2.57 Mapa de Trayectoria del Proyecto Derivación Principal Ayacucho 20 km	125
Gráfico 3.1 Importación Anual de Ácido Fosfórico (70%-80%)	126
Gráfico 3.2 Proyección al 2023 (a 10 años) de la Importación Anual de Ácido Fosfórico (70%-80%)	127
Gráfico 3.3 Proyección al 2023 (a 10 años) de la Importación Anual de Fosfato Monoamónico (MAP)	127
Gráfico 3.4 Proyección al 2023 (a 10 años) de la Importación Anual de Fosfato Diamónico (DAP)	128
Gráfico 3.5 Demanda Regional Anual de MAP y DAP 2002 - 2010.....	129
Gráfico 3.6 Ubicación del Complejo de Producción de Fertilizantes de Origen Fosfatado en el Valle Mantaro	130

Gráfico 3.7 Esquema de Transporte de Gas Natural Camisea - Huancayo....	131
Gráfico 3.8 Ubicación del Complejo en el Valle Mantaro con Primera alternativa de Despacho	132
Gráfico 3.9 Ubicación del del Complejo en el Valle Mantaro con Segunda alternativa de Despacho	133
Gráfico 3.10 Proceso de Elaboración de los Fosfatos Amónicos.....	137
Gráfico 3.11 Balance General del Complejo	141
Gráfico 3.12 Ruta propuesta para la Comercialización de Productos Fosfatados	142
Gráfico 3.13 Modelo CEPCI.....	148
Gráfico 3.14 Cronograma del Plan de Actividades de la Etapa Preoperativa del Complejo de Producción de Fertilizantes de Origen Fosfatado en el Valle Mantaro	153
Gráfico 3.15 Flujo de Caja Económico y Payback del Escenario 1.....	157
Gráfico 3.16 Flujo de Caja Económico y Payback del Escenario 2.....	163
Gráfico 3.17 Flujo de Caja Económico y Payback del Escenario 3.....	169
Gráfico 3.18 Depósito de Fosfoyeso Huelva - España	176

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes del Problema

El Perú importó al año 2012 alrededor de 200 MTM de fertilizantes fosfatados que se tradujeron en 122.33 MMUS\$, que fueron desembolsados por el sector agrario, representando un enorme capital financiero que año a año sale del país.

Se tiene cantidades importantes de roca fosfórica en el desierto de Bayóvar, recurso que es concentrado y enviado como materia prima hacia el exterior. Por otro lado, el Perú es importador de productos finales, tales como el Fosfato Diamónico (DAP), Fosfato Monoamónico (MAP), Superfosfatos Simple (SPS) y Triple (SPT) y Ácido Fosfórico (AF). Ante este panorama, Perú posee una Balanza Comercial Negativa, al depender de manera categórica de las importaciones de este tipo de fertilizantes.

La ausencia de capacidad transformadora, hace posible la fuga de capital peruano hacia el exterior, más aún cuando el consumo es directo y será realizado por la agroindustria, la cual comercializa tanto a nivel nacional e internacional vegetales de alta calidad. A su vez para alcanzar la seguridad alimentaria¹, en países en vías de desarrollo (FAO, 2007), se requiere intensificar de manera sostenible los sistemas de producción agrícola para obtener incrementos en la productividad y generar utilidades económicas. De esta manera impulsar el continuo desarrollo de la agroindustria, debido a que el Fósforo es un elemento nutritivo esencial para las plantas y los animales, primordial en la vida animal y vegetal, nutriente fundamental en el crecimiento de las plantas. El Fósforo también mejora la calidad de frutas y granos, siendo vital para la formación de las semillas. La deficiencia de Fósforo retarda la madurez del cultivo.

¹ Boletín Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, Roma 2007.

Asimismo, para la creciente producción y demanda de biocombustibles en el Perú, lo cual comprende la producción de caña de azúcar a gran escala para la producción del etanol carburante presente en las gasolinas y de la misma manera para la obtención del biodiesel, presente en los combustibles diesel, son obtenidos a base de plantas nutridas con fertilizantes fosfatados.

1.2. Formulación del Problema

En el centro del país, en el departamento de Junín, hay fuentes potenciales energéticas que son administradas de manera independiente y separada, cada una con distintas perspectivas de inversión y desarrollo. Es así, que se tiene cuatro (4) grandes proyectos:

- En primer lugar, el **Proyecto Fosfatos Mantaro** que se ubica a 30 km al norte de la provincia de Huancayo, departamento de Junín. Tiene como objetivo la extracción y concentración del yacimiento de fosfatos más grande en el Perú, que cuenta con reservas superiores a las 1,000 MMTM con leyes entre 10-12%.
- El segundo se sustenta en la Resolución Suprema N° 053-2013-EM, Aprobación de la Adenda al Contrato de BOOT de Concesión de Transporte de Gas Natural de Camisea al City Gate, que permite entre otras disposiciones, la ejecución de las Derivaciones Principales, como Ramales necesarios para suministrar Gas Natural a las ciudades cercanas al recorrido del Sistema de Transporte de Gas. En ese sentido se proyecta construir la **Derivación Principal Ayacucho** que en su primera fase es Ayacucho la primera ciudad beneficiaria, luego de un total de 393 días de trabajo efectivo. Finalizada la primera fase se proyectaría hacia la ciudad de Huancayo-Junín.
- El tercero tiene origen en La Oroya-Junín a aproximadamente 60 km al norte de Huancayo. En este lugar, se encuentra el complejo metalúrgico **Doe Run Perú** que destaca como subproducto al ácido sulfúrico.

- Finalmente el cuarto, la **Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A.** ubicada en las afueras de la ciudad de Lima, 24 km al Este del centro de la misma, también es una fuente importante de ácido sulfúrico.

En el Cuadro 1.1 se presentan los insumos y proyectos cuyas sinergias posibilitarían la producción de fertilizantes fosfatados.

Cuadro 1.1 Proyectos involucrados

Insumo	Proyecto
Roca Fosfórica	Proyecto Fosfatos Mantaro
Gas Natural	Proyecto Derivación Principal Ayacucho
Ácido Sulfúrico	Complejo Metalúrgico Doe Run Perú y la Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A.

En ese sentido se observa un posible panorama industrial en el centro del país, a lo cual surge la interrogante:

- ¿Será posible disminuir las crecientes importaciones de fertilizantes fosfatados en el Perú que generan una balanza comercial negativa en este rubro, poniendo en valor las reservas de fosfatos en la región Junín y el Gas Natural de Camisea?

1.3. Justificación

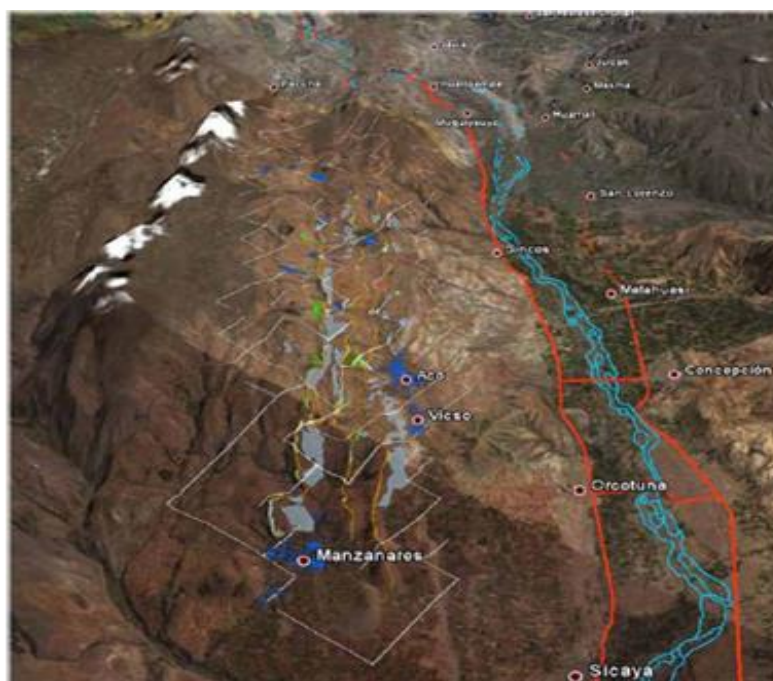
1.3.1. Reservas de Roca Fosfórica

El yacimiento² sedimentario de Fosfatos, descubierto por Mantaro Perú S.A.C. está ubicado a unos 270 km. al Este de Lima, en la región de Junín, a 30 km de la ciudad de Huancayo, entre los distritos de Manzanares y Sincos pertenecientes a las provincias de Concepción y Jauja, respectivamente.

² Artículo publicado por Pedro Olivares, ex gerente de Exploración del Proyecto Fosfatos Mantaro.

La formación del mineral fosfato se encuentra alojada en el Grupo Pucará³, en la formación Aramachay muy cerca al contacto con la formación Condorsinga, de edad Jurásica. La mineralización de los fosfatos se encuentra alojada en 3 zonas, que se extienden paralelamente por al menos 22 km cada una a lo largo del Valle del Mantaro (ver Gráfico 1.1), con un ancho promedio de 25 m y un espesor de 45m, albergando reservas superiores a los 1,000 MMTM y leyes entre 10-12%; hacen de este un megaproyecto único a nivel mundial, que pondría al Perú dentro de los países exportadores de fosfatos.

Gráfico 1.1 Panorama General del Proyecto Fosfatos Mantaro y del Complejo de Producción de Fertilizantes de Origen Fosfatado en el Valle Mantaro



³ Triásico superior-Jurásico inferior está constituido por una secuencia de calizas biomicríticas, dolomíticas con nódulos de chert oscuro.

1.3.2. Estado actual del complejo metalúrgico Doe Run Perú en la Oroya y de la Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A., producción de Ácido Sulfúrico.

Al 05 de julio del año 2013 la Junta de Acreedores de la minera Doe Run Peru SRL (DRP) aprobaron con un 90.26% el plan de reestructuración de los activos de la empresa, que comprenden el Complejo Metalúrgico de La Oroya (CMLO) en Junín, así como los activos en la mina Cobriza en Huancavelica. Este plan de reestructuración busca el financiamiento para implementar una planta de ácido sulfúrico que permita que el circuito de cobre opere con los estándares ambientales requeridos, en tanto este circuito se mantendrá inactivo.

A agosto de 2013, la inversión requerida para completar la modernización del Complejo Metalúrgico de La Oroya ascendería a 768 MMUS\$, según estimaciones de Right Business (RB), encargada de administrar Doe Run durante su proceso de reestructuración.

A junio de 2014, la Junta de Acreedores de la empresa Doe Run dio luz verde a la venta del Complejo Metalúrgico de La Oroya (CMLO) y la mina Cobriza. En una reunión sostenida el 09 de junio de 2014, los acreedores presionaron a la empresa administradora Right Business y consiguieron aprobar el cronograma de venta de ambos activos.

Dicho plan establece que la transacción deberá ser concretada el 8 de diciembre de 2014. El banco de inversión suizo UBS es el encargado de encontrar compradores en Europa, Norteamérica y Asia.

Por otro lado, se debe precisar que el año 2012 se habilitó la planta de plomo del complejo metalúrgico, pero aún están pendientes la de cobre y la planta de ácido sulfúrico.

Una vez en producción el circuito de cobre, la cantidad ácido sulfúrico que podría producirse en este complejo sería de 180 MTM anuales, que podrían

ser transportados mediante la línea férrea por aproximadamente 60 km hacia el complejo de fertilizantes.

Gráfico 1.2 Complejo Metalúrgico Doe Run Perú, La Oroya, Junín.



Por otro lado, la Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A., primera productora de zinc refinado del Perú, produce ácido sulfúrico como subproducto por una cantidad anual mayor a los 420 MTM, los cuales en su integridad son exportados hacia mercados internacionales como Chile, México y Ecuador.

Cabe destacar que, estos productores de ácido sulfúrico están estratégicamente interconectados entre sí, a través del Sistema de Ferrocarril Central.

Gráfico 1.3 Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A.



1.3.3. Disponibilidad de Gas Natural y Distancia entre el ducto Camisea-Pisco y el proyecto Fosfatos Mantaro: Derivación Principal Ayacucho

La construcción de la **Derivación Principal Ayacucho**, su puesta en operación comercial y todo el tratamiento tarifario y de ingresos de la Sociedad Concesionaria, se encuentra regulada en el Anexo B de la Adenda aprobada mediante Resolución Suprema N° 053-2013-EM.

Básicamente el proyecto consiste en construir un gasoducto (denominado Derivación Principal Ayacucho) que suministre de Gas Natural a la ciudad de Ayacucho desde el sistema troncal de TGP cumpliendo con las normativas vigentes para su diseño, construcción y operación. El gasoducto tendrá su inicio en la progresiva kilométrica KP 277+026 del Sistema de Transporte por Ductos, en las cercanías de la Comunidad Campesina Pinao Yantapacha, en el distrito de Chiara, provincia de Huamanga, región de Ayacucho y se extenderá hasta las inmediaciones de la ciudad de Ayacucho, donde se ubicará el correspondiente City Gate, en el cual se realizará la transferencia del gas transportado al distribuidor local.

El diseño comprende un gasoducto de 20 km de longitud con un diámetro de 14" para operar a 140 bar, a lo largo de la traza se instalará una fibra óptica para comunicaciones y detección temprana de fugas, que se conectará al sistema actual de TGP, reportando al Centro de Control de Lurín.

Cabe señalar que este ducto será ampliado hasta Huancayo por 250 km más, pasando por Huanta y otras importantes ciudades del centro del país. Ver Gráfico 1.4.

En ese sentido, contando con el Gas Natural del Lote 88, destinado para consumo nacional, se podría contar con Reservas Probadas de 15.376 TCF al 2012, según el Libro Anual de Reservas de Hidrocarburos publicado por el Ministerio de Energía y Minas.

Gráfico 1.4 Proyecto Derivación Principal Ayacucho



Fuente: MEM, Elaboración propia

1.3.4. Breve Estudio de Mercado respecto a la demanda nacional y precios internacionales

Los productos a obtener en esta tesis de fosfatos serían:

Cuadro 1.2 Fertilizantes Fosfatados

Producto	Acrónimo
Ácido Fosfórico (85% P ₂ O ₅)	AF
Superfosfato Simple	SSP
Superfosfato Triple	TSP
Fosfato de Monoamónico	MAP
Fosfato de Diamónico	DAP

Por lo tanto, el estudio de mercado está dirigido a estos productos, basado en la importación registrada en SUNAT-Operatividad Aduanera:

Cuadro 1.3 Importación de Productos Fosfatados (TM)

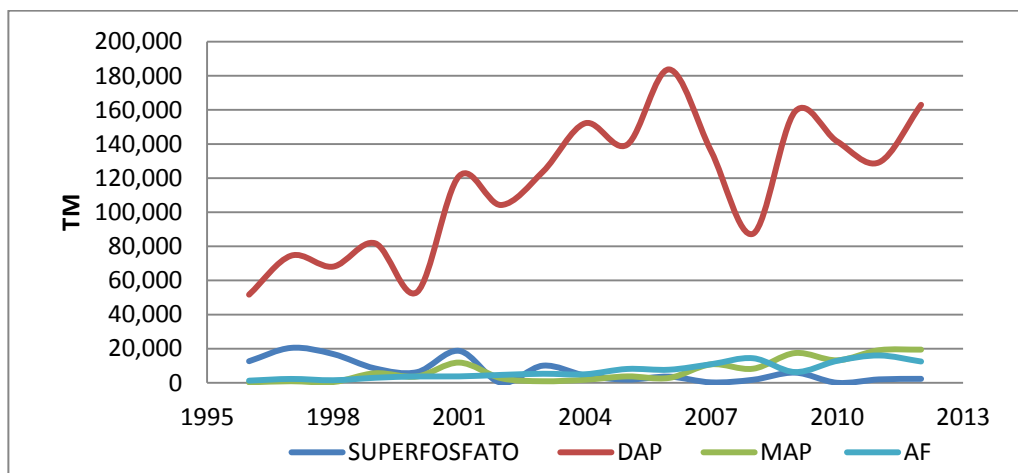
Año	AF	SSP - TSP	MAP	DAP
1996	1,239.59	12,645.42	225.66	51,666.37
1997	2,253.81	20,452.27	907.93	74,510.49
1998	1,489.20	16,874.57	418.51	68,093.31
1999	2,934.91	8,401.28	5,579.27	81,793.58
2000	3,708.29	6,221.74	3,689.40	53,189.32
2001	3,744.19	18,718.50	11,845.84	121,166.51
2002	4,613.83	12.11	2,691.50	104,228.83
2003	5,285.51	10,040.49	902.69	123,855.28
2004	4,989.26	4,290.78	1,769.63	152,169.15
2005	8,101.63	1,871.29	3,742.07	139,576.67
2006	7,654.96	3,606.37	2,849.07	183,752.35
2007	10,873.56	240.00	10,798.24	135,883.47
2008	14,385.07	1,764.72	8,238.66	87,395.83
2009	6,293.69	5,949.35	17,442.67	159,067.96
2010	12,858.50	0.00	13,190.29	141,531.55
2011	16,015.76	1,988.42	19,093.39	129,268.50
2012	12,473.87	2,300.18	19,435.02	162,996.34

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración propia

Como se puede apreciar en el Gráfico 1.5, el Fosfato Diamónico (DAP) destaca en la importación de fertilizantes fosfatados, llegando el año 2006 a bordear las 180 MTM/año, en adición se muestran incrementos anuales de

Fosfato Monoamónico y Ácido Fosfórico, en menor proporción, lo que no sucede con los Superfosfatos.

Gráfico 1.5 Importación de Productos Fosfatados 1996 - 2012



Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración propia

Cuadro 1.4 Valor CIF de la Importación de Productos Fosfatados (MMUS\$)

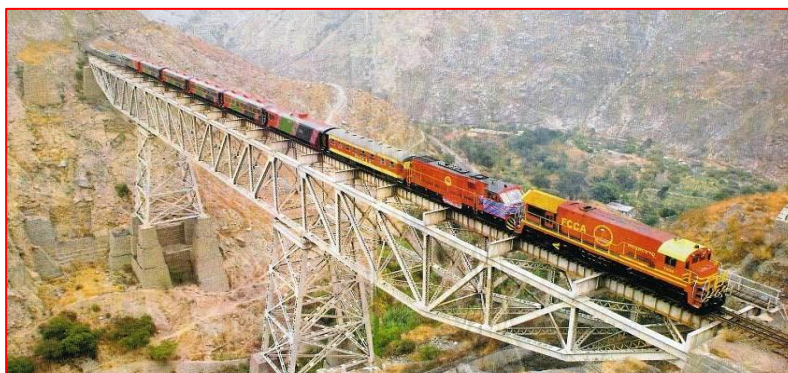
Año	AF	SSP - TSP	MAP	DAP	Total
1996	0.99	2.65	0.17	12.82	16.64
1997	1.71	4.13	0.28	17.29	23.42
1998	1.06	3.39	0.29	15.74	20.49
1999	1.82	1.56	1.68	17.10	22.16
2000	2.08	1.05	0.84	9.30	13.27
2001	1.99	2.95	2.47	21.22	28.63
2002	2.27	0.02	0.68	18.80	21.76
2003	2.45	1.56	0.45	23.62	28.08
2004	2.62	0.93	1.00	38.39	42.93
2005	5.46	0.44	2.79	39.20	47.89
2006	4.78	0.84	1.16	52.97	59.76
2007	6.93	0.11	5.36	62.00	74.39
2008	19.84	1.15	8.35	70.52	99.86
2009	5.80	1.99	7.01	55.31	70.11
2010	11.10	0.00	8.40	72.50	92.01
2011	14.89	0.91	13.85	83.74	113.39
2012	12.50	1.17	13.82	94.83	122.33

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración propia

En los años 2011 y 2012 se apreciaron incrementos de alrededor 23% y 8% respectivamente (Cuadro 1.4); sin embargo para años anteriores el crecimiento promedio se calculó en casi el 30%.

1.3.5. La Línea Férrea Central para sacar los productos a la costa

Gráfico 1.6 Sistema de Ferrocarril Central Andino

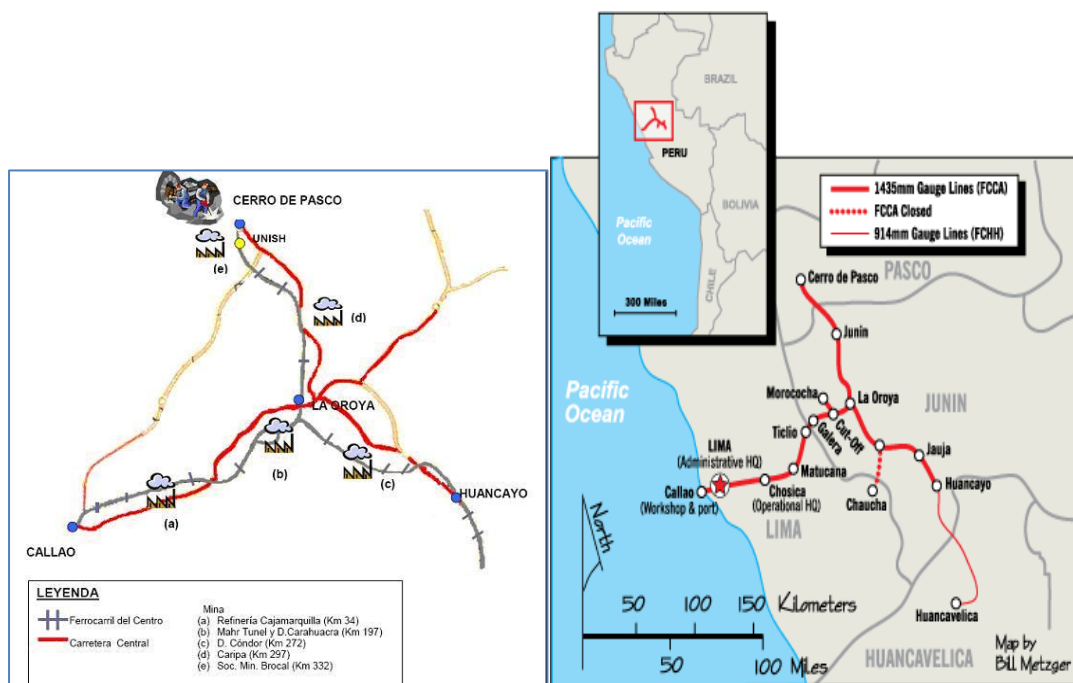


El Ferrocarril Central Andino es el principal medio de transporte de productos minerales en la región central del país, cubre importantes áreas mineras ubicadas en el departamento de Pasco, Junín y Lima. Los principales puntos de embarque de productos mineros son la estación de Cerro de Pasco con destino La Oroya y Patio Central - Callao, y La Oroya con destino Patio Central – Callao.

De acuerdo, al Gráfico 1.7 se puede apreciar que la Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A. posee un desvío en el km 34 del Sistema Ferrocarril Central Andino, mediante el cual dicha refinería canaliza la producción de ácido sulfúrico y demás productos hacia el puerto del Callao.

Por otro lado, el Sistema Ferrocarril Central Andino se encontraría, aproximadamente, a 4.5 km del complejo en el Valle Mantaro.

Gráfico 1.7 Trayecto del Sistema de Ferrocarril Central Andino



Fuente: MTC

Las anteriores justificaciones tales como:

1. Las reservas por encima de 1,000 MMTM de Roca Fosfórica con una ley del 10-12%.
2. La posibilidad de contar con 180 MTM anuales de ácido sulfúrico del complejo metalúrgico Doe Run Perú y eventualmente 420 MTM anuales de la Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A..
3. La posibilidad de construir un gasoducto central que transporte el Gas Natural, contando con las reservas de Gas Natural de Camisea de más de 15 TCF para el consumo nacional.
4. Un mercado creciente de importación de productos fosfatados de más de 122 MMUS\$ al 2012 con un incremento del 8% al 2011 y 20% promedio respecto a los años anteriores.
5. La línea férrea central actual Huancayo Lima y distancia de 12 km de las reservas de Fosfato Mantaro.

Estos justificantes sustentan realizar la presente evaluación de pre-factibilidad.

1.4. Objetivo General y Específico

1.4.1. Objetivo General

- Evaluar la implementación de un Complejo para la producción de fertilizantes fosfatados en el Valle Mantaro, región Junín.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar los aspectos técnicos y económicos para la implementación del complejo de fertilizantes.
- Evaluar el impacto ambiental de los procesos involucrados.

1.5. Hipótesis General

La implementación del Complejo de Producción de Fertilizantes de Origen Fosfatado en el Valle Mantaro estará determinada por la evaluación técnica, económica y ambiental.

1.6. Matriz de Consistencia

	Descripción
Título	Evaluación de un Complejo de Producción de Fertilizantes de Origen Fosfatado en el Valle Mantaro - Región Junín
Problemática	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Será posible disminuir las crecientes importaciones de fertilizantes fosfatados en el Perú que generan una Balanza Comercial Negativa en este rubro, poniendo en valor las reservas de fosfatos en la región Junín y el Gas Natural de Camisea?
Objetivo General	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la implementación de un complejo para la producción de fertilizantes fosfatados en el Valle Mantaro, región Junín.
Objetivos Específicos	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar los aspectos técnicos y económicos para la implementación del complejo de fertilizantes. • Evaluar el impacto ambiental de los procesos involucrados.
Hipótesis	<ul style="list-style-type: none"> • La implementación del Complejo de Producción de Fertilizantes de Origen Fosfatado en el Valle Mantaro estará determinada por la evaluación técnica, económica y ambiental.
Variables	<p>Variables Independientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación Técnica: mediante la información técnica, que consiste en textos técnicos, licenciantes de tecnologías, patentes, investigaciones realizadas anteriormente e información técnica relevante. • Evaluación Económica: mediante el estudio de mercado, proveedores, oferta, demanda, costos en general, etc. • Evaluación Ambiental: a través del análisis de los estudios de los procesos involucrados. <p>Variables Dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementación del Complejo de Producción de Fertilizantes de Origen Fosfatado en el Valle Mantaro, región Junín.
Operacionalización de las variables	Por medio de la Evaluación Técnica, Económica y Ambiental, se obtendrán resultados que servirán para definir si es posible implementar el Complejo de Producción de Fertilizantes de Origen Fosfatado en el Valle Mantaro, región Junín.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. La Roca Fosfórica y sus Derivados. Usos y características.

2.1.1. El Fósforo: principal nutriente. Breve historia.

El Fósforo (P) es uno de los elementos vitales para la agricultura y para la vida en general, ya que compone la cadena alimenticia. En las plantas entra en la composición del fosfolípidos y del ácido nucleico. La falta de fósforo reduce la producción de granos y semillas y su deficiencia disminuye el valor alimenticio de estos. El hombre adquiere el fósforo de las plantas, directa o indirectamente a través de los animales. Normalmente un suelo puede poseer fósforo para sostener la vida vegetal, pero muchas veces éste es insuficiente para suplir la demanda de los cultivos, cada vez con mayor potencial de rendimiento, producto de la investigación y desarrollo en genética vegetal. Por esa razón, el fósforo debe agregarse como fertilizante ya que no hay otra fuente disponible en la naturaleza que, además, reponga el fósforo que se extrae por las cosechas. Asegurar la producción de alimentos para la humanidad actual y la población futura dependerá de los fertilizantes.

La industria transforma las rocas fosfóricas que contienen el fósforo poco soluble, en formas iónicas aprovechables por las plantas que lo absorben del suelo en forma del ión H_2PO_4^- . Por esta importancia, los componentes minerales o materias primas son estratégicos para la industria de fertilizantes. De hecho, el primer fertilizante industrial de la historia, el superfosfato simple se hizo en Inglaterra en 1842. Hacia la mitad del siglo diecinueve el fósforo era el principal nutriente que limitaba la producción agrícola. El origen de la industria de fertilizantes fosfatados proviene de los residuos de la industria frigorífica, cuando Sir John Bennet Lawes de Rothamstead procesó con ácido sulfúrico los restos de las carcasas para transformar el fosfato tricálcico de los huesos. Patentó así la manufactura del superfosfato simple en 1842 e instalando la primera fábrica de producción comercial en Londres al año siguiente. En E.U.A., el fosfato de amonio fue producido por primera vez en

1916; pero fue el proceso económico y eficiente para fabricar ácido fosfórico introducido por Dorr Oliver y el equipo técnico del Tennessee Valley Authority (TVA) al final de 1950 que llevó a convertir el uso en Norteamérica del superfosfato simple a superfosfato triple y luego a los fosfatos de amonio. Los trabajos del TVA en los 50 y 60 en la producción del ácido polifosfórico y procesos relacionados, proveyeron métodos seguros y económicos para producir soluciones y suspensiones con fosfatos.

2.1.2. Roca Fosfórica

Se denomina roca fosfórica al producto obtenido de la extracción de una mina y del procesamiento metalúrgico subsiguiente de los minerales fosfatados. Además del mineral fosfatado principal, los depósitos de roca fosfórica también poseen minerales accesorios e impurezas llamados “ganga”. Tales impurezas incluyen sílice, minerales arcillosos, calcita, dolomita y óxidos hidratados de hierro y aluminio en diversas combinaciones y concentraciones, algunos de los cuales pueden tener gran influencia en la eficiencia de la roca fosfatada utilizada para la aplicación directa. Roca fosfórica es el nombre común comercial de unos 300 fosfatos de diferentes calidades conocidas en el mundo.

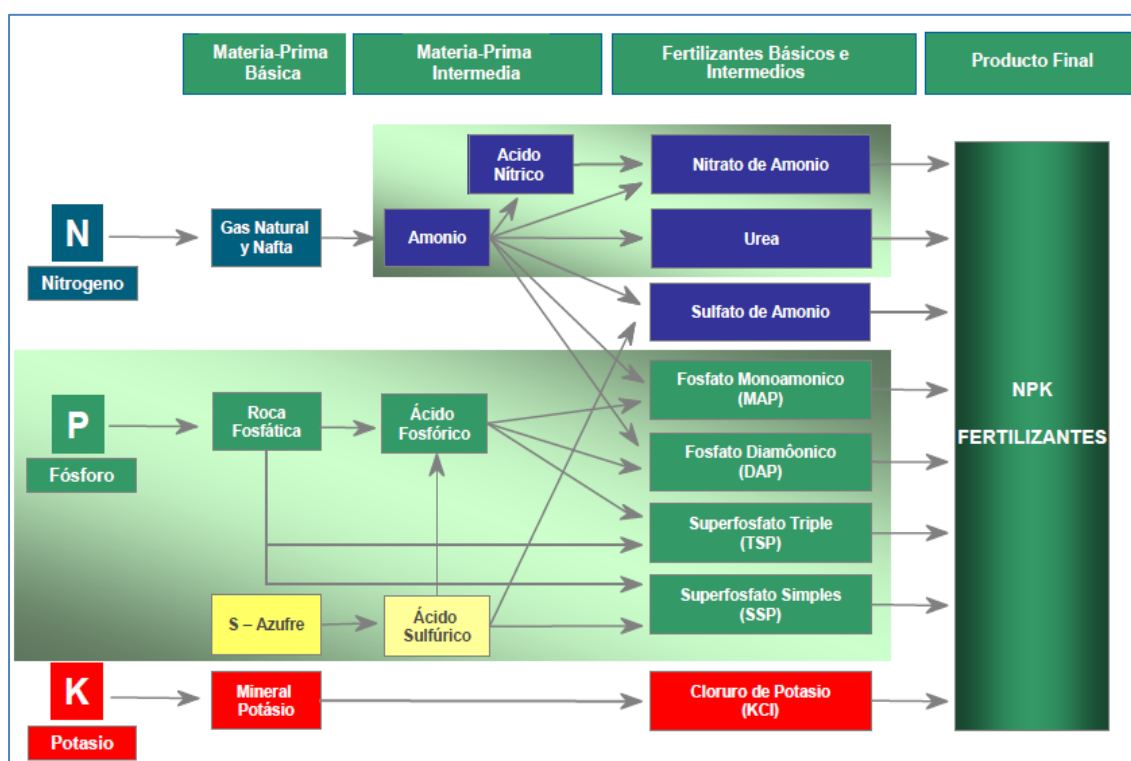
Las rocas fosfóricas pueden ser utilizadas como materia prima para la fabricación industrial de los fertilizantes fosfatados solubles en agua o bien como fuentes de fósforo para la aplicación directa en la agricultura.

2.1.3. Rocas Fosfóricas como Materia prima para Procesos Industriales

La industria mundial de los fosfatos está basada en la explotación de algunos depósitos de rocas fosfóricas. A pesar de su variable composición, son la fuente comercial de fósforo utilizada como materia prima para la fabricación de fertilizantes fosfatados y otros productos químicos.

El ácido sulfúrico y la roca fosfórica son las materias primas para la producción del superfosfato simple y del ácido fosfórico. El ácido fosfórico es un importante producto intermedio para producir el superfosfato triple y los fosfatos de amonio. Los fertilizantes compuestos NPK de alta concentración constituyen actualmente la base principal de la industria mundial de los fertilizantes, tal como se observa en el Gráfico 2.1

Gráfico 2.1 Flujo de Producción de Fertilizantes NPK



Cerca del 80% de la producción mundial de roca fosfórica proviene de los depósitos de origen sedimentario marino, un 17% es de origen ígneo y de sus productos derivados de la meteorización; el resto proviene de los depósitos sedimentarios residuales y de tipo guano.

Los depósitos ígneos de roca fosfórica con frecuencia son asociados con intrusiones de carbonatos y/o sílice. Los concentrados de roca fosfórica son producidos de depósitos que se encuentran explotándose principalmente en

Rusia, Sudáfrica, Brasil, Finlandia, y Zimbabwe. Las rocas fosfóricas ígneas por lo general se encuentran en bajos grados de concentración (menos del 5% P_2O_5), pero pueden ser reconcentrados a productos de altos grados.

Las rocas fosfóricas sedimentarias se originan a lo largo del tiempo geológico. La mayoría de los depósitos sedimentarios son formados bajo condiciones marinas en las plataformas continentales. Estos exhiben un amplio rango de composición química y grandes variaciones en la forma física. Los depósitos económicos generalmente se originan como una capa o más de espesor de alta calidad no consolidados y tienen una textura granular y composición uniforme, y un mínimo de deformación estructural.

Las rocas fosfóricas sedimentarias están compuestas principalmente de apatitas⁴ (fosfato de calcio). Estas apatitas poseen una amplia sustitución isomórfica en la red cristalina y, por lo tanto, poseen una gran variación en su composición química mostrando un amplio rango de propiedades. En los depósitos sedimentarios, los principales minerales fosfatados son las francolitas (fluorapatitas carbonatadas microcristalinas) que ocurren asociadas a una gran cantidad de minerales accesorios e impurezas.

El contenido de fósforo total (grado/ley) de la roca fosfórica se expresa convencionalmente como pentóxido de fósforo (P_2O_5). En la industria de los fosfatos, el contenido de fósforo de la roca es normalmente expresado como fosfato tricálcico y se denomina tradicionalmente como BPL⁵ o fosfatos tricálcicos de hueso ($P_2O_5 \times 2.1853 = \text{BPL}$). Los productores del ácido fosfórico y de los fertilizantes fosfatados exigen normalmente un contenido mínimo de 28 % de P_2O_5 y la mayoría de las rocas fosfóricas comercializadas poseen más del 30% (65% BPL). Para reunir estos requerimientos, la mayoría

⁴ Composición química es $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$.

⁵ *Bone phosphate of lime*, unidad del contenido de P de la roca fosfórica que indica su grado comercial.

de los minerales fosfatados deben seguir procesos de beneficio o enriquecimiento mediante lavado y tamizado, eliminación de carbonatos, separación magnética y flotación.

2.1.4. Caracterización Mineralógica de las Rocas Fosfóricas

Los estudios de caracterización de las muestras de rocas fosfóricas proveen información sobre: (i) la composición del cristal del fosfato (apatita), de otros minerales fosfatados y de los minerales ganga, (ii) las cantidades relativas de las especies minerales presentes (estimadas) y, (iii) compilar esta información con un análisis químico completo se puede determinar la distribución de los elementos químicos dentro de los compuestos minerales.

En base a dicha estimación es posible estimar el potencial de beneficio, sugerir posibles procesos de beneficio y realizar una evaluación preliminar de la capacidad de las rocas fosfóricas para los diversos procesos de producción de fertilizantes y/o su idoneidad para la aplicación directa.

2.1.4.1. Apatitas sedimentarias

Las apatitas sedimentarias se forman cerca de la superficie de la tierra a condiciones de baja temperatura y presión, en una variedad de entornos que pueden ir desde agua dulce a marina y a condiciones hipersalinas.

La mayoría de los depósitos sedimentarios contienen variedades de carbonato-fluoroapatita que son agrupadas bajo el nombre colectivo de francolitas.

Los depósitos Insulares son un tipo de depósito sedimentario asociado con las islas oceánicas. Estos depósitos han sido una fuente importante de la roca fosfórica por más de 100 años. Sin embargo, la explotación intensiva ha causado que estos depósitos queden totalmente agotados o tengan cortos

tiempos de duración proyectados (Ocean Island, la Isla de Navidad, y Nauru, por nombrar algunos).

Las rocas fosfóricas sedimentarias de tipo guano halladas en islas y grutas poseen a menudo carbonato-apatitas con un contenido de flúor más bajo de lo usual y pueden tener cantidades importantes de hidroxilos en sus estructuras.

2.1.4.2. Apatitas ígneas

Las apatitas ígneas, son formadas bajo muy altas condiciones de temperatura y presión. Aunque estas apatitas tienen fórmulas y estructuras cristalinas similares, son claramente diferentes cuando se analizan en profundidad y se pueden separar en grupos basados en características comunes.

La principal apatita cristalina de las fuentes ígneas pertenece a las variedades de la fluoroapatita, hidroxapatita o cloroapatita y las apatitas puras de estas variedades contienen ligeramente más de 42% de P_2O_5 . Existe una serie continua entre los miembros finales de la fluoroapatita y la hidroxapatita.

2.1.4.3. Otros minerales en las Rocas Fosfóricas

Los minerales fosfatados secundarios más comunes, resultantes de la meteorización son miembros de la serie de la crandalita. Los minerales accesorios no fosfatados más comunes asociados con las rocas fosfóricas son el cuarzo, las arcillas y los carbonatos (dolomita y calcita).

2.2. Mercado de la Roca Fosfórica y sus Principales Derivados

2.2.1. Internacional

2.2.1.1. Demanda Mundial

La industria de fertilizantes consume en promedio el 80% de la producción global de roca fosfórica. Así mismo, dentro de esta industria, la mayor parte se utiliza como insumo en la fabricación de ácido fosfórico y otra parte se destina a la fabricación de Superfosfato Simple, Nitrofosfatos, Superfosfato Triple, Fosfatos Amónicos y para el tratamiento de tierras ácidas (fertilizante de aplicación directa). En consecuencia, la demanda de roca fosfórica depende en gran medida de los factores que afectan la demanda de los fertilizantes fosfatados.

Por otra parte, el mercado de roca fosfórica concentra su producción en pocos países. Es así que los principales cinco países productores, E.U.A., Algeria, Australia, Brasil y Canadá, concentran el 80% de la producción global. Sin embargo, mientras que países como Rusia y Marruecos tienen sólo una o dos importantes empresas productoras, E.U.A. y China poseen un mayor número de empresas productoras.

La demanda mundial al 2012 de roca fosfórica es de aproximadamente 185 MMTM por año y los principales consumidores se encuentran en China, E.U.A., Marruecos, Rusia, Brasil e India. En el corto plazo, se espera que dicha demanda se incremente entre 4% y 5%. Asimismo, las proyecciones indican que esta tendencia se mantendrá y que para el año 2017, la demanda mundial de roca fosfórica se incrementará a 216.1 MMTM por año.

Se espera que la demanda de roca fosfórica continúe incrementándose año tras año con lo cual será necesario encontrar nuevas fuentes de roca fosfórica. Sin embargo, las reservas mundiales son finitas y, como se

mencionó anteriormente, cada vez resulta más difícil encontrar depósitos de roca de alta calidad y con condiciones logísticas favorables.

En consecuencia y dado que no existe un sustituto competitivo para la roca fosfórica en la producción de fertilizantes, el mercado sentirá la presión de la creciente demanda, lo que probablemente resultará en un incremento en el precio internacional de la roca fosfórica.

2.2.1.2. Oferta Mundial: Capacidad Mundial y Producción de Roca Fosfórica

La capacidad mundial de producción de roca fosfórica se incrementó de 220 a 256 MMTM/año al 2012, con más del 50% del crecimiento en África del Norte. La más larga proyección de expansión es en Marruecos, donde la capacidad de producción de roca fosfórica se proyecta de 30 a 50 MMTM/año para el 2018. En otros países de África, las minas de roca fosfórica y los proyectos de expansión estuvieron en desarrollo en países como Angola, Congo (Brazzaville), Egipto, Etiopía, Guinea-Bissau, Namibia, Mali, Mauritania, Mozambique, Senegal, Sudáfrica, Togo, Tunisia, Uganda, y Zambia. Fuera de África, las minas de roca fosfórica estuvieron en varias etapas de desarrollo, específicamente en Australia, Brasil, Canadá, China, Kazakjstan y Nueva Zelanda.

Los incrementos proyectados en la capacidad de producción anual de roca fosfórica suministrarán el aumento previsto en la producción de ácido fosfórico y fertilizantes. El crecimiento mundial de la población asegura la necesidad de fertilizantes fosfatados para el cultivo de alimentos y biocombustibles.

2.2.1.3. Reservas Mundiales de Roca Fosfórica

Las reservas para Brasil y Perú se han actualizado con la información de los organismos gubernamentales de cada país. Datos de la reserva de Irak se

han actualizado sobre la base de un informe elaborado conjuntamente por el Servicio Geológico de E.U.A. (USGS) y el Ministerio Iraquí de Industria y Minería el 2012.

Cuadro 2.1 Producción Anual Mundial y Reservas de Roca Fosfórica (MTM)

País	Producción Minera		Reservas ¹
	2011	2012 ^e	
E.U.A.	28,100	29,200	1,400,000
Algeria	1,500	1,500	2,200,000
Australia	2,650	2,600	490,000
Brasil	6,200	6,300	270,000
Canada	900	900	2,000
China²	81,000	89,000	3,700,000
Egipto	3,500	3,000	100,000
India	1,250	1,260	6,100
Iraq	30	150	460,000
Israel	3,100	3,000	180,000
Jordan	6,500	6,500	1,500,000
Mexico	1,510	1,700	30,000
Marruecos y Sahara Occidental	28,000	28,000	50,000,000
Perú	2,540	2,560	820,000
Rusia	11,200	11,300	1,300,000
Saudi Arabia	1,000	1,700	750,000
Senegal	980	980	180,000
Sudáfrica	2,500	2,500	1,500,000
Siria	3,100	2,500	1,800,000
Togo	730	865	60,000
Tunisia	5,000	6,000	100,000
Otros países	6,790	6,000	390,000
Total Mundial (redondeado)	198,000	210,000	67,000,000

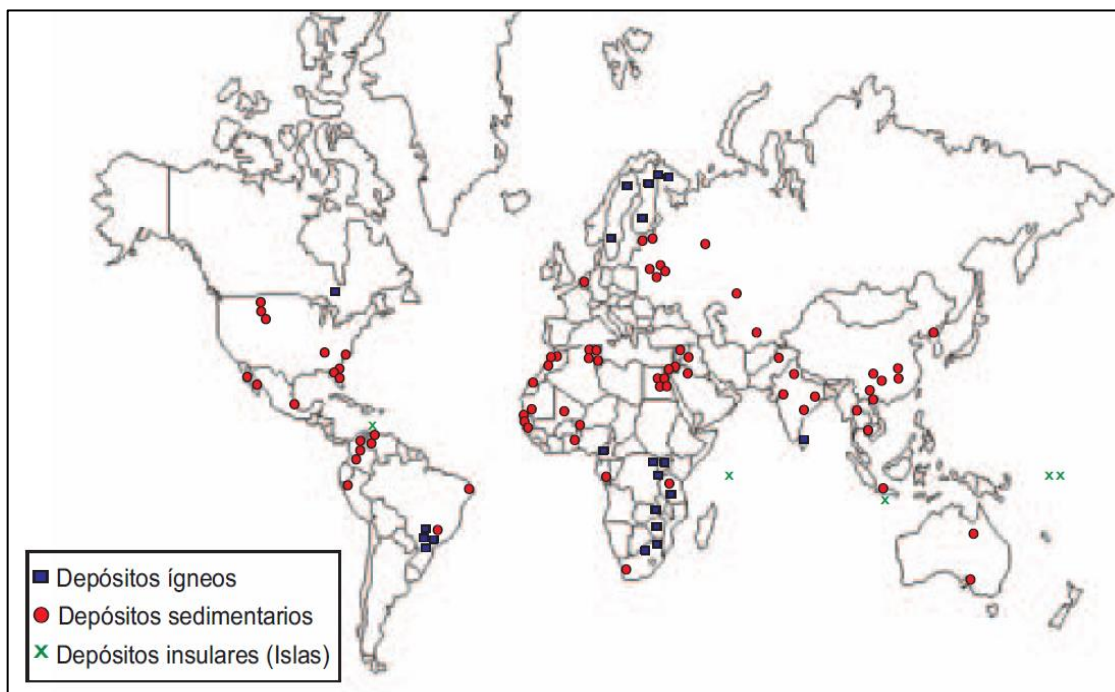
Fuente: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2013,

e Valor estimado.

1 Reservas: Es la parte de las reservas que podrían ser extraídas o producidas económicamente en un tiempo determinado. Las reservas incluyen sólo los materiales recuperables, por lo que términos como "reservas extraíbles" y "reservas recuperables" son redundantes y no son parte de este sistema de clasificación.

2 Los datos de producción solo son de las grandes minas.

Gráfico 2.2 Depósitos Económicos y Potencialmente Económicos



Fuente: International Plant Nutrition Institute (IPNI).

2.2.1.4. Recursos mundiales

Los recursos de roca fosfórica se encuentran principalmente como fosfóricas sedimentarias marinas. Los mayores depósitos sedimentarios se encuentran en el norte de África, China, Medio Oriente y Estados Unidos. Yacimientos importantes de tipo ígneo se encuentran en Brasil, Canadá, Finlandia, Rusia y Sudáfrica. Grandes recursos de fosfato han sido identificados en las plataformas continentales y en las montañas submarinas en el Océano Atlántico y el Océano Pacífico. Los recursos mundiales de roca fosfórica son más de 300 billones de TM.

2.2.2. Nacional

2.2.2.1. Demanda Nacional

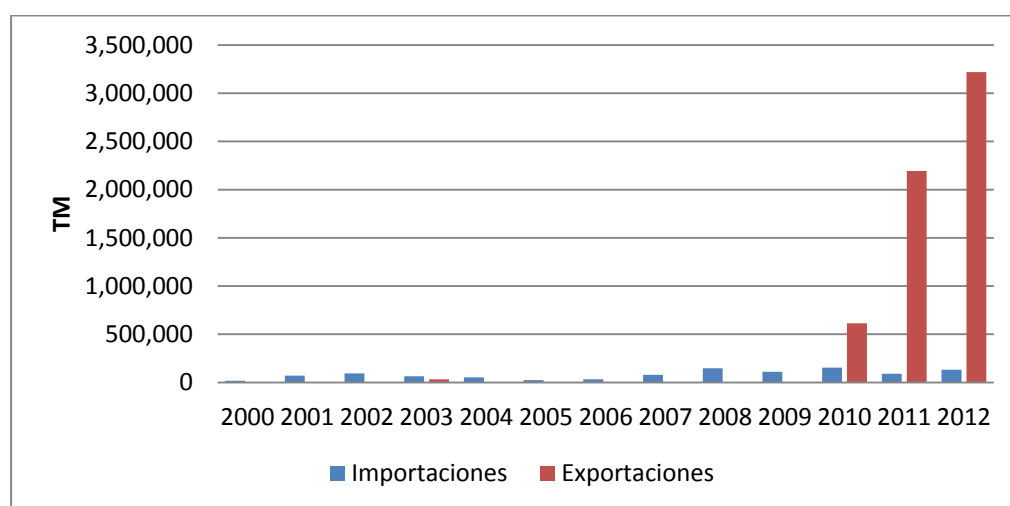
La demanda nacional de la Roca Fosfórica durante los últimos años se representa en la balanza comercial anual, en el Cuadro 2.2:

Cuadro 2.2 Balanza Comercial de Roca Fosfórica en Perú (TM)

Año	Importaciones	Exportaciones
2000	18,042.96	380.04
2001	70,678.74	81.00
2002	94,162.63	180.00
2003	63,450.31	31,818.13
2004	52,922.54	1,081.37
2005	24,500.00	1,800.48
2006	33,053.26	369.00
2007	78,324.07	157.43
2008	147,240.83	1,640.77
2009	111,027.81	1,323.24
2010	152,904.90	613,097.91
2011	90,901.59	2,193,325.10
2012	131,868.23	3,219,335.26

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera

Perú ha venido importando alrededor de 120 MTM/año de roca fosfórica durante los últimos 5 años, estas importaciones llegaron a su pico el año 2010. A partir de este año las importaciones descendieron por la entrada en operaciones de la planta de procesamiento de roca fosfórica de la Compañía Vale do Río Doce (yacimiento Bayóvar) y, en consecuencia, el consumo de esta nueva fuente de roca fosfórica.

Gráfico 2.3 Balanza Comercial de Roca Fosfórica en Perú

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración propia.

Adicionalmente, en el Gráfico 2.3, se resalta la exportación de cantidades importantes de roca fosfórica a partir del año 2010 a países como Estados Unidos en un promedio de 30%, 20% a Brasil, 16% a la India, entre otros. Esta tendencia se da desde el 2010, año en el que entró en operaciones la planta de Fosfatos Bayóvar con el principal objetivo exportador de este importante recurso.

2.2.2.2. Oferta Nacional

Actualmente, el único yacimiento de fosfatos en producción en el Perú es el de la Compañía Vale do Río Doce (yacimiento Bayóvar), cuyas reservas medidas⁶ ascienden a 280 MMTM de roca fosfórica y una producción anual de 3.9 MMTM, volumen que fue incrementado a 5.9 MMTM el año 2012.

Gráfico 2.4 Planta Concentrados Fosfatos Bayóvar



2.2.2.3. Reserva Nacional

a. Yacimiento de Fosfatos en el Valle Mantaro

El Proyecto Fosfatos Mantaro, ubicado en la región de Junín, a 30 km al norte de la ciudad de Huancayo en el Valle del Mantaro, fue descubierto en

⁶ Recurso Medido: Aquella porción del recurso Minero para el cual el tonelaje, densidades, leyes, características geológicas, geometalúrgicas, y geotécnicas han sido estimadas y caracterizadas con un significativo nivel de confianza.

1960 por la Compañía Minera Mantaro S.A., mientras ésta exploraba por vanadio. Desde entonces, pasó por varias manos hasta que en 2007 fue adquirida por la Corporación Sprott Resources, que se asoció con la empresa Stonegate Agricom Ltd. en 2008, formando el *joint venture*⁷ Mantaro Peru S.A.C.

Gráfico 2.5 Ubicación del Proyecto Fosfatos Mantaro



Fuente: FOSFATOS MANTARO

Se ha comprobado que los mantos de fosfatos se extienden a profundidades mayores a 300 m por debajo de la superficie, y se han encontrado zonas donde la ley promedio es de 10%. Se tienen 376.3 MMTM de roca fosfórica inferidas⁸.

⁷ Joint venture: Acuerdo comercial de inversión conjunta a largo plazo entre dos o más personas (normalmente personas jurídicas o comerciantes).

⁸ Recurso Inferido: Aquella porción del recurso Minero para el cual las estimaciones de tonelaje y ley están afectas en exactitud y precisión debido a muestreos fragmentarios, limitados, y a percepciones asumidas sobre su continuidad geológica, y a extrapolaciones de carácter más bien subjetivo sobre la naturaleza de los controles de la mineralización.

Cuadro 2.3 Potencial de las Reservas del Proyecto Fosfatos Mantaro

Categoría del Recurso ¹	MMTM	Grado (%P ₂ O ₅)	Contenido de P ₂ O ₅ (MMTM)
Oeste: Medido ²	5.5	10.8	0.6
Oeste: Indicado ²	34.0	9.9	3.4
Oeste: M & I ²	39.5	10.0	4.0
Oeste: Inferido	376.3	9.0	33.9

Potencial (Conceptual) MMTM Estimadas³

Este	425-435	9-9.5
Lejano Oriente	280-290	9-9.5

Fuente: STONEGATE AGRICOM

¹ Recursos minerales estimados (medidos, indicados⁹ e inferidos) que se incluyen en el Informe Técnico con fecha 21 de febrero del 2010 por Hains Technology Associates & Caracle Creek International Consulting.

² Los recursos minerales medidos e indicados se reportan utilizando un 4% de corte P₂O₅. Los recursos minerales inferidos se reportan asumiendo un grado sin corte de 9%.

³ El estimado conceptual de TM de roca fosfática se encuentran en zonas consideradas como objetivos de exploración en esta etapa. La cantidad potencial y el grado es de naturaleza conceptual¹⁰, ha habido exploración insuficiente para definir el recurso mineral y es incierto si una posterior exploración resultará en el objetivo que ha sido delineado en el recurso mineral.

Gráfico 2.6 Propiedad del Mantaro (plano parcial)

Fuente: STONEGATE AGRICOM

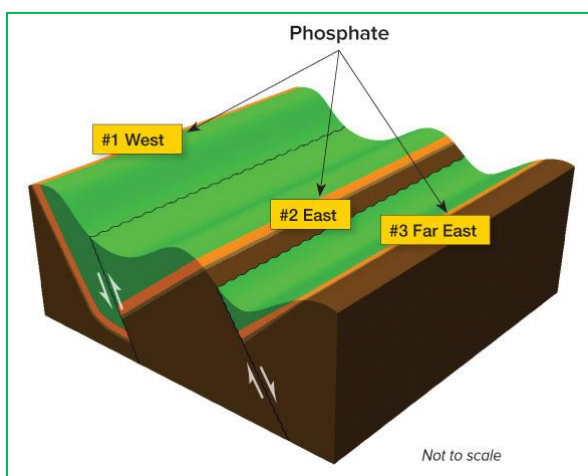
⁹ Recurso Indicado: Aquella porción del recurso Minero para el cual el tonelaje, densidades, leyes, características geológicas, geometalúrgicas, y geotécnicas han sido estimadas y caracterizadas con un razonable nivel de confianza.

¹⁰ •Naturaleza conceptual: Teóricamente, por definición.

Tal como se puede apreciar en el Gráfico 2.6, las reservas de roca fosfórica se extienden, de norte a sur, a lo largo del Valle del Mantaro por una distancia de aproximadamente de 22 km, las cuales comprenden alrededor de 66 km de roca fosfórica, divididas en 3 frentes.

Los yacimientos del Proyecto Fosfatos Mantaro presentan estructuras sinclinales, tal como se muestra en el Gráfico 2.7.

Gráfico 2.7 Muestra representativa de la estructura sinclinal



Fuente: STONEGATE AGRICOM

Por otro lado, cabe resaltar que las líneas de transmisión eléctrica atraviesan las reservas de Proyecto Fosfatos Mantaro. Por lo que el suministro de energía para el funcionamiento de equipos, en un eventual Complejo, estaría garantizado, evidenciado en el Gráfico 2.8.

Gráfico 2.8 Torres de Transmisión Eléctrica que atraviesan las Reservas de Fosfato Mantaro



Fuente: STONEGATE AGRICOM

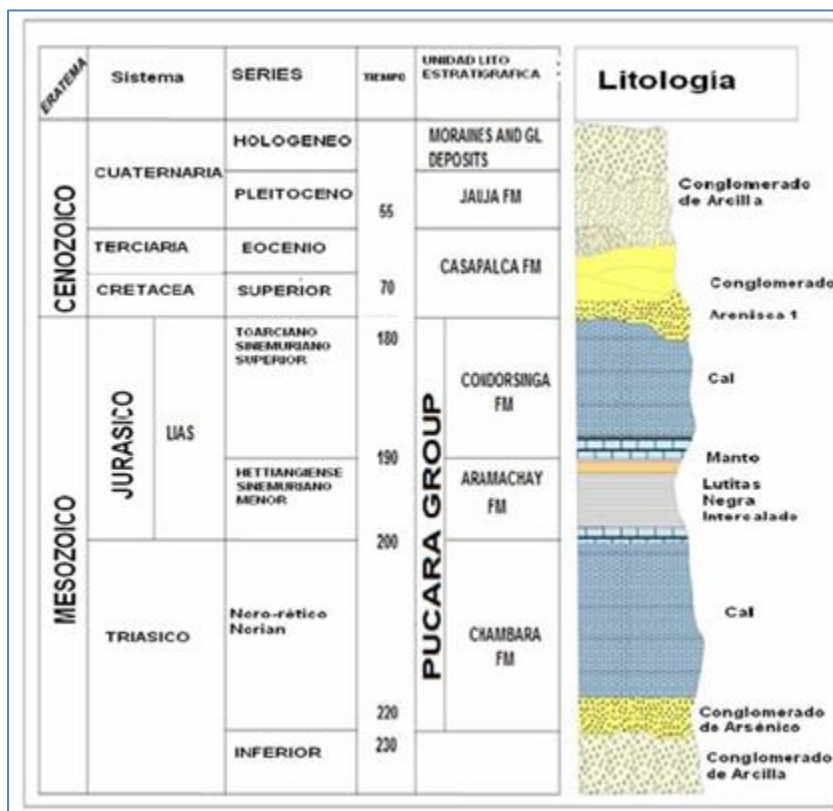
La roca fosfórica del Proyecto Fosfatos Mantaro tiene las siguientes características:

- i. Depósito sedimentario marino.
- ii. Yacimiento depositado en un lecho marino antiguo, con orientación NO-SE (sinclinal de Llacuaripampa).
- iii. Litología del grupo Pucará en la parte media a superior presenta calizas, limolitas, chert, manto de fosfato y calizas.
- iv. Fosfatos se encuentran en la formación Aramachay.
- v. Toda la secuencia similar a lo largo de todo el yacimiento.

Perfil Litológico de las Reservas Fosfatos Mantaro: Formación Aramachay (190-200 MMA):

Formación caracterizada por lutitas negras, calizas y lodos bituminosos con cherts y material rico en fosfatos, vanadio, selenio, entre otros. Ver Gráfico 2.9.

Gráfico 2.9 Perfil Litológico de las Reservas Fosfatos Mantaro



Fuente: STONEGATEAGRICOM

b. Yacimiento de Fosfatos de Bayóvar

Bayóvar se ubica en el distrito y provincia de Sechura, región Piura, aproximadamente a 1,000 km al norte de la ciudad de Lima, a 110 km al sur de la ciudad de Piura y a 30 km del Océano Pacífico.

El yacimiento de fosfatos de Bayóvar ha sido explorado y estudiado desde los años 50 por empresas privadas y estatales. Es así que en marzo del 2005, a través de un concurso público internacional, el organismo estatal de Promoción de la Inversión Privada - PROINVERSIÓN, adjudicó el Proyecto Bayóvar a la Compañía Vale do Río Doce, a través de su subsidiaria Miski Mayo en Perú.

El yacimiento posee 74,059 hectáreas, 280 MMTM de reservas probadas de fosfatos en Bayóvar.

La planta concentradora de la Compañía Vale do Río Doce tiene producción promedio anual de 3.9 MMTM de concentrados de roca fosfórica con una ley mínima de 29% P_2O_5 para su posterior exportación. Para esta última actividad, se construyó un puerto que permita el embarque de concentrados de roca fosfórica, el cual está ubicado en la bahía de Sechura. Ver Gráfico 2.10.

Gráfico 2.10 Mapa General del Yacimiento Fosfatos Bayovar



Fuente:VALE

2.2.3. Demanda Regional de MAP y DAP

2.2.3.1. Importación del MAP en la Región Sudamericana

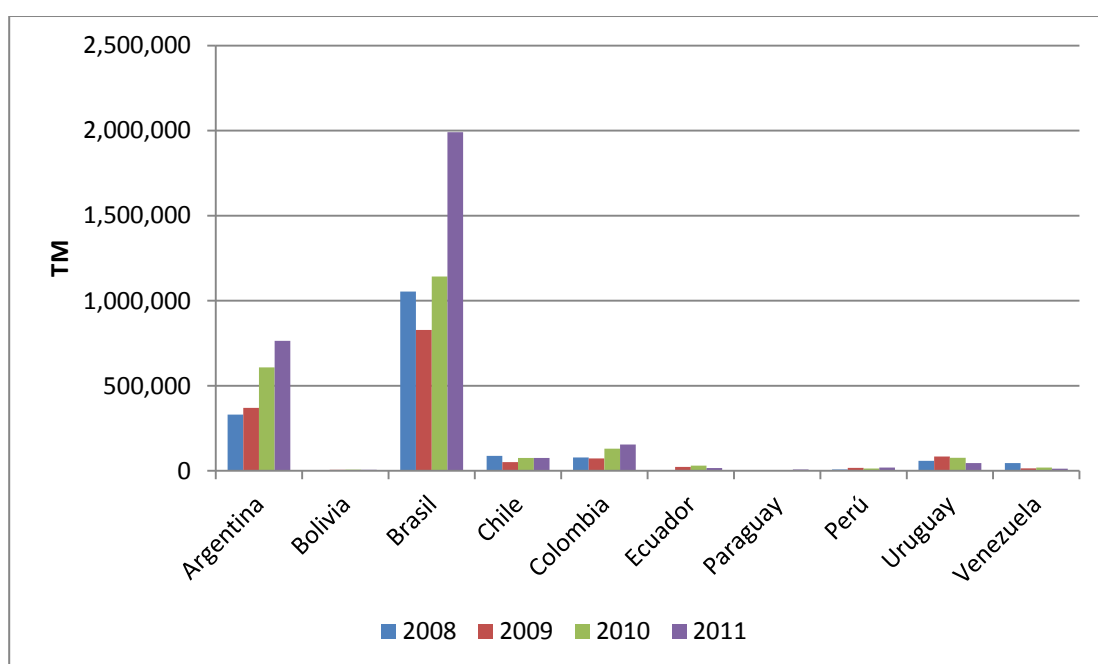
Según la FAO¹¹, agencia de las Naciones Unidas que lidera los esfuerzos internacionales para erradicar el hambre, la importación anual de MAP

¹¹ Food and Agriculture Organization of the United Nations.

consolidada de los países sudamericanos hasta el 2011, se detalla en el Gráfico 2.11.

De acuerdo al Gráfico 2.11 se puede apreciar que, durante los años 2008 al 2011, en Brasil y Argentina presentan significativas importaciones de MAP. En el cual destaca Brasil, pues sus importaciones tuvieron un pico de casi 2 MMTM de MAP, y en segundo lugar Argentina con más de 700 MTM.

Gráfico 2.11 Importación de MAP en la Región Sudamérica(TM)

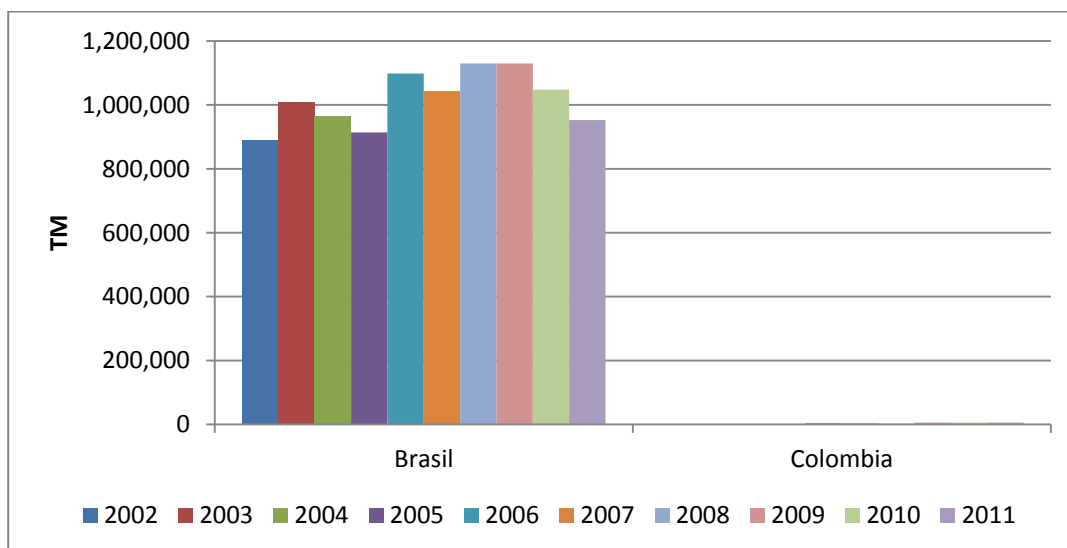


Fuente: FAO, Elaboración propia

2.2.3.2. Producción del MAP en la Región Sudamérica

Asimismo, la producción anual de MAP se lleva a cabo en Colombia y Brasil, según la FAO, detallado en el Gráfico 2.12.

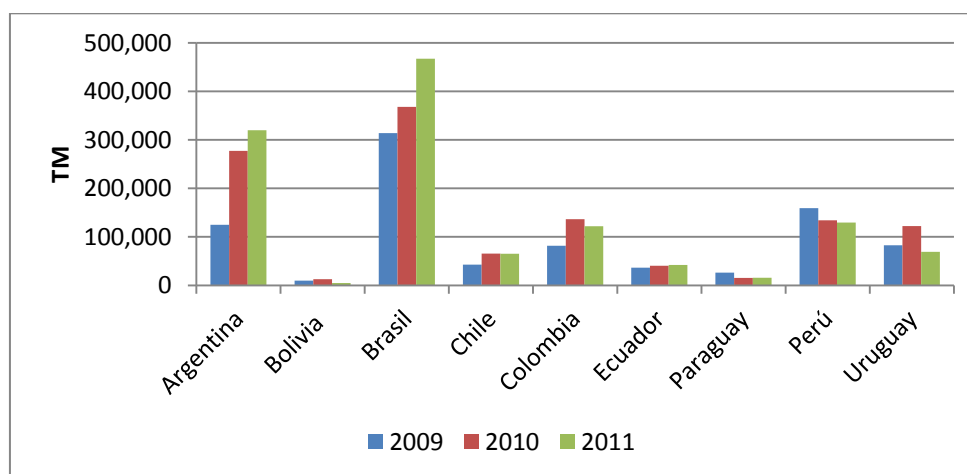
La producción anual de Brasil oscila las 100 MTM de MAP anuales, mientras que Colombia produce en promedio 3 MTM de MAP anuales.

Gráfico 2.12 Producción Anual en la Región Sudamérica (Colombia y Brasil)

Fuente: FAO, Elaboración propia

2.2.3.3. Importación del DAP en la Región Sudamérica

De la misma forma se presenta la importación anual de DAP en el mercado sudamericano, se detalla a continuación en el Gráfico 2.13.

Gráfico 2.13 Importación de DAP en la Región Sudamérica (TM)

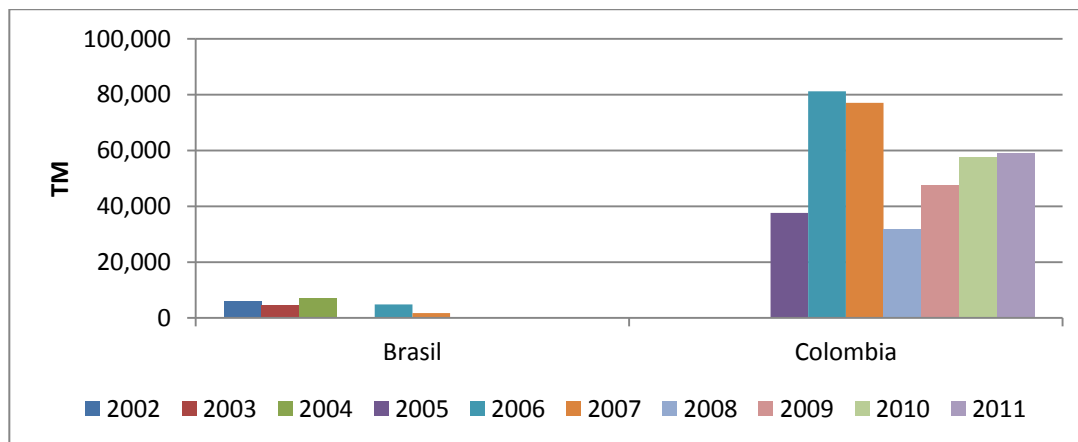
Fuente: FAO, Elaboración propia

Al año 2011, la importación de DAP fue liderada por Brasil con más de 450 MTM en el 2011, seguido por Argentina cerca a las 300 MTM, y en menor proporción Perú y los demás países de la región Sudamérica.

2.2.3.4. Producción del DAP en la Región Sudamérica

Según la FAO, la producción anual de DAP en la región Sudamérica se da lugar en Colombia y Brasil, detallado en el Gráfico 2.14.

Gráfico 2.14 Producción Regional de DAP

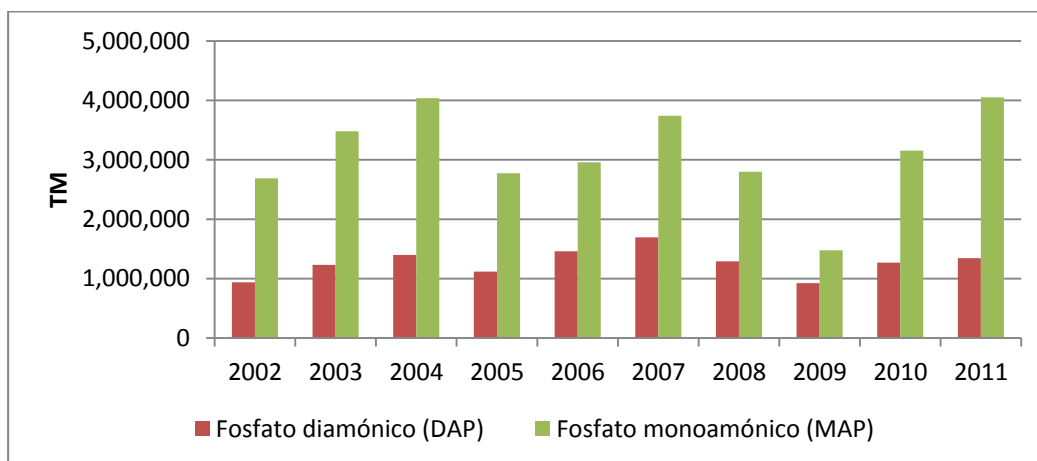


Fuente: FAO, Elaboración propia

En cuanto a producción regional de DAP, solo los países de Colombia y Brasil elaboran el DAP, Colombia con un promedio de 50 MTM anuales y Brasil con menos de 10 MTM anuales.

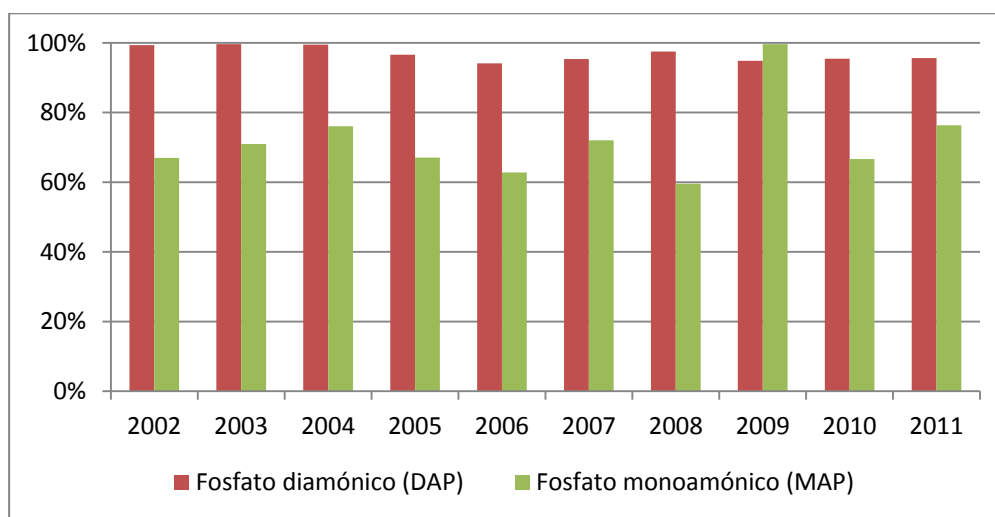
2.2.3.5. Producción e Importación del MAP y DAP en la Región Sudamérica

La totalidad de la Producción e Importación en el mercado regional sudamericano, considerando la producción por parte de Colombia y Brasil, se ilustra en el Gráfico 2.15:

Gráfico 2.15 Demanda Regional Anual de MAP y DAP (TM)

Fuente: FAO, Elaboración propia

A continuación se estima la cuota de Importación Anual en la demanda total regional.

Gráfico 2.16 Cuota de Importación Anual de MAP y DAP (%)

Fuente: FAO, Elaboración propia

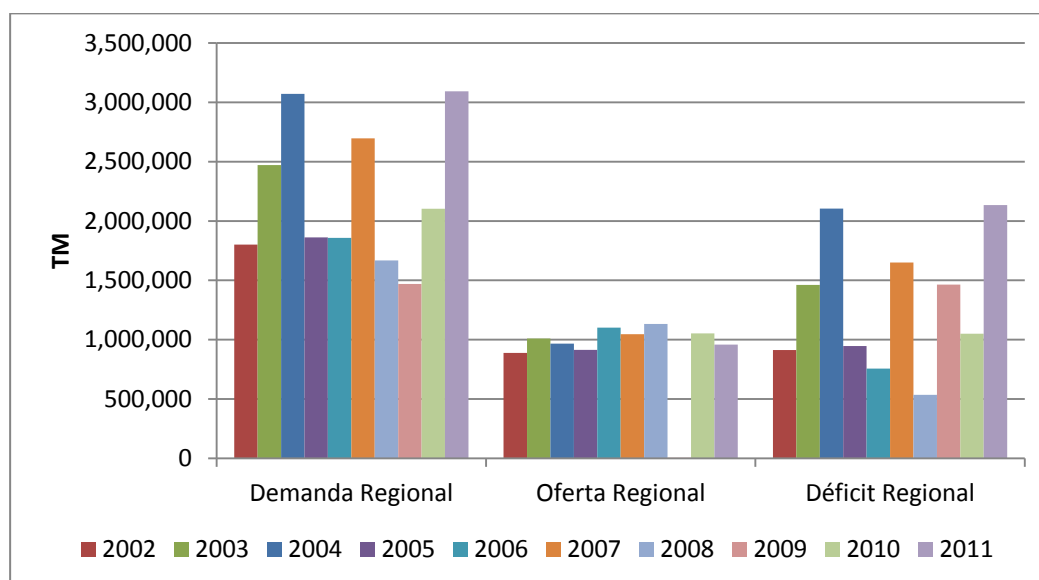
Por lo verificado en el Gráfico 2.16, la cuota de Importación Regional para el MAP oscila entre 60% y el 100%, mientras que la cuota para el DAP no desciende del 90%. Estos valores serán tomados en cuenta en futuros cálculos en el dimensionamiento del complejo.

Cuadro 2.4 Balance Regional Sudamérica

Año	Demanda Regional		Oferta Regional		Déficit Regional	
	MAP	DAP	MAP	DAP	MAP	DAP
2002	1,801,061	931,821	888,375	6,126	912,686	925,695
2003	2,471,258	1,228,180	1,010,317	4,356	1,460,941	1,223,824
2004	3,071,704	1,391,133	966,679	7,071	2,105,025	1,384,062
2005	1,861,522	1,081,409	914,470	37,830	947,052	1,043,579
2006	1,857,861	1,373,596	1,101,605	86,061	756,256	1,287,535
2007	2,696,493	1,616,561	1,046,277	78,824	1,650,216	1,537,737
2008	1,667,192	1,257,651	1,132,037	31,749	535,155	1,225,902
2009	1,469,893	876,936	5,401	47,547	1,464,492	829,389
2010	2,103,157	1,211,095	1,052,879	57,609	1,050,278	1,153,486
2011	3,092,980	1,286,846	958,113	58,964	2,134,867	1,227,882

Fuente: FAO, Elaboración propia

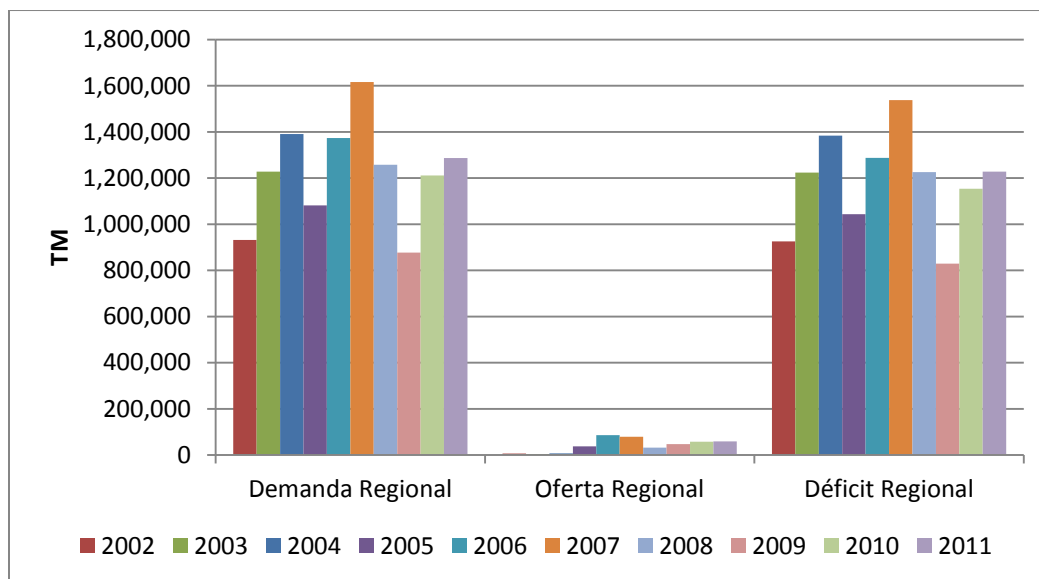
De acuerdo al Cuadro 2.4, el déficit regional para el MAP llega a superar los 2 MMTM/año y para el DAP el déficit oscila entre los 829 MTM y los 1.5 MMTM.

Gráfico 2.17 Balance Regional Sudamérica de MAP

Fuente: FAO, Elaboración propia

Tal como se puede observar en el Gráfico 2.17, se tienen años en los cuales el déficit regional asciende a más del 200% de la oferta regional.

Gráfico 2.18 Balance Regional Sudamérica de DAP



Fuente: FAO, Elaboración propia

Se puede decir que para el DAP, ver Gráfico 2.18, el déficit regional es casi la demanda regional, debido a la escasa oferta regional por parte de Colombia y Brasil.

2.3. Mercado del Gas Natural

2.3.1. Demanda Nacional

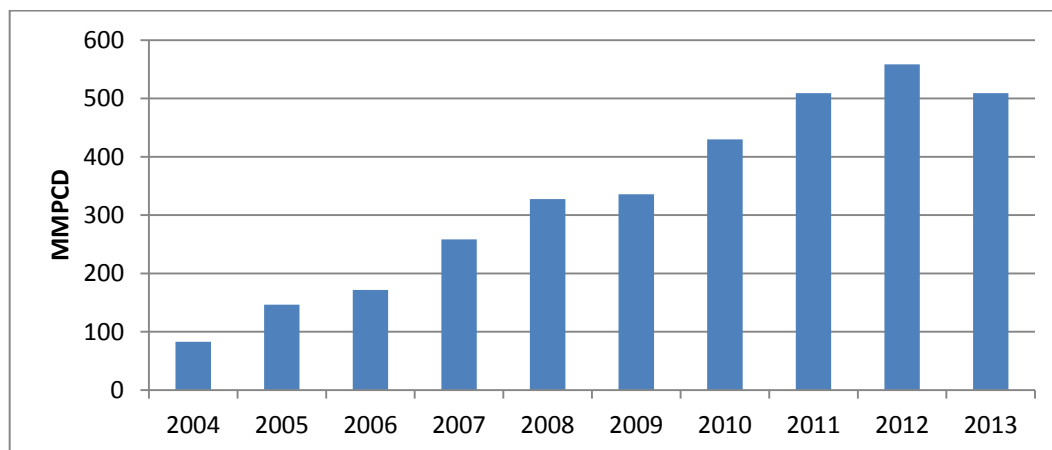
La demanda nacional para el 2012 fue de 509.14 MMPCD, según lo publicado por el Ministerio de Energía y Minas, de acuerdo al Cuadro 2.5:

Cuadro 2.5 Demanda Interna Anual de Gas Natural 2004 - 2013

Año	Demanda Interna (MMPCD)
2004	82.85
2005	146.46
2006	171.54
2007	258.47
2008	327.61
2009	335.74
2010	429.95
2011	509.20
2012	558.70
2013*	509.14

Fuente: MEM/DGH, Elaboración propia
*Agosto 2013

Como se observa en el Gráfico 2.19 la demanda interna de Gas Natural es cada vez mayor, con un crecimiento anual en promedio desde el año 2004 al 2012 del 29%. Se debe indicar que la demanda interna al 2013 tiene información actualizada a agosto de 2013.

Gráfico 2.19 Demanda Interna Anual de Gas Natural 2004 - 2013*

Fuente: MEM/DGH, Elaboración propia
*Agosto 2013

2.3.2. Oferta Nacional

La capacidad de producción de Gas Natural en el Perú comprende la producción de la Costa, Zócalo, Aguaytía y Camisea. Desde el año 2004, año en que entró en operaciones el proyecto Camisea, se ha tenido un crecimiento en promedio 40% debido a la cada vez mayor demanda por parte de diversos sectores económicos.

Cuadro 2.6 Oferta Nacional de Gas Natural 2004 - 2013

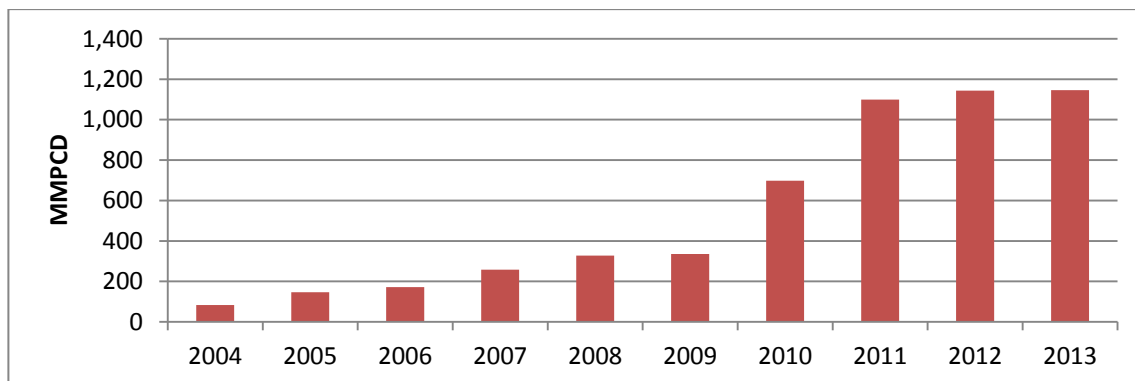
Año	Producción (MMPCD)
2004	82.85
2005	146.46
2006	171.54
2007	258.47
2008	327.65
2009	335.86
2010	698.37
2011	1,099.02
2012	1,143.90
2013*	1,146.05

Fuente: MEM/DGH, Elaboración propia

*Agosto 2013

Como se observa en el Gráfico 2.20 la oferta de Gas Natural actualmente está en el mejor momento, pues, durante los 3 últimos años registra los picos más altos de producción.

Gráfico 2.20 Producción (Oferta) Nacional de Gas Natural 2004 - 2013*



Fuente: MEM/DGH, Elaboración propia

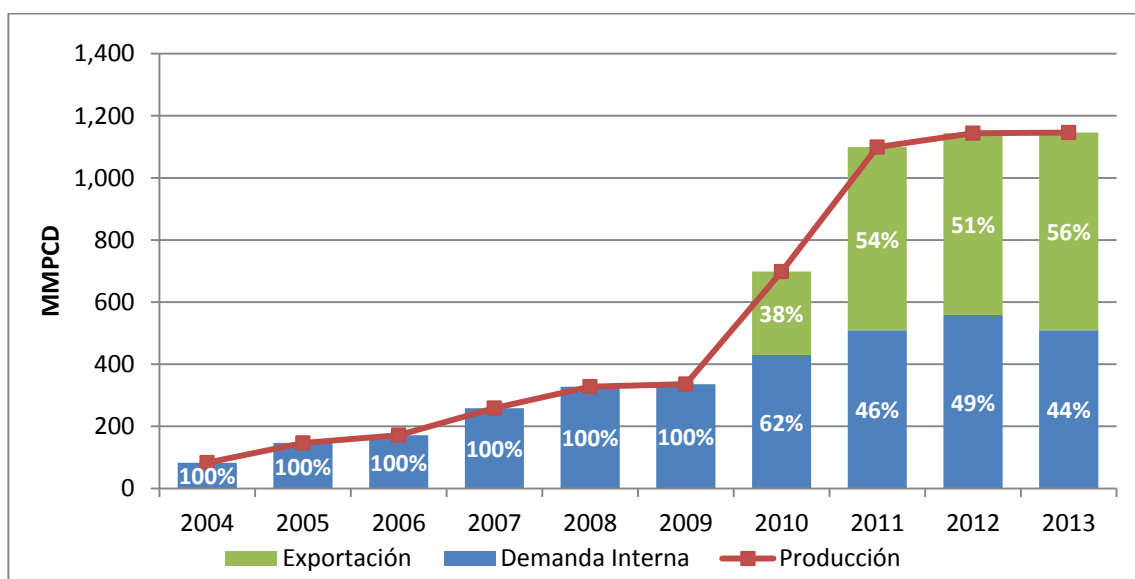
*Agosto 2013

Cuadro 2.7 Balance de Producción del Gas Natural 2004 - 2013* (MMPCD)

Año	Producción	Demanda Interna	Exportación
2004	82.85	82.85	0
2005	146.46	146.46	0
2006	171.54	171.54	0
2007	258.47	258.47	0
2008	327.65	327.61	0.03
2009	335.86	335.74	0.12
2010	698.37	429.95	268.42
2011	1,099.02	509.20	589.83
2012	1,143.90	558.70	585.20
2013*	1,146.05	509.14	636.91

Fuente: MEM/DGH, Elaboración propia

*Agosto 2013

Gráfico 2.21 Balance de Producción del Gas Natural 2004 - 2013*

Fuente: MEM/DGH, Elaboración propia

*Agosto 2013

Según se muestra en el Cuadro 2.7 y el Gráfico 2.21, desde el año 2010 las exportaciones han venido incrementándose, llegando a superar demanda nacional en los 3 últimos años.

2.3.3. Reservas de Gas Natural

A diciembre de 2012 se tiene un total de 15.4 TCF de reservas probadas de Gas Natural en el Perú.

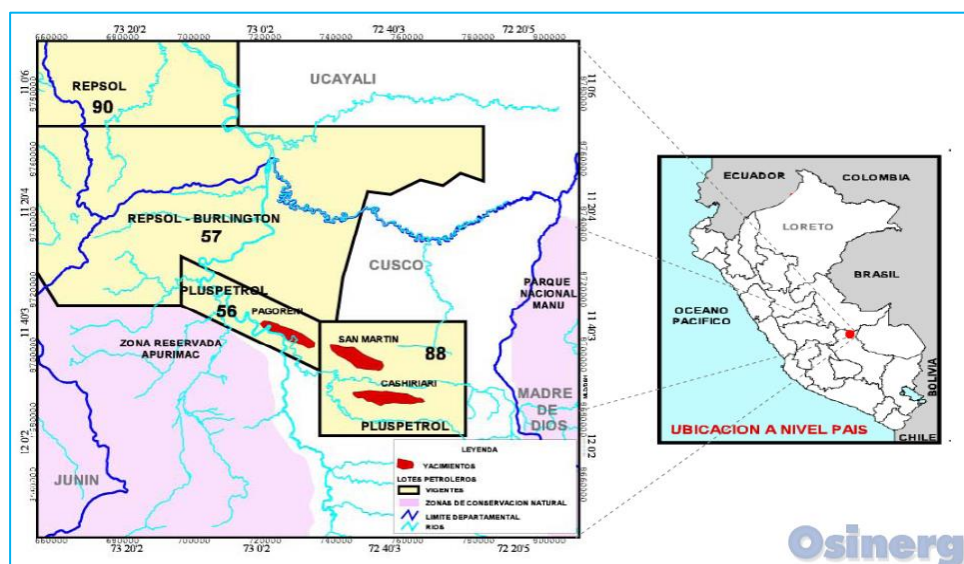
Cuadro 2.8 Reservas de Gas Natural al 2012

TIPO DE HIDROCARBURO	RESERVAS		
	PROBADAS	PROBABLES	POSIBLES
GAS NATURAL, TCF	15.4	7.7	5.1

Fuente: MEM, LIBRO ANUAL DE RESERVAS DE HIDROCARBUROS – 2012

Las reservas extraídas en los lotes 56 y 88 (ver Gráfico 2.22), ubicados en Camisea representaron el 94.7 % del total producido durante el año 2012.

Gráfico 2.22 Yacimiento Camisea - Lote 56 y 88

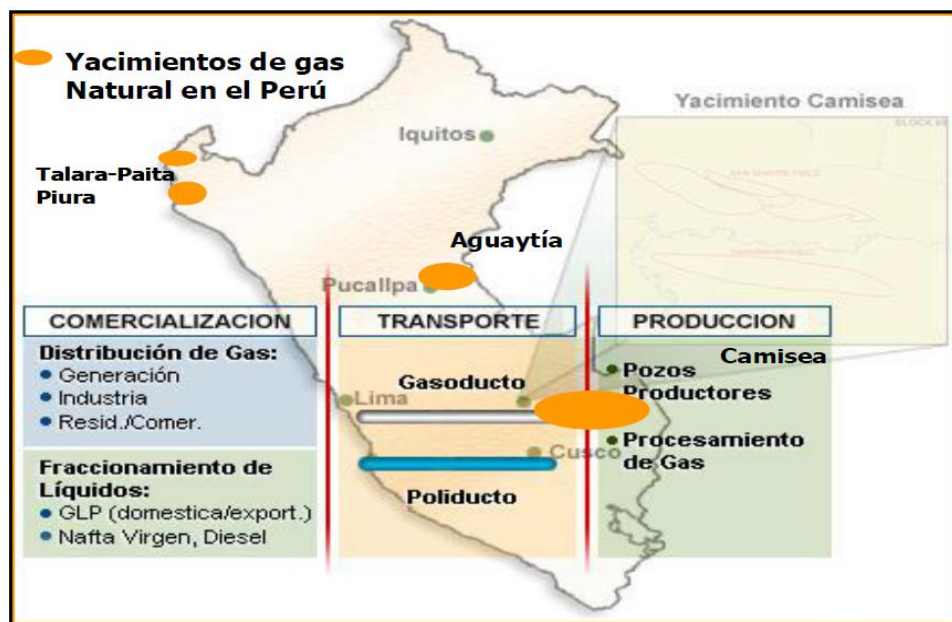


Fuente: OSINERGMIN, MEM

2.3.4. Precios del Gas Natural

La estructura tarifaria del Gas Natural (Gráfico 2.23) comprende el Precio en Boca de Pozo (Producción), Costo de Transporte y el Costo Final de Distribución; sin embargo, para esta tesis solo se usarán el Precio en Boca de Pozo y el Costo de Transporte hacia el Complejo, toda vez que el Gas Natural sería entregado en el mismo Complejo, por lo que ya no se cubriría el costo de distribución.

Gráfico 2.23 Estructura de Comercialización del Gas Natural



Fuente: OSINERGMIN

El precio del Gas Natural en Boca de Pozo y el Costo de Transporte son tomados de TGP, para ser considerados como base para calcular el Costo de Transporte hacia el Complejo en un eventual escenario en el Valle del Mantaro.

Para el año 2013 se tiene 3.1762 US\$/MMBTU, por lo que se estimaría tomar este valor para futuras valorizaciones económicas. Cabe señalar que este precio es actualizado cada año.

Para abril de 2013, el Cuadro 2.9 muestra el precio al cual sería comercializado si el Gas Natural se vendiese en el City Gate de Lurín.

**Cuadro 2.9 Reporte del Precio de Gas Natural de Uso Industrial (Categoría E)
Mes de Abril 2013**

Tarifas (US\$/MMBTU)		Categoría
Costos	Costos detalle	E
01 - BOCA DE POZO	Precio en boca de pozo	3.1762
02 - TRANSPORTE	Tarifa de Transporte	0.9256
03 - IGV (18%)	Impuesto General a las Ventas (18%)	0.8538
Tarifa Total (US\$/MMBTU) en City Gate Lurín		4.8614

Fuente: CÁLIDDA

Cabe indicar que, la categoría tarifaria E pertenece a la condición que la empresa distribuidora de Gas Natural Cálidda, asigna a los consumidores en concordancia al rango de consumo estimado; en ese sentido, tratándose de un Complejo, por encima de los 900 000 Sm³/mes. Ver Cuadro 2.10.

Cuadro 2.10 Categoría Tarifaria de Calidda

Categoría Tarifaria	Rango de Consumo (Sm ³ /mes)
A	Hasta 300
B	301 - 17500
C	17501 - 300 000
D	300 001 - 900 000
E	Consumidor Independiente con un consumo mayor a 900 000.
GE	Para generadores eléctricos, independiente de la magnitud de consumo mensual.
GNV	Para estaciones de servicio y/o gasocentros de gas natural vehicular, independientemente de la magnitud del consumo mensual.

Fuente: CÁLIDDA

2.4. Mercado del Ácido Sulfúrico

2.4.1. Demanda Nacional

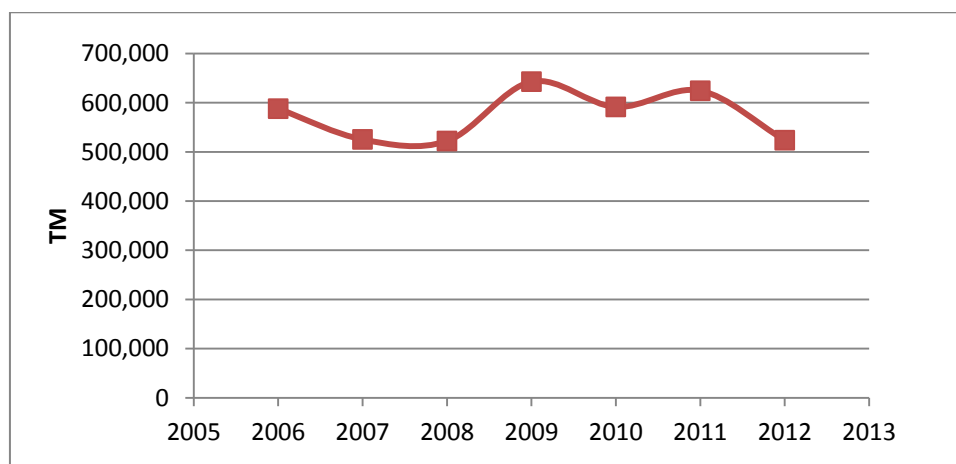
La demanda nacional de ácido sulfúrico, en promedio, durante estos últimos años, es de 550 MTM/año, por el sector minero.

Cuadro 2.11 Demanda Anual Interna del Ácido Sulfúrico 2006 - 2012

Año	Consumo Interno (TM)
2006	587,858.852
2007	525,339.486
2008	522,139.441
2009	642,775.322
2010	591,455.655
2011	624,421.540
2012	523,815.850

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera

El consumo interno es dependiente de la producción y refinación de los principales productos metálicos exportados. En el Gráfico 2.24 se muestra que la demanda interna de ácido sulfúrico se ha mantenido durante los últimos 6 años.

Gráfico 2.24 Demanda Anual Interna del Ácido Sulfúrico (TM)

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración propia

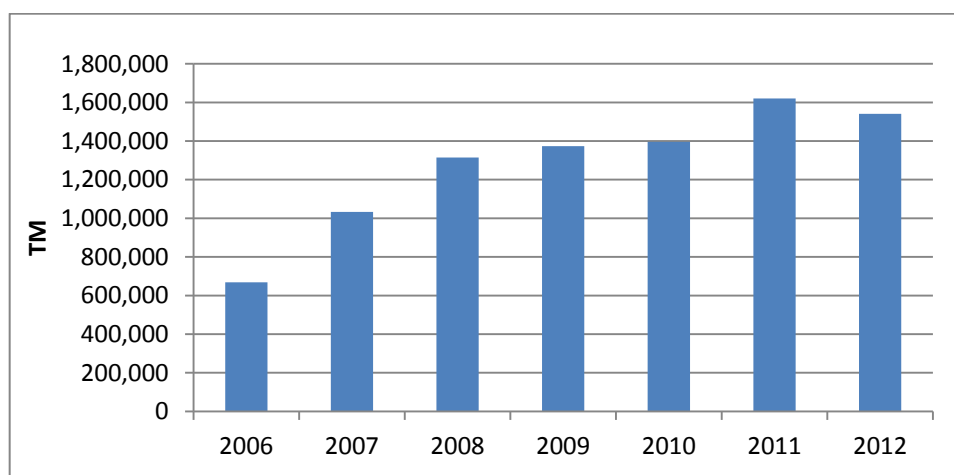
2.4.2. Oferta Nacional

Perú ha producido durante los últimos 4 años un promedio 1.5 MMTM/año de ácido sulfúrico, tal como se muestra en el Cuadro 2.12.

Cuadro 2.12 Producción Anual Interna de Ácido Sulfúrico 2006 - 2012

Año	Producción (TM)
2006	668,620.85
2007	1,032,934.86
2008	1,314,870.66
2009	1,373,840.10
2010	1,395,678.48
2011	1,620,149.36
2012	1,540,871.85

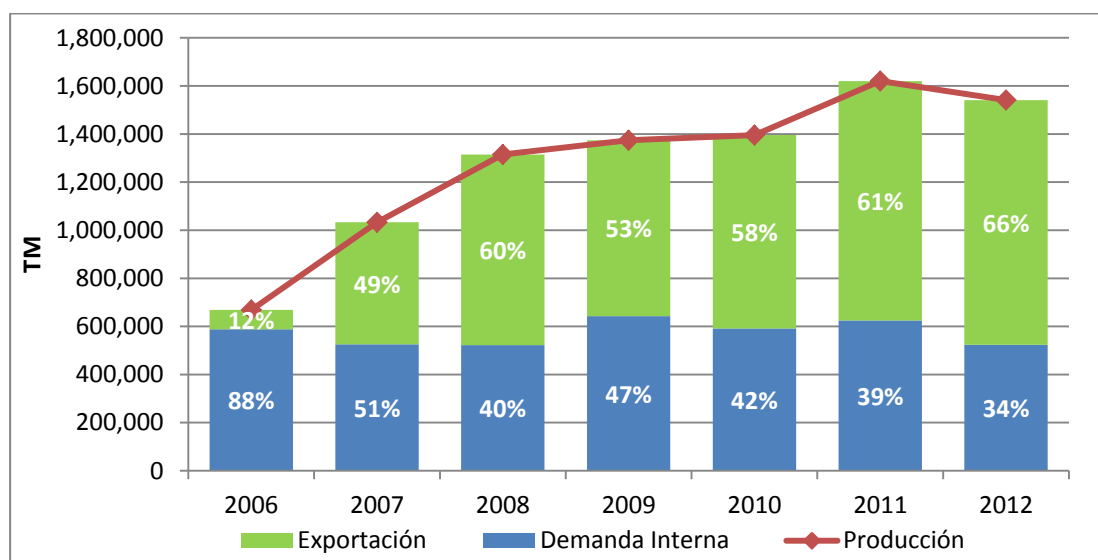
Fuente: PRODUCE

Gráfico 2.25 Producción Anual Interna de Ácido Sulfúrico 2006 - 2012

Fuente: PRODUCE, Elaboración Propia

Los exportaciones de ácido sulfúrico del año 2012 (Gráfico 2.26) provienen de la Southern Perú Cooper Corporation Sucursal del Perú con 58.02% y de la Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A. con el 41.98% restante. El excedente de la Southern Perú Cooper Corporation Sucursal del Perú tiene como destino los países como Chile, Ecuador, Panamá y Estados Unidos, y el excedente de la Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A. hacia Chile, Ecuador y México.

Gráfico 2.26 Balanza Comercial Anual del Ácido Sulfúrico



Fuente: PRODUCE, SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración Propia

De acuerdo al Gráfico 2.26, las exportaciones han ido incrementándose conforme ha ido incrementándose la producción de ácido sulfúrico debido a la capacidad refinadora de nuestro país, es el caso de la empresa Southern Perú Cooper Corporation Sucursal del Perú que ha experimentado ampliaciones de planta que ha conllevado a producir más ácido sulfúrico.

2.4.3. Reservas Nacionales

2.4.3.1. Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A.

La refinería de Votorantim Metais Cajamarquilla S.A., primera productora de Zinc refinado del Perú, viene obteniendo como subproducto ácido sulfúrico desde hace más de 20 años. La producción de ácido sulfúrico es íntegramente exportada hacia mercados internacionales como lo son Chile, México y Ecuador.

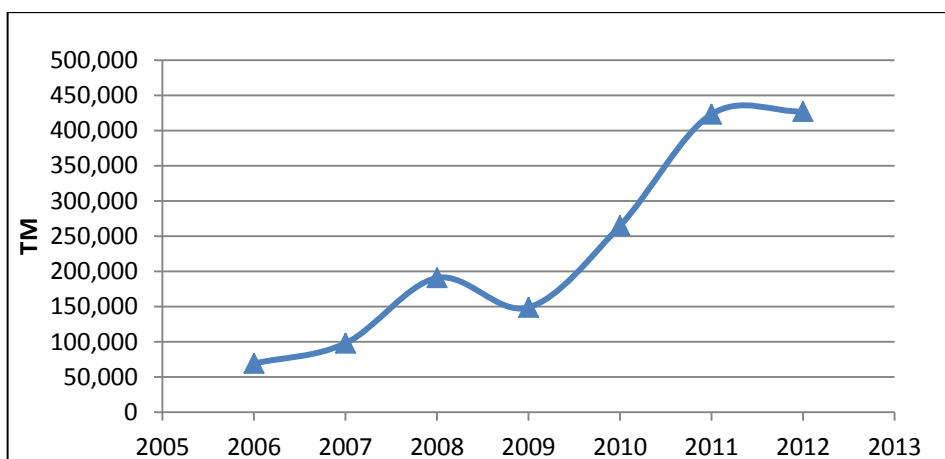
En el Cuadro 2.13, se muestra un crecimiento anual en promedio de 42% en exportaciones durante los últimos 6 años, en ese sentido, al año 2012 ha exportado, aproximadamente, 8 veces la cantidad exportada en el 2006.

Cuadro 2.13 Producción Anual de Ácido Sulfúrico Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A. (2006 - 2012)

Año	Producción (TM)	% Crecimiento
2006	69,180.44	-
2007	97,868.87	41.47%
2008	190,745.42	94.90%
2009	148,800.08	-21.99%
2010	264,777.22	77.94%
2011	423,068.00	59.78%
2012	426,909.92	0.91%

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera

Gráfico 2.27 Producción Anual de Ácido Sulfúrico Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A. 2006 - 2012



Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración propia

2.4.3.2. Complejo Metalúrgico Doe Run Perú (DRP)

El Complejo Metalúrgico Doe Run Perú produce barras de plomo y zinc refinados, entre los cuales se destaca como subproducto ácido sulfúrico con 180 MTM anuales; en detalle, a fines del 2008 entró en funcionamiento la nueva planta de ácido sulfúrico del circuito de plomo con una capacidad de 120 MTM que se complementa con las 60 MTM de ácido sulfúrico producidos en la planta de ácido del circuito de zinc.

Es importante señalar que, al año 2014, el plan de restructuración de este complejo metalúrgico está en busca del financiamiento para implementar una planta de ácido sulfúrico que permita que el circuito de cobre opere con

los estándares ambientales requeridos, en tanto este circuito se mantendrá inactivo. Aún no se especula de la capacidad esperada para la planta de ácido sulfúrico.

A junio de 2014, la Junta de Acreedores de la empresa Doe Run dio luz verde a la venta del Complejo Metalúrgico de La Oroya (CMLO) y la mina Cobriza. En una reunión sostenida el 09 de junio de 2014, los acreedores presionaron a la empresa administradora Right Business y consiguieron aprobar el cronograma de venta mundial de ambos activos. Dicho plan establece que la transacción deberá ser concretada el 8 de diciembre de 2014.

Cabe indicar que el ácido sulfúrico, insumo importante para el producto final de la presente tesis, podría ser transportado mediante la línea férrea por aproximadamente 60 km al Complejo que se plantea.

Gráfico 2.28 Complejo Metalúrgico Doe Run Perú, La Oroya, Junín



Fuente: DOE RUN PERÚ

2.4.3.3. Proyecto Modernización Refinería Talara (PMRT) Petróleos del Perú S.A.

El 17 de diciembre de 2013, el Gobierno oficializó la Ley N° 30130 de Modernización de la Refinería Talara, mediante esta ley se declara de

necesidad pública e interés nacional la ejecución del proyecto de modernización de la Refinería Talara, a fin de asegurar la preservación de la calidad del aire, la salud pública y el fortalecimiento del gobierno corporativo de la empresa estatal Petróleos del Perú S.A.

El Proyecto Modernización Refinería Talara (PMRT) consiste en la construcción de nuevas instalaciones industriales, y modernización basada en el desarrollo tecnológico para:

- i. Producir diesel y gasolinas con menos de 50 ppm de azufre.
- ii. Incrementar la capacidad de producción de la Refinería de 65 a 95 MBD.
- iii. Procesar crudos pesados y más económicos para la producción de combustibles livianos de mayor valor comercial.

Entre uno de sus objetivos se encuentra la reducción a 50 ppm de azufre, proceso que se llevará a cabo con el contratista licenciador, el cual elaboró el *Basic Design Package* con la información proveniente de las unidades de Regeneración de Aminas y *Sour Water Stripping* (SWS), coordinada y definida con Petróleos del Perú S.A. Preliminarmente, se estima una capacidad de 520 TM/día de ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico producido tendrá una calidad comercial con una concentración mínima de 98%wt.

2.4.3.4. Procesadora Industrial Río Seco

La Procesadora Industrial Río Seco, filial química de Compañía de Minas Buenaventura, firmó un contrato con Topsoe para el suministro de una planta de gas húmedo de ácido sulfúrico (WSA, por sus siglas en inglés), que servirá para la producción de ácido sulfúrico. La puesta en marcha de la planta se llevó a cabo en el año 2013.

La planta WSA, que implementó la empresa danesa, opera con 100% de gas H₂S, con 100% de azufre elemental o con cualquier combinación del mismo. La producción es de 60 TM/día.

Topsoe suministró la ingeniería básica, el equipo y los materiales necesarios.

Aparte de la ingeniería, los equipos y los materiales, el alcance de la oferta de Topsoe también incluyó la licencia, los catalizadores y los servicios de supervisión durante la construcción y puesta en marcha.

2.4.3.5. Southern Cooper Corporation

Southern Cooper Corporation es una empresa de clase minero - metalúrgica mundial, productora de cobre y subproductos valiosos. En ese contexto, las plantas de ácido de la refinería y fundición tienen una capacidad de producción conjunta de 1.15 MMTM/año. Southern Copper consume 200 MTM, otras 250 MTM son vendidas en el Perú y 700 MTM son vendidas para proyectos de lixiviación en Chile.

2.4.4. Precio del Ácido Sulfúrico

El precio del ácido sulfúrico, en promedio, tal como se muestra en el Cuadro 2.14, el 2012 se registró 116.64 US\$/TM. Este producto es un “*commodity*”¹² por lo que, su precio varía constantemente en el tiempo. Para el 2010 se registró una venta de promedio de 35 US\$/TM.

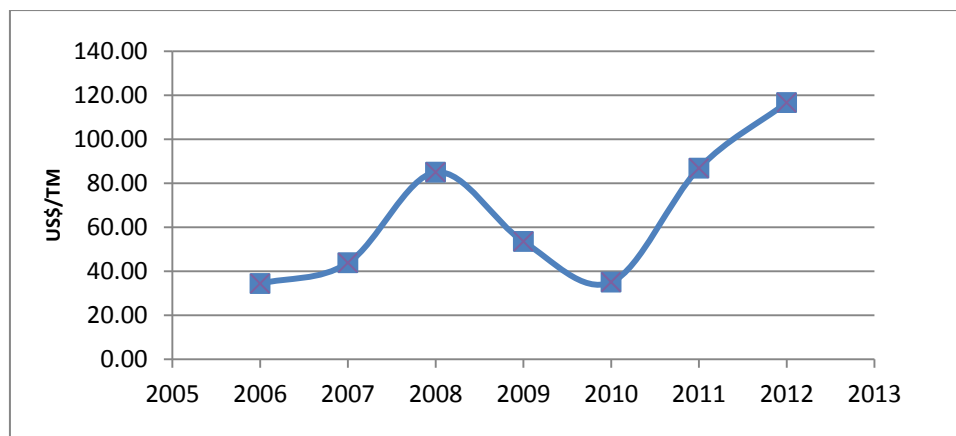
¹² *Commodity*: Son bienes que conforman las materias primas esenciales de nuestra economía y del mundo, constituyen una alternativa más de inversión para distintos perfiles de inversionistas

Cuadro 2.14 Precio del Ácido Sulfúrico 2006 - 2012 (US\$/TM)

Año	US\$/TM
2006	34.39
2007	43.79
2008	85.02
2009	53.51
2010	35.02
2011	86.83
2012	116.64

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera

Durante el año 2006 al 2012, el precio del ácido sulfúrico es de 60 US\$/TM, en promedio. Siendo el pico más alto, alcanzado en el año 2012, de 116.64 US\$/TM. Se ha venido observando que al ofertarse más cantidad de este producto, el precio se ha ido elevando. Para el 2008 se tuvo un incremento de 40 US\$/TM en el precio debido a la demanda de este producto orientada a la producción de fertilizantes.

Gráfico 2.29 Precio del Ácido Sulfúrico 2006 - 2012

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración propia

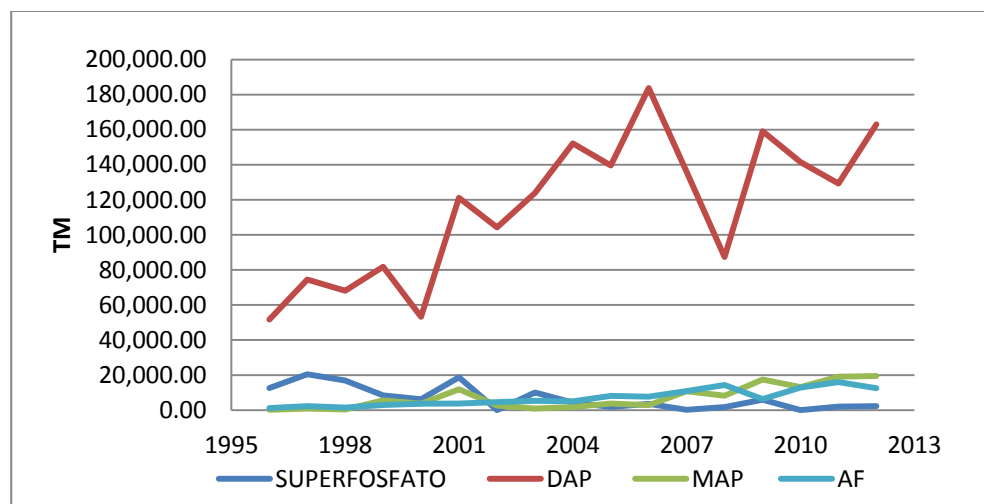
2.5. Demanda del Mercado Nacional de Productos Fosfatados Finales

El panorama de importación anual de los productos fosfatados objetivo, según SUNAT-Operatividad Aduanera, desde el año 1996 hasta el año 2012, es como se muestra en la Cuadro 2.15.

Cuadro 2.15 Importación Anual de Productos Fosfatados (TM) 1996 - 2012

Año / Producto	SUPERFOSFATOS	DAP	MAP	AF
1996	12,645.42	51,666.37	225.66	1,239.59
1997	20,452.27	74,510.49	907.93	2,253.81
1998	16,874.57	68,093.31	418.51	1,489.20
1999	8,401.28	81,793.58	5,579.27	2,934.91
2000	6,221.74	53,189.32	3,689.40	3,708.29
2001	18,718.50	121,166.51	11,845.84	3,744.19
2002	12.11	104,228.83	2,691.50	4,613.83
2003	10,040.49	123,855.28	902.69	5,285.51
2004	4,290.78	152,169.15	1,769.63	4,989.26
2005	1,871.29	139,576.67	3,742.07	8,101.63
2006	3,606.37	183,752.35	2,849.07	7,654.96
2007	240.00	135,883.47	10,798.24	10,873.56
2008	1,764.72	87,395.83	8,238.66	14,385.07
2009	5,949.35	159,067.96	17,442.67	6,293.69
2010	0.00	141,531.55	13,190.29	12,858.50
2011	1,988.42	129,268.50	19,093.39	16,015.76
2012	2,300.18	162,996.34	19,435.02	12,473.87

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera

Gráfico 2.30 Importación Anual de Productos Fosfatados (TM) 1996 - 2012

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración propia

Como se ha venido observando, ver Gráfico 2.30, según SUNAT-Operatividad Aduanera, Perú tiene mayor predisposición para el consumo de Fosfato Diamónico (DAP), debido a las importantes características que posee como fertilizante. Se debe señalar que, la demanda nacional es netamente de importación.

2.5.1. Importación de Superfosfatos

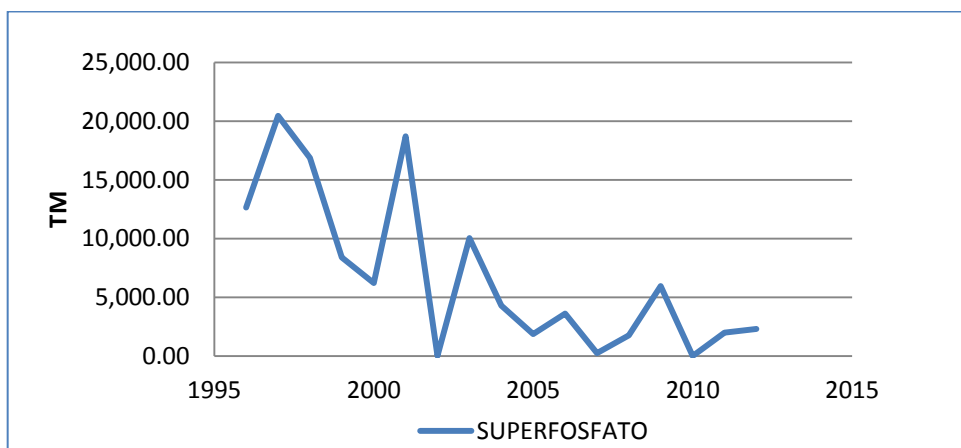
La importación anual de superfosfatos simples y triples, según SUNAT-Operatividad Aduanera, desde el año 1996 hasta el año 2012, es como sigue en el Cuadro 2.16:

En el Gráfico 2.31, se aprecia el decrecimiento de la demanda de superfosfatos triples y simples desde el año 1997, que tuvo un pico de aproximadamente 20 MTM de importación hasta el último pico registrado en el 2009 con 5 MTM.

Cuadro 2.16 Importación Anual de Superfosfatos. 1996 - 2012

Superfosfatos		
Año	CIF (US\$)	Peso Neto (TM)
1996	2,652,427.13	12,645.42
1997	4,133,959.84	20,452.27
1998	3,394,788.57	16,874.57
1999	1,557,738.48	8,401.28
2000	1,052,762.68	6,221.74
2001	2,949,282.45	18,718.50
2002	15,515.14	12.11
2003	1,555,735.83	10,040.49
2004	928,474.92	4,290.78
2005	438,419.30	1,871.29
2006	843,261.49	3,606.37
2007	108,779.20	240.00
2008	1,149,830.00	1,764.72
2009	1,986,069.91	5,949.35
2010	20.33	0.01
2011	910,776.47	1,988.42
2012	1,171,846.25	2,300.18

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera

Gráfico 2.31 Importación Anual de Superfosfatos. 1996 - 2012

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración propia

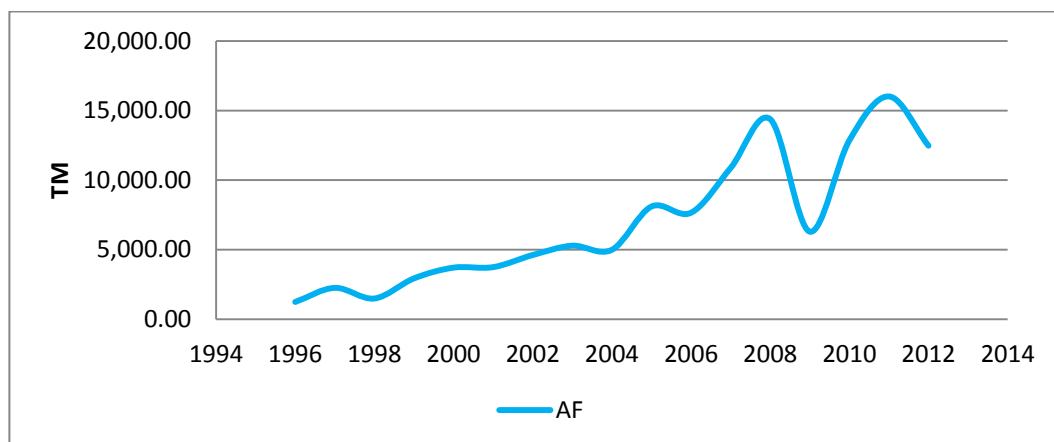
2.5.2. Importación de Ácido Fosfórico (85%)

La importación anual de ácido fosfórico (85%), *Food Grade*, según SUNAT-Operatividad Aduanera, desde el año 1996 hasta el 2012, es como sigue en el Cuadro 2.17:

Cuadro 2.17 Importación Anual de Ácido Fosfórico. 1996 - 2012

Ácido Fosfórico (85%)		
Año	CIF (US\$)	Peso Neto (TM)
1996	993,314.66	1,239.59
1997	1,712,954.69	2,253.81
1998	1,064,644.03	1,489.20
1999	1,821,696.85	2,934.91
2000	2,081,601.89	3,708.29
2001	1,987,328.00	3,744.19
2002	2,271,885.45	4,613.83
2003	2,448,030.47	5,285.51
2004	2,617,724.08	4,989.26
2005	5,464,804.38	8,101.63
2006	4,775,304.10	7,654.96
2007	6,927,543.07	10,873.56
2008	19,838,958.94	14,385.07
2009	5,798,838.04	6,293.69
2010	11,100,260.47	12,858.50
2011	14,893,611.54	16,015.76
2012	12,504,371.25	12,473.87

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera

Gráfico 2.32 Importación Anual de Ácido Fosfórico. 1996 - 2012

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración Propia

En el Cuadro 2.17 se distingue el crecimiento de la demanda ácido fosfórico al 80%, con los dos últimos picos en el año 2008 y 2011 de 14 y 16 MTM importadas, y valores FOB de 13.7 y 18.5 MMUS\$ respectivamente.

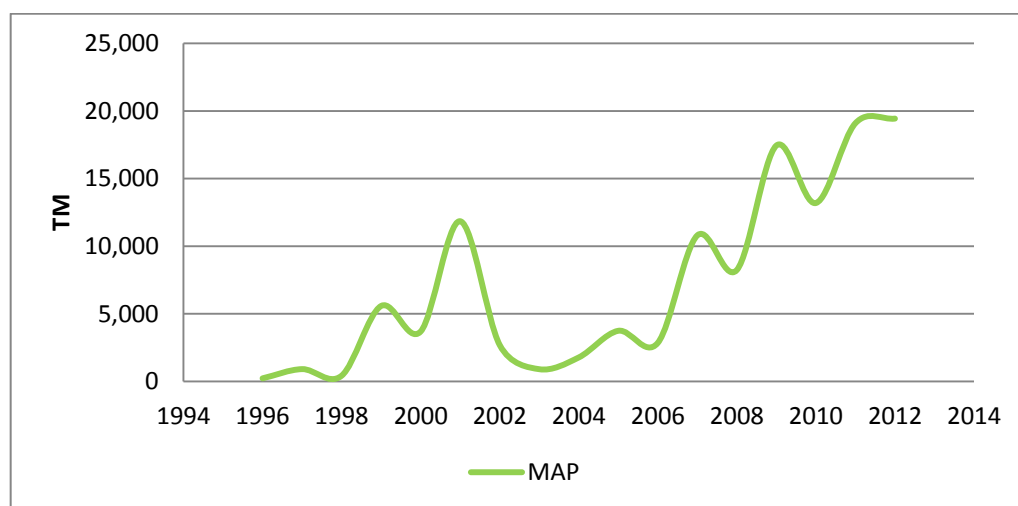
2.5.3. Importación de Fosfato Monoamónico (MAP)

La importación anual de Fosfato Monoamónico (MAP), según SUNAT-Operatividad Aduanera, desde el año 1996 hasta el 2012 se observa en el Cuadro 2.18.

Cuadro 2.18 Importación Anual de Fosfato Monoamónico (MAP) 1996 - 2012

Fosfato Monoamónico (MAP)		
Año	CIF (US\$)	Peso Neto (TM)
1996	166,768.52	225.66
1997	278,736.38	907.93
1998	292,847.42	418.51
1999	1,679,471.76	5,579.27
2000	838,817.24	3,689.40
2001	2,466,956.89	11,845.84
2002	675,810.67	2,691.50
2003	452,350.08	902.69
2004	996,994.40	1,769.63
2005	2,789,243.43	3,742.07
2006	1,162,346.64	2,849.07
2007	5,355,548.21	10,798.24
2008	8,345,816.95	8,238.66
2009	7,012,557.05	17,442.67
2010	8,400,495.12	13,190.29
2011	13,849,417.74	19,093.39
2012	13,819,078.69	19,435.02

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera

Gráfico 2.33 Importación Anual de Fosfato Monoamónico (MAP). 1996 - 2012

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración propia

En el Gráfico 2.33, se observa la tendencia creciente desde el año 2005 en adelante y, a su vez, se destacan cantidades importadas constantes en los dos últimos años.

2.5.4. Importación de Fosfato Diamónico (DAP)

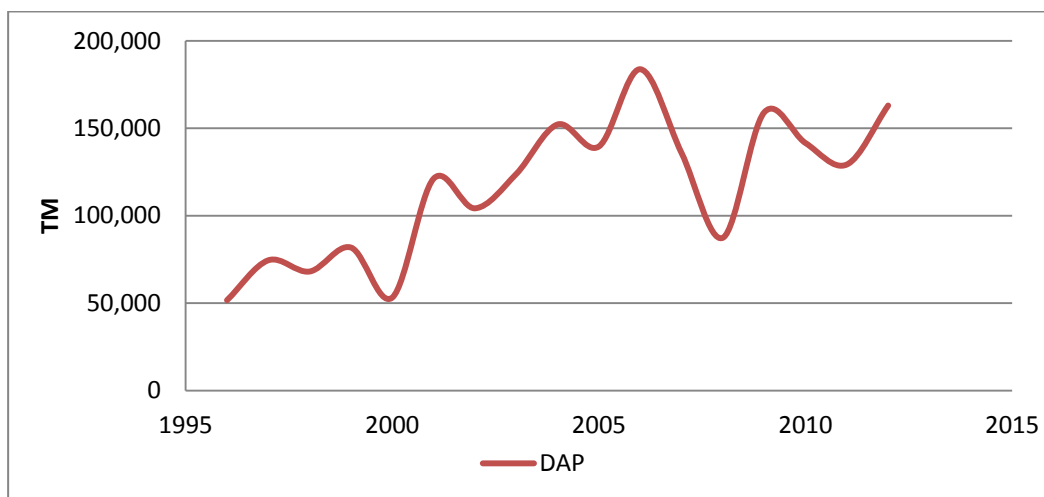
La importación anual de Fosfato Diamónico (DAP), según SUNAT-Operatividad Aduanera, desde el año 1996 hasta el 2012 se describe en el Cuadro 2.19.

Cuadro 2.19 Importación Anual de Fosfato Diamónico (DAP) 1996 - 2012

Fosfato Diamónico (DAP)		
Año	CIF (US\$)	Peso Neto (TM)
1996	12,823,686.39	51,666.37
1997	17,292,483.22	74,510.49
1998	15,740,453.66	68,093.31
1999	17,096,251.33	81,793.58
2000	9,298,368.23	53,189.32
2001	21,223,474.89	121,166.51
2002	18,798,615.85	104,228.83
2003	23,624,929.78	123,855.28
2004	38,386,678.13	152,169.15
2005	39,202,030.22	139,576.67
2006	52,974,467.51	183,752.35
2007	61,996,682.40	135,883.47
2008	70,522,331.22	87,395.83
2009	55,313,155.00	159,067.96
2010	72,504,374.26	141,531.55
2011	83,738,768.68	129,268.50
2012	94,831,141.72	162,996.34

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera

Como se distingue en el Gráfico 2.34 el pico más alto de importación se realizó en el año 2006, con más de 180 MTM de este importante fertilizante, luego se registró en el año 2009 y 2012 picos de más de 159 y 162 MTM respectivamente.

Gráfico 2.34 Importación Anual de Fosfato Diamónico (DAP). 1996 - 2012

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración Propia

2.6. Demanda del Sector Agrícola

La demanda del sector agrícola está orientada hacia el Fosfato Monoamónico, Fosfato Diamónico y los Superfosfatos, según el MINAGRI.

Una forma de evaluar la demanda y destino de los fertilizantes fosfatados es la cantidad de suelos beneficiados, analizando la cantidad de hectáreas sembradas.

El Cuadro 2.20 muestra la distribución de áreas cultivadas en el territorio nacional, observándose que la mayor parte de ellas se hallan en el sur, seguidamente por el norte, centro y oriente.

En el último período agosto-enero 2012-2013^{p/}, ver Gráfico 2.36, la región centro muestra un 27% de desarrollo reflejado en las regiones de Ancash, Lima, Callao, Ica, Huánuco, Pasco, Junín y Huancavelica. Este 27% de suelos cultivados se vería directamente beneficiado pues este proyecto se desarrollaría en el valle del Mantaro, Junín. A su vez, se tiene como objetivo cubrir las zonas geográficas sur y norte, por ser las más productivas y sin dejar de lado el significativo 11% que representa la zona geográfica oriental.

**Cuadro 2.20 Siembras de los Principales Cultivos, según Zonas Geográficas
2008 - 2013, en Ha**

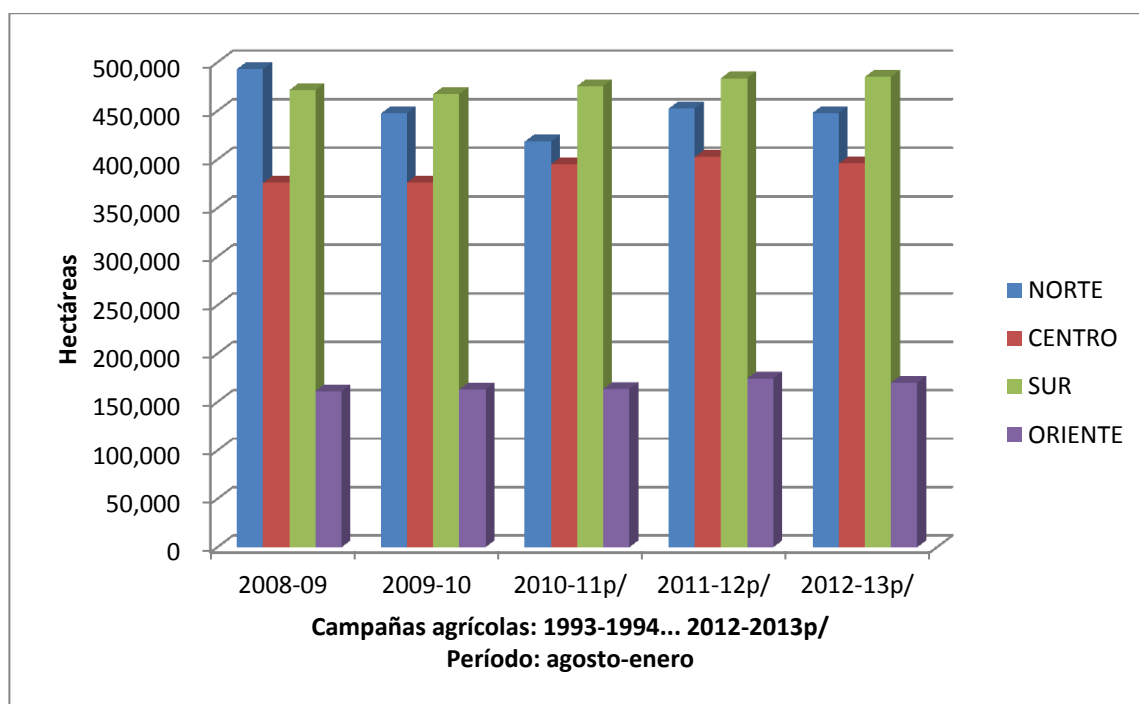
Zonas geográficas	2008-09	2009-10	2010-11 ^{p/}	2011-12 ^{p/}	2012-13 ^{p/}
NORTE	493,143	447,353	418,513	452,435	447,966
CENTRO	375,944	376,537	394,956	402,683	395,797
SUR	471,413	467,301	475,761	483,806	485,161
ORIENTE	161,299	163,140	163,476	174,403	169,958
TOTAL NACIONAL	1,501,800	1,454,330	1,452,706	1,513,327	1,498,882

p/ Preliminar

Fuente: Gerencias/Direcciones Regionales de Agricultura -Sub Gerencia/ Dirección de Estadística /Dirección de Información Agraria - Evaluación Agrícola ,Mensual

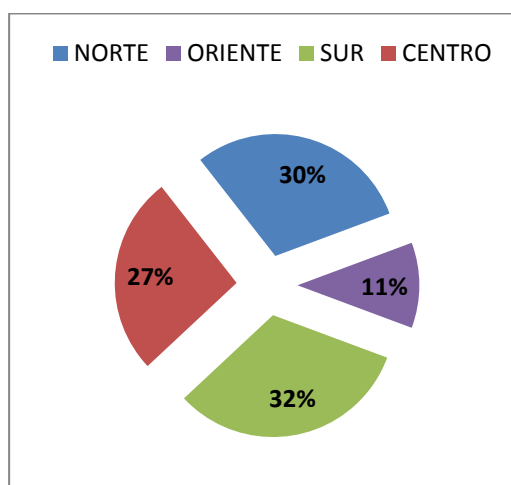
Elaboración: Ministerio de Agricultura - Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos - Elaboración propia

**Gráfico 2.35 Siembras de los Principales Cultivos, según Zonas Geográficas
y Regiones Agosto 2008 a enero 2013, en Ha**



Fuente: Gerencias/Direcciones Regionales de Agricultura -Sub Gerencia/ Dirección de Estadística /Dirección de Información Agraria - Evaluación Agrícola ,Mensual

Elaboración: Ministerio de Agricultura - Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos - Elaboración propia

Gráfico 2.36 Hectáreas Sembradas en el Período agosto-enero 2012-2013^{pl}

Fuente: MINAGRI, Elaboración propia

2.6.1. Importación de Fertilizantes en el Sector Agrícola

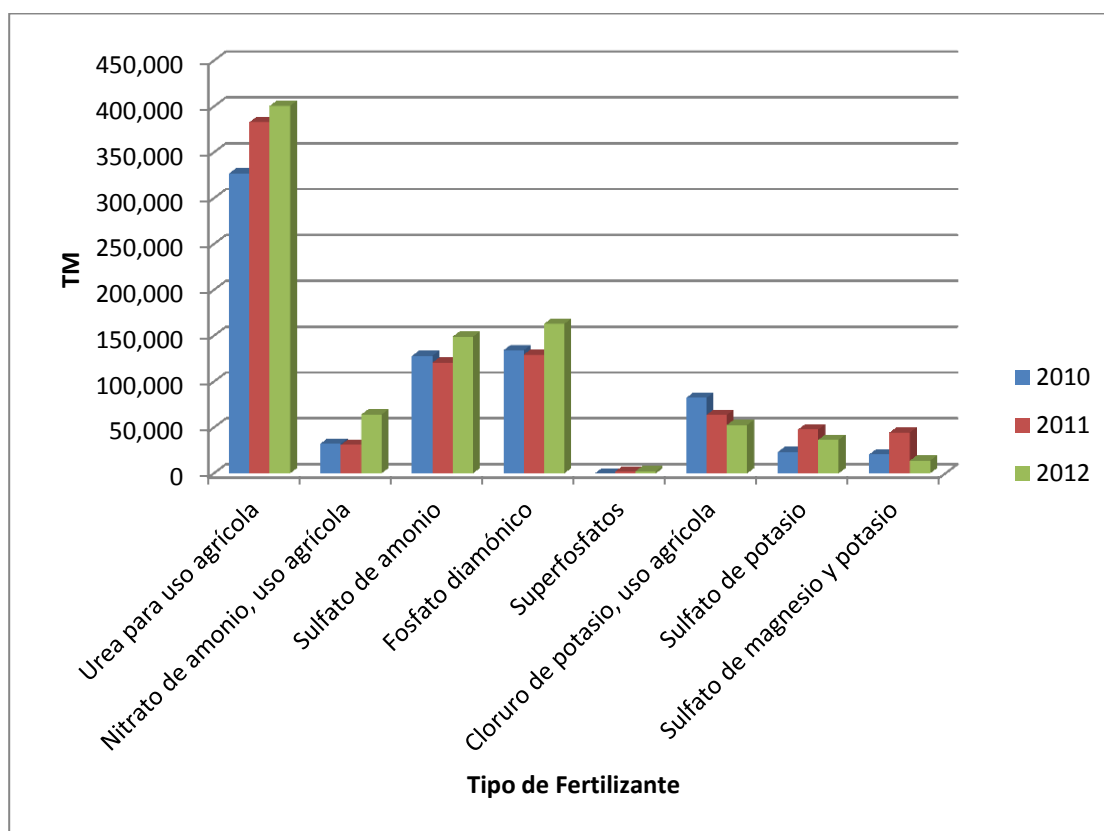
La importación anual de fertilizantes según el Ministerio de Agricultura y Riego, es como sigue:

Cuadro 2.21 Importación Anual por Tipo de Fertilizante. 2010 - 2012, TM

Tipo de Fertilizante / Año	2010	2011	2012
Urea para uso agrícola	327,046	382,951	400,732
Nitrato de amonio, uso agrícola	32,443	31,037	64,114
Sulfato de amonio	128,070	120,617	149,043
Fosfato diamónico	134,140	129,393	162,993
Superfosfatos	0	2,014	2,304
Cloruro de potasio, uso agrícola	82,362	63,819	52,858
Sulfato de potasio	23,219	47,845	36,589
Sulfato de magnesio y potasio	20,587	44,531	13,793
Total	747,866	822,206	882,425

Fuente: MINAGRI

Elaboración: Ministerio de Agricultura - Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos

Gráfico 2.37 Importación Anual por tipo de Fertilizante 2010-2012

Fuente: MINAGRI, Elaboración propia

Como se observa en el Gráfico 2.37, la urea para uso agrícola, el sulfato de amonio y el fosfato diamónico son los 3 principales fertilizantes importados en estos tres últimos años. Es de interés de esta investigación analizar la demanda productos fosfatados, en ese sentido se observa que el fosfato diamónico posee una demanda promedio de 142,175 TM anuales, cantidad relativamente alta en comparación con los superfosfatos, del cual sólo se importa 2,304 TM por año.

2.6.2. Importación registrada en SUNAT-Operatividad Aduanera y el MINAGRI

Como se señaló anteriormente la demanda del Fosfato Diamónico (DAP), Fosfato Monoamónico (MAP) y los Superfosfatos (SP) son íntegramentes demandados por el sector agrícola, para lo cual se compara la cantidad

importada y registrada en SUNAT-Operatividad Aduanera, con la demanda registrada en el MINAGRI en los tres (3) últimos años. Ver Cuadro 2.22

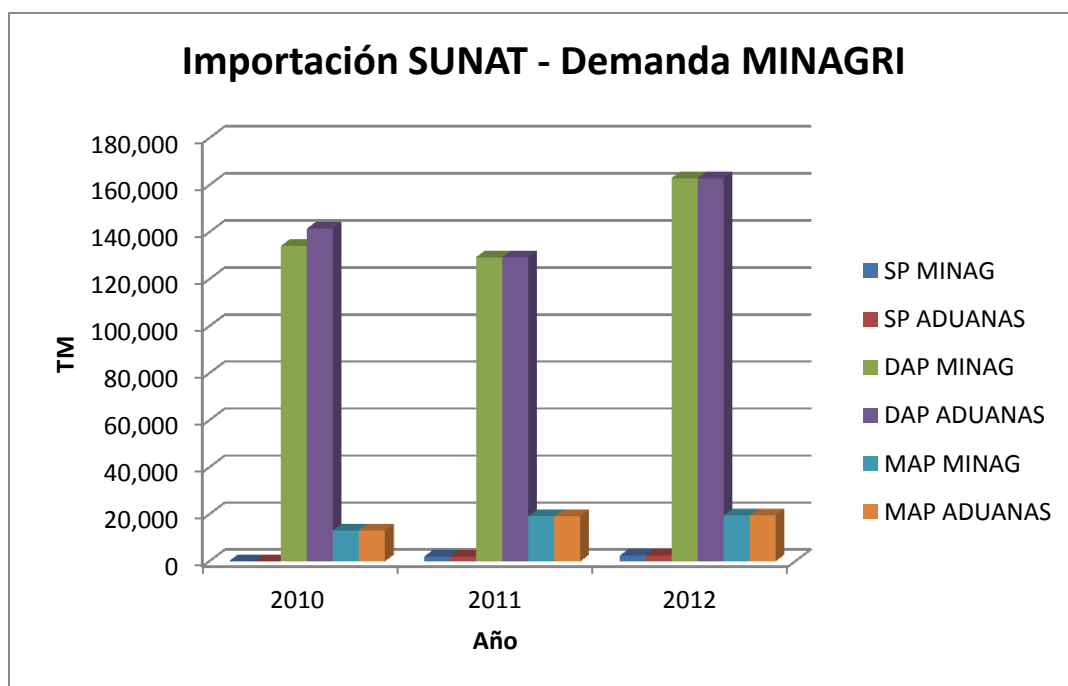
Producto de la comparación se reafirma la que la demanda los fertilizantes SP, MAP y DAP son íntegramente utilizados en el mercado nacional agrario.

Cuadro 2.22 Importación de SUNAT-Operatividad Aduanera vs Demanda MINAGRI (TM) 2010 - 2012

Año	SP MINAGRI	SP SUNAT	DAP MINAGRI	DAP SUNAT	MAP MINAGRI	MAP SUNAT
2010	0.00	0.00	134,140	141,531.55	13,190.29	13,190.29
2011	2,014	1,988.42	129,393	129,268.50	19,093.39	19,093.39
2012	2,304	2,300.18	162,993	162,996.34	19,435.02	19,435.02

Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Ministerio de Agricultura y Riego - Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos

Gráfico 2.38 Importación de SUNAT vs Demanda MINAGRI. 2010 - 2012



Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Ministerio de Agricultura - Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos – Elaboración propia

De acuerdo a esta información, se indica que producir DAP es mucho más beneficioso para el mercado nacional en base a la paridad con la demanda agrícola.

2.6.3. Precios Nacionales de los Fertilizantes Importados

El Perú importa una amplia gama de fertilizantes nitrogenados, fosfatados, sulfatados, etc. Es importante saber el precio de venta al público, en el mercado nacional, de los principales fertilizantes químicos a fin de analizar la demanda frente al precio de los fertilizantes fosfatados.

Al respecto, en el mercado nacional encontramos el Cuadro 2.23:

El Cuadro 2.23 indica que el Fosfato Diamónico mantiene un precio mayor a los demás fertilizantes en varias regiones donde es comercializado, a su vez el Superfosfato mantiene un segundo lugar y en ocasiones con mayores precios.

De acuerdo al referido cuadro, el Fosfato Diamónico y el Superfosfato Triple poseen altos precios de venta en comparación a los demás fertilizantes. Sin embargo, como ya se observó anteriormente, la irrisoria demanda de superfosfato no justifica su producción interna inclusive con el elevado precio que ostenta. Por otro lado, el Fosfato diamónico reafirma su importancia al mostrar que su alto precio no afecta su demanda, lo cual justifica su producción interna.

Cuadro 2.23 Precio Promedio de Venta de Principales Fertilizantes Químicos

Principales Fertilizantes Químicos									
Región	Urea	Nitrato de amonio ^{1/}	Sulfato de amonio	Fosfato diamónico	Superf. de calcio triple	Cloruro de potasio	Sulfato de potasio	Sulf. de mag. y potasio	Roca Fosfórica
Amazonas	1,711	0	0	2,095	2,195	2,055	2,200	1,713	662
Ancash	1,605	1,617	1,150	2,138	2,130	2,129	2,467	1,884	...
Apurímac	1,927	1,942	0	2,123	2,305	1,924	2,238	2,150	1,030
Arequipa	1,404	1,379	993	1,910	2,200	1,830	2,137	1,607	...
Ayacucho	1,889	1,786	0	2,141	2,346	2,236	2,643	0	965
Cajamarca	1,570	1,819	1,084	2,094	2,240	2,090	2,540	1,840	700
Cusco	1,753	1,764	1,423	2,171	2,188	2,216	2,503	1,567	985
Huancavelica	1,763	1,784	0	2,157	0	2,044	0	0	1,100
Huánuco	1,691	1,826	1,140	2,180	2,081	2,250	2,176	2,057	740
Ica	1,407	1,448	980	1,932	0	1,840	2,198	2,027	...
Junín	1,518	1,552	0	1,913	2,167	1,820	2,207	1,769	670
La Libertad	1,512	1,452	934	2,000	2,165	2,270	2,270	1,753	...
Lambayeque	1,386	1,617	866	1,911	0	2,000	2,253	1,833	...
Lima	1,436	1,467	1,037	1,993	2,025	1,889	2,191	1,690	575
Loreto	2,453	2,160	1,220	2,870	2,890	2,645	0	1,815	1,790
Madre de Dios	1,992	0	1,470	2,445	2,600	2,224	2,560	0	1,410
Moquegua	1,580	1,590	1,320	1,980	0	0	2,333	1,847	...
Pasco	1,934	1,756	1,400	2,215	2,097	1,976	1,993	2,015	820
Piura	1,482	1,517	881	2,141	2,100	2,105	2,274	1,633	556
Puno	1,668	1,720	0	2,106	2,300	2,197	0	0	933
San Martín	1,603	0	1,073	2,215	2,100	2,400	2,420	1,735	824
Tacna	1,385	1,385	1,107	1,895	2,120	0	2,210	1,860	...
Tumbes	1,563	1,700	1,023	2,055	0	0	2,275	0	...
Ucayali	2,134	1,700	1,073	2,502	2,040	2,254	2,615	2,100	732

Mes: Enero 2013 (S./TM)

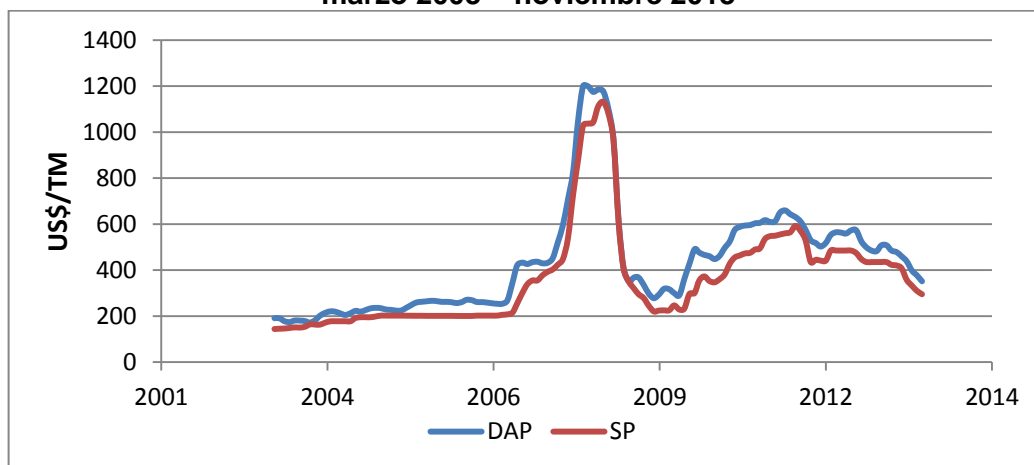
Fuente: Direcciones Regionales de Agricultura.

Elaboración: Ministerio de Agricultura - Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos - Unidad de Estadística.

2.6.4. Precios Internacionales de los Fertilizantes Importados

Es importante analizar los precios internacionales del DAP y SP a fin de evaluar su evolución en el tiempo y compararlos con los precios en el mercado nacional.

**Gráfico 2.39 Evolución de Precios Internacionales del DAP y SP.
marzo 2003 – noviembre 2013**



Fuente: INDEXMUNDI, Elaboración propia

El Gráfico 2.39 muestra la evolución de los precios del DAP y SP hasta noviembre de 2013, se observa que el precio del DAP se mantiene superior y en ocasiones igual al precio del SP. Ambos fertilizantes mantienen un precio de alrededor 400 US\$/TM en los últimos meses del año 2013.

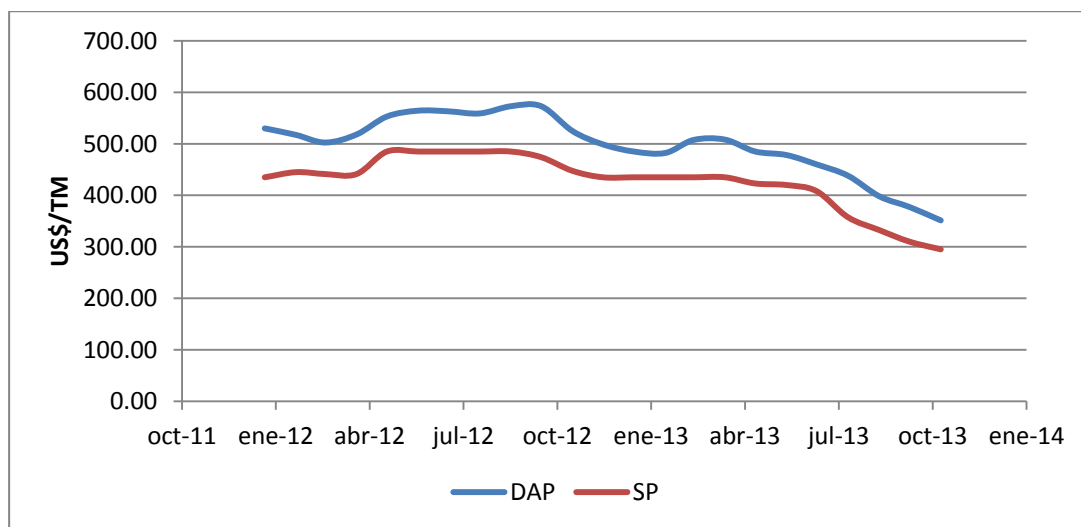
A continuación se evalúa desde el año 2012 hasta el mes de octubre de 2012 en el Cuadro 2.24

Cuadro 2.24 Precio Internacional DAP y SP desde octubre de 2012 a noviembre de 2013 US\$/TM

Año	DAP	SP
Oct-12	573.00	474.00
Nov-12	524.80	447.50
Dic-12	499.00	435.00
Ene-13	485.00	435.00
Feb-13	482.25	435.00
Mar-13	507.50	435.00
Abr-13	508.25	435.00
May-13	485.10	423.00
Jun-13	478.25	420.00
Jul-13	460.00	408.00
Ago-13	438.13	357.50
Sep-13	398.13	332.50
Oct-13	377.3	310.00
Nov-13	351.25	295.00

Fuente: INDEXMUNDI

Gráfico 2.40 Precio Internacional DAP y SP desde el año 2012 a noviembre de 2013



Fuente: INDEXMUNDI, Elaboración propia

En el Cuadro 2.25, para el mes de octubre de 2013, del cual se tiene los precios CIF en soles del DAP y SP por región, se compara con el Precio Internacional FOB del DAP y el SP. En este sentido se toma el promedio del tipo de cambio de octubre y se calcula en Soles/TM el precio internacional FOB; por lo que se procede a calcular el Margen Bruto por Región. Cabe indicar que el margen Bruto incluye Impuestos, Flete y el Margen Neto.

Cuadro 2.25 Margen Comercial Bruto por Región para el DAP y SPT Octubre 2013

Región	Fosfato Diamónico			Superfosfato Triple		
	Precio Nacional (CIF) (Soles/TM)	Precio Internacional (FOB) (Soles/TM)	Margen Bruto (Soles/TM)	Precio Nacional (CIF) (Soles/TM)	Precio Internacional (FOB) (Soles/TM)	Margen Bruto (Soles/TM)
Amazonas	2095.00	1,048.48	1,046.52	2,195.00	1209.30	985.70
Ancash	2138.40	1,048.48	1,089.92	2,130.00	1209.30	920.70
Apurímac	2122.50	1,048.48	1,074.02	2,305.00	1209.30	1,095.70
Arequipa	1910.00	1,048.48	861.52	2,200.00	1209.30	990.70
Ayacucho	2141.25	1,048.48	1,092.77	2,346.33	1209.30	1,137.03
Cajamarca	2094.40	1,048.48	1,045.92	2,240.00	1209.30	1,030.70
Cusco	2171.39	1,048.48	1,122.91	2,188.33	1209.30	979.03
Huancavelica	2157.00	1,048.48	1,108.52	0.00	0.00	0.00
Huánuco	2179.58	1,048.48	1,131.11	2,080.67	1209.30	871.37
Ica	1932.47	1,048.48	883.99	0.00	0.00	0.00
Junín	1913.33	1,048.48	864.86	2,166.67	1209.30	957.37
La Libertad	1999.80	1,048.48	951.32	2,165.00	1209.30	955.70
Lambayeque	1911.48	1,048.48	863.00	0.00	0.00	0.00
Lima	1992.81	1,048.48	944.34	2,025.00	1209.30	815.70
Loreto	2870.00	1,048.48	1,821.52	2,890.00	1209.30	1,680.70
Madre de Dios	2445.00	1,048.48	1,396.52	2,600.00	1209.30	1,390.70
Moquegua	1980.00	1,048.48	931.52	0.00	0.00	0.00
Pasco	2215.00	1,048.48	1,166.52	2,096.67	1209.30	887.37
Piura	2141.39	1,048.48	1,092.91	2,100.00	1209.30	890.70
Puno	2106.25	1,048.48	1,057.77	2,300.00	1209.30	1,090.70
San Martín	2215.00	1,048.48	1,166.52	2,100.00	1209.30	890.70
Tacna	1895.00	1,048.48	846.52	2,120.00	1209.30	910.70
Tumbes	2055.00	1,048.48	1,006.52	0.00	0.00	0.00
Ucayali	2502.22	1,048.48	1,453.75	2,040.00	1209.30	830.70

Fuente: MINAGRI, INDEXMUNDI

En el Cuadro 2.25 los márgenes referenciales indican que las regiones costeras o cercanas a la costa adquieren los fertilizantes con márgenes menores debido a los puertos de desembarque que albergan estas regiones, y a su cercanía a ellas.

Por otro lado el Precio del MAP se encuentra siempre muy cercano por ligeramente por encima del DAP, porque poseen casi la misma composición y proceso de elaboración.

2.6.5. Precios de los Fertilizantes en el Mercado Regional

Según el ODEPA, que es la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Ministerio de Agricultura de Chile, servicio de información de la agricultura chilena, y AGRONET, que es la red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano que tiene como objetivo ofrecer información del sector agropecuario a través de un solo punto de acceso virtual; señalan los siguientes precios a los cuales son expendidos el fertilizante MAP y DAP dentro de su ámbito nacional.

Cuadro 2.26 Precios CIF de Fertilizantes en Chile US\$/TM

Fertilizante	Precio mín	Precio máx
Fosfato Monoamónico	616.87	650.61
Fosfato Diamónico	611.24	685.11

Fuente: ODEPA Chile

Cuadro 2.27 Precio FOB del DAP en Colombia US\$/TM

Fosfato Diamónico	Precio
Nov-12	525.00
Dic-12	499.00
Ene-13	485.00
Feb-13	482.00
Mar-13	508.00
Abr-13	508.00

Fuente: AGRONET Colombia

Al respecto, se observa que tanto para Colombia y Chile el precio del MAP y DAP oscila entre los 500 y 700 US\$/TM, si bien la muestra tomada fue de solo 2 países, podría tomarse en cuenta estos indicadores para la región debido a que tanto Colombia y Chile se encuentran en el norte y sur de la región Sudamérica.

2.7. Ruta de Comercialización Actual de Fertilizantes Fosfatados

Actualmente la comercialización de fertilizantes en el ámbito nacional se realiza como sigue en el Cuadro 2.28:

Cuadro 2.28 Ruta de Comercialización Actual de los Fertilizantes

Puerto de descarga de Fertilizantes	Destino
Puerto del Callao - Lima	Centro de la Costa Centro de la Sierra Centro de la Selva
Puerto de Salaverry - Trujillo	Norte de la Costa Norte de la Sierra Norte de la Selva
Puerto de Pisco - Pisco	Sur Chico de la Costa Parte del Sur de la Sierra
Puerto de Matarani - Arequipa	Sur Grande de la Costa Sur Grande de la Sierra

Fuente: Corporación Misti S.A.

2.8. Evaluación Técnica de los Procesos Industriales

2.8.1. Elaboración de Amoníaco

2.8.1.1. Licenciantes de la Tecnología

De acuerdo a la Revista Hydrocarbon Processing en su informe Petrochemical Processes 2010 reporta para la producción de Amoníaco las siguientes licenciantes de la tecnología:

- Casale SA, Ammonia
- Haldor Topsoe A/S
- Linde A/G
- Uhde GmbH
- Kellog Brown & Root LLC (KBR)

A continuación se describe la forma general los aspectos principales del proceso:

2.8.1.2. Descripción del Proceso de Amoníaco

La producción de Amoníaco puede ser considerada compuesta de dos pasos principales:

- i. Preparación del gas de síntesis de amoníaco compuesto a partir de nitrógeno e hidrógeno en una proporción molar de 1:3.
- ii. Síntesis y separación del amoníaco.

En el Gráfico 2.41, se muestra un diagrama de flujo simplificado para la producción de amoníaco por *Steam Reforming* del Gas Natural. En ese sentido, cada uno de los pasos se detalla en el orden en que se producen.

a. Proceso de Preparación del Gas de Síntesis

El gas de síntesis para la producción de amoníaco consiste en hidrógeno y nitrógeno en alrededor de 3:1 de relación molar, metano residual, argón introducido con el aire de proceso, y trazas de óxidos de carbono. Hay varios procesos disponibles para la generación de gas de síntesis, y cada uno se caracteriza por el material de alimentación específico utilizado. Una composición típica de síntesis del gas por volumen es: hidrógeno, 74%; nitrógeno, 24%; metano, 0,8%; argón, 0,3%; óxidos de carbono, 2 - 10 ppmv, y vapor de agua, 0,1 ppmv.

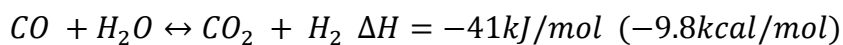
La fuente de nitrógeno es siempre aire, sin embargo, el hidrógeno puede ser derivado de una variedad de materias primas incluyendo agua, hidrocarburos ligeros y pesados resultantes de la refinación de petróleo, carbón, gas natural, y en ocasiones una combinación de estas materias primas. En todos los casos, parte del hidrógeno producido se deriva a partir de agua.

La preparación del gas de síntesis consiste en tres pasos:

- i. Conversión de materia prima.
- ii. Conversión de monóxido de carbono.

iii. La purificación de gas.

El Cuadro 2.29 muestra el proceso según la materia prima utilizada.



En el *Steam Reforming* el equilibrio se alcanza y se acerca a los procesos de oxidación parcial, se usa níquel como catalizador.

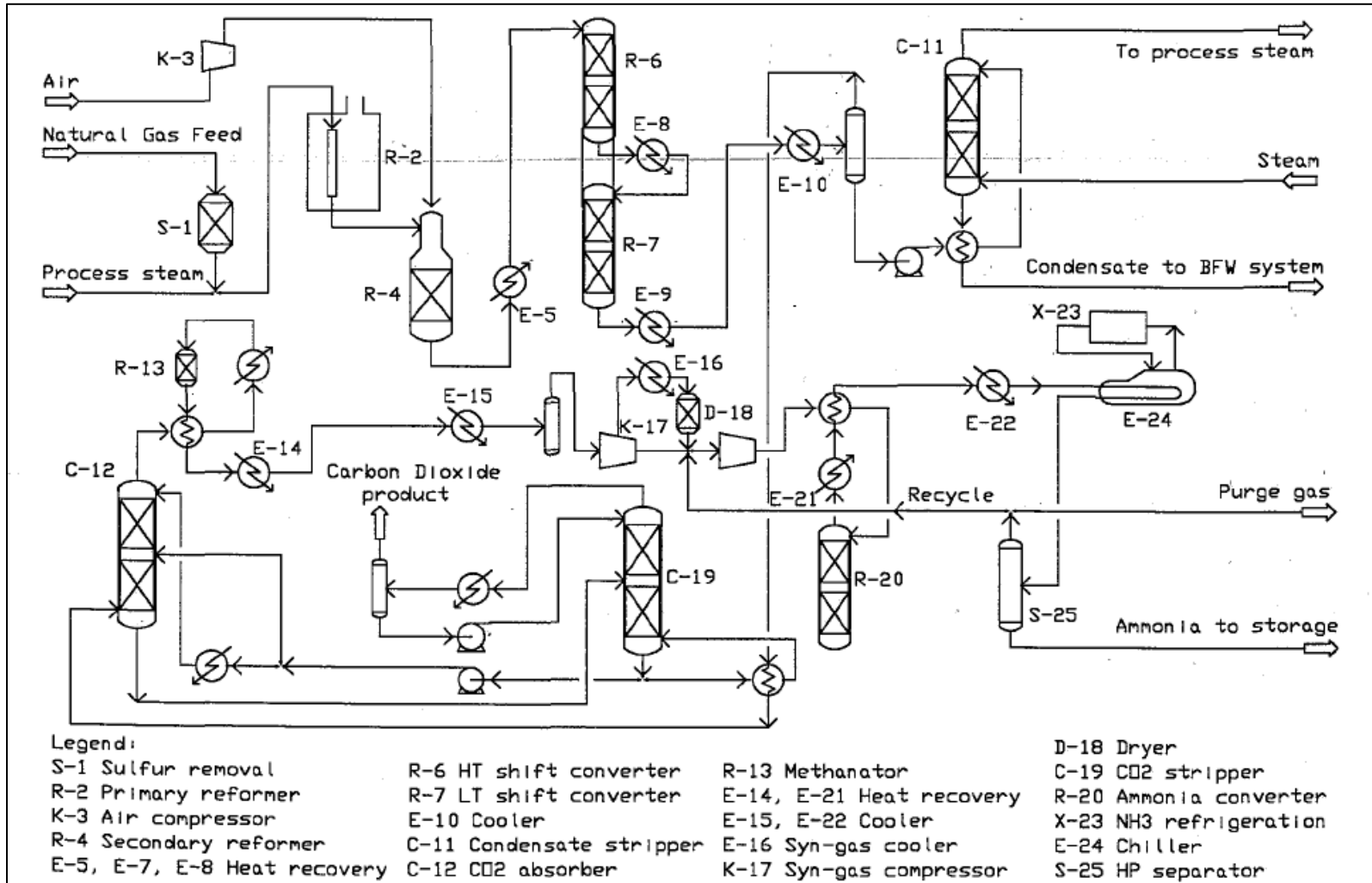
Cuadro 2.29 Materias Primas y Procesos para la Generación de Hidrógeno

Materia Prima	Descripción del Proceso	Reacciones de Conversión de Materia Prima
Gas Natural	Steam Reforming ¹	$C_nH_{(2n+2)} + nH_2O \rightarrow nCO + (2n+1)H_2$
Agua	Electrólisis	$nH_2O \rightarrow \frac{1}{2}nO_2 + nH_2$

¹ El níquel es usado como catalizador

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

Gráfico 2.41 Diagrama de Flujo Simplificado de la Producción de Amoníaco



Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

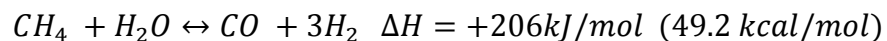
b. Steam Reforming

Preparación de la materia prima

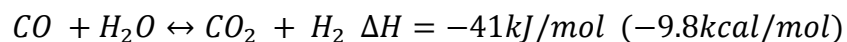
Como se ha mencionado anteriormente, el Gas Natural requiere purificación, en particular la eliminación de CO_2 y H_2S , lo cual es efectuado por el productor de Gas Natural si es transportado por ductos. Dependiente en la fuente, el Gas Natural puede contener trazas de polvo o gotas de líquido (aceite o agua), que deben ser eliminados por separadores, filtros, etc.

Reformación Primaria

El propósito de la Reformación Primaria es convertir la mayor parte del hidrocarburo alimentado a H_2 y CO por reacción con vapor.



El catalizador de níquel se utiliza en esta reacción. La conversión catalítica de la reacción también se produce en cierta medida:



La reacción global es endotérmica y requiere una gran cantidad de calor que se aplicará a los reactivos.

El reformador primario es un horno con tubos verticales dentro de los cuales hay una gran cantidad de catalizadores. El combustible se quema en el horno, el cual proporciona el calor necesario para la reacción que se produce en el interior de los tubos a $750 - 850^\circ\text{C}$. El material de alimentación precalentado y el vapor de alta presión en 3-4 kPa de presión se mezclan y entran por la parte superior del horno.

Reformación Secundaria

El gas que sale del reformador primario por lo general contiene 5%-15% de metano (base seca). El objeto de la etapa de reformado secundario es el de completar la conversión de metano a H_2 , CO y CO_2 y suministrar la proporción requerida de N_2 para la síntesis de NH_3 . Esto se hace mediante la adición de aire en la cantidad necesaria para dar una relación N:H atómica de 1:3 en el gas de síntesis después de la etapa de conversión. Esto significa que la relación molar de $N_2:(H_2 + CO)$ debe ser 1:3 en el gas que sale del reformador a menos que más N_2 o H_2 se pueda añadir en alguna etapa posterior del proceso. El oxígeno que acompaña al nitrógeno en el aire quema parte de los materiales combustibles (H_2 , CO y CH_4) en el gas parcialmente reformado, elevando así la temperatura lo suficientemente alta hasta la finalización rápida de la reformación.

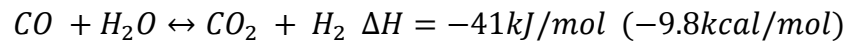
Un reformador secundario típico es un tanque cilíndrico aislado, revestido de ladrillos refractarios. La parte superior está vacía y sirve como una cámara de combustión en la que el gas del reformador primario está parcialmente oxidado por el aire precalentado. La parte inferior se llena con un catalizador similar al que en el reformador primario. El aire debe estar libre de polvo que podrían obstruir el lecho de catalizador y de los venenos de catalizador (S, Cl, y As). El aire se filtra, se comprime a la presión del reformador, y se mezcla con el gas en un quemador en la parte superior del recipiente. La combustión hace que la temperatura se eleve a alrededor de $1,200^{\circ}C$ en la cámara de combustión. A medida que el gas caliente que desciende a través del lecho de catalizador, se enfría por el requerimiento de energía por las reacciones endotérmicas de reformado, sale del reformador a una temperatura de alrededor de $950^{\circ} - 1,000^{\circ}C$. El gas en este punto contiene, sobre una base seca, alrededor del 56% H_2 , 12% de CO , 8% de CO_2 , 23% de N_2 , además de argón, y por lo general

menos de 0.5% de CH₄. También contiene el exceso de vapor que va desde un tercio a la mitad del volumen total de gas.

c. Procesamiento de Gas en Hidrógeno Puro

Conversión del monóxido de carbono

El gas del reformador secundario se enfría a aproximadamente 375°C, que es la temperatura habitual para la reacción conversión catalítica:



La reacción es exotérmica, por lo tanto, se lleva a cabo habitualmente en dos etapas con eliminación de calor entre los pasos. La velocidad de reacción es más rápida a altas temperaturas, pero el equilibrio es más favorable a temperaturas bajas. Por lo tanto, es una práctica común para operar el primer paso a temperatura superiores que en el segundo paso de manera que la mayor parte de CO se convierte en el primer paso (del 12% al contenido de 3% en el gas), y en el segundo paso se reduce el CO a menos de 1% (a menudo tan bajo como 0.2%).

Eliminación del dióxido de carbono

Después de salir de la etapa de conversión catalítica, el gas puede contener 18% CO₂ o más, dependiendo de la composición de materia prima. A continuación, se enfría, si es necesario, a un rango de temperatura que depende de los requisitos del absorbente utilizado en la etapa de eliminación del CO₂. La absorción en agua se usa comúnmente en las plantas. Se utiliza una solución de carbonato de potasio con diferentes aditivos para promover absorción de agua e inhibir la corrosión. La principal ventaja de la solución de carbonato de potasio es que tiene

más bajos requisitos de calor para separar el CO_2 del disolvente. Sin embargo, hay muchos otros disolventes, líquidos de uso, principalmente orgánicos, algunos de los cuales tienen una composición patentada.

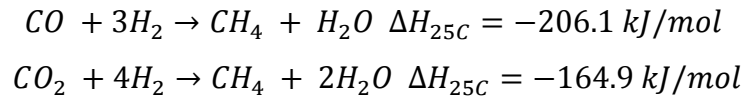
El sistema de carbonato de potasio opera principalmente absorción isotérmica de CO_2 a alta presión y CO_2 liberar a baja presión. En la paso de absorción la presión es típicamente alrededor de 3.0 kPa (la presión del reformador menos las pérdidas de presión), y la temperatura puede ser 100°C . El CO_2 es absorbido químicamente por la conversión de carbonato de potasio al bicarbonato. Cuando la solución la presión se reduce a aproximadamente la presión atmosférica, parte del vapor de agua y de CO_2 escapan. La liberación del CO_2 es asistida por arrastre de vapor. El vapor se eleva en el regenerador calentado por el gas del convertidor LTS catalítico, por lo que parte o la mayor parte del calor requerido por el proceso de eliminación de CO_2 se deriva del calor del gas entrante. La solución regenerada se devuelve al absorbedor.

En contraste el MEA opera en la absorción-regeneración en un diferencial de temperatura con la absorción a una temperatura relativamente baja, $27^\circ - 60^\circ\text{C}$, y en la regeneración $100^\circ - 140^\circ\text{C}$. Por lo tanto, es necesario enfriar el gas entrante al absorbedor y calentar la solución de MEA en el regenerador con vapor. El proceso de MEA ha sido mejorado por la adición de promotores e inhibidores de corrosión, lo que reduce los requerimientos de calor.

Metanización

El gas que sale del paso absorción CO_2 todavía contiene aproximadamente 0.3% de CO y 0.1% o menos. Estos óxidos deben ser eliminados antes de la etapa de síntesis del amoníaco, ya que disminuiría la actividad del catalizador de síntesis de amoníaco y causa deposición de

carbamato de amonio en el circuito de síntesis. Las reacciones metanización son:



Estas reacciones son el reverso de las reacciones de reformado, y se utiliza un catalizador similar a base de níquel. Se notará que cada molécula de CO y CO₂ consume tres o cuatro moléculas de H₂, respectivamente. Por lo tanto, es necesario para eliminar eficazmente el CO y CO₂ al nivel mínimo necesario.

La etapa de metanización se lleva a cabo habitualmente con un gas a temperatura de entrada de 300° - 350°C, por lo tanto, el gas debe ser precalentado a esa temperatura. Dado que la reacción es exotérmica, la temperatura puede elevarse a 320° - 400°C en la salida de gas, dependiendo del contenido de CO + CO₂ del gas. Un intercambiador de calor se utiliza comúnmente para precalentar el gas de entrada y enfriar el gas de salida.

Compresión

El gas de síntesis al salir de la metanización normalmente contiene alrededor de 74% de H₂, 24% N₂, 0.8% de CH₄, y 0.3% de otros compuestos dependiendo del Gas Natural, en base seca. El gas debe ser comprimido a la presión requerida por el paso de síntesis. La presión de síntesis varía ampliamente de 10 a 80 kPa dependiendo del proceso. El gas comprimido entra en el circuito de síntesis por varios puntos dependiendo del diseño del proceso.

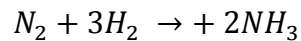
El secado del agua del gas de síntesis

El agua no se deja entrar en el convertidor de síntesis debido a su efecto adverso sobre el catalizador. Se utilizan tamices moleculares para eliminar el agua en el gas de síntesis a menos de 1 ppmv. Los tamices se encuentran normalmente entre las etapas del compresor de gas de síntesis. El gas procesado seco se puede combinar con el de reciclaje y se envía directamente al convertidor de amoníaco.

d. Síntesis de Amoníaco

Termodinámica y Cinética

La síntesis de amoníaco se compone de la siguiente reacción reversible de hidrógeno y nitrógeno.



Esta reacción es exotérmica, el calor neto de reacción es de aproximadamente 11,000 cal/gmol a 18°C (647 kcal/kg de NH₃), asumiendo que el NH₃ está en estado gaseoso. El calor neto liberado por la reacción se incrementa con el aumento de la temperatura y puede ser 15% - 20% más alta que en las condiciones de funcionamiento habituales de 400° - 500°C.

La cantidad de amoníaco presente en una mezcla en equilibrio a diferentes temperaturas y presiones fue experimentalmente desarrollado para presiones que van de 1,000 a 101,000 kPa (10 - 1,000 atm). Esto condujo al cálculo de la constante de equilibrio de la reacción, que es dependiente de la temperatura, la presión, y de la proporción de hidrógeno y nitrógeno presente.

Un catalizador, a menudo a base de hierro metálico, es siempre utilizado para formar amoníaco a partir reacción de hidrógeno y nitrógeno a una escala industrial. El catalizador hierro metálico está hecho principalmente de magnetita, Fe_3O_4 , que se ha sido promovido usando álcali en la forma de potasio y de metales, como el aluminio, calcio, o magnesio. Se debe tener cuidado porque el catalizador podría sufrir degradación térmica. También podría ser permanentemente envenenado por azufre, arsénico, fósforo, cloro, e hidrocarburos pesados; los compuestos que contienen oxígeno podrían causar envenenamiento temporal, que puede ser revertido si la exposición fue sólo por poco tiempo.

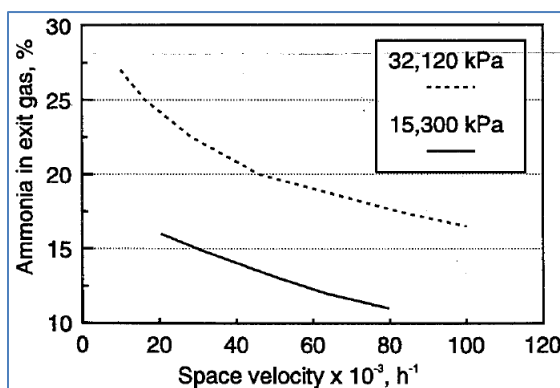
La presión de síntesis, temperatura de síntesis, velocidad espacial, composición del gas de entrada, y el tamaño de partícula del catalizador afectan la síntesis del amoníaco.

Como la reacción de amoníaco se lleva a cabo, hay una disminución en el volumen de los reactantes. Por lo tanto, el aumento de la presión aumenta el porcentaje de equilibrio de amoníaco y acelera la velocidad de reacción.

La reacción de la síntesis del amoníaco es exotérmica, por lo tanto, las temperaturas más altas aumentan las velocidades de reacción y la degradación térmica del catalizador. Pero la cantidad en equilibrio del amoníaco disminuye con un aumento de la temperatura.

La velocidad espacial, la relación de la tasa volumétrica de gas a condiciones estándar con el volumen del catalizador, disminuye el porcentaje de amoníaco en el gas a medida que aumenta. Sin embargo, si la velocidad espacial se incrementa mientras que el volumen del catalizador permanece constante, puede producirse más amoníaco. Esto se puede ver en el Gráfico 2.42. Las operaciones comerciales por lo general tienen velocidades espaciales entre $8,000$ y $60,000 \text{ h}^{-1}$.

Gráfico 2.42 El Amoníaco en el gas de salida como una función de la velocidad espacial



Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

El Cuadro 2.30 lista concentraciones de equilibrio de amoníaco para carga utilizando una relación de 3:1 de hidrógeno a nitrógeno y, o bien 0% o 10% inertes.

Cuadro 2.30 Contenido en Equilibrio de Amoníaco para un Gas Conteniendo una Relación Hidrógeno:Nitrógeno de 3:1

Equilibrio en % de Amoníaco				
Temperatura en K	Presión, kPa			
Usando 0% de Inertes	10,133	20,265	30,398	40,350
633	35.1	49.62	58.91	65.72
713	17.92	29.46	38.18	45.26
793	8.32	16.13	22.48	28.14
873	4.53	8.8	12.84	16.72
Usando 10% de Inertes				
633	28.63	40.53	48.14	53.7
713	14.6	24.06	31.21	37.02
793	7.18	13.16	18.38	23.04
873	3.69	7.17	10.49	13.68

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

El nivel de inertes como se ve en la Cuadro 2.30, la concentración de amoníaco, y la relación hidrógeno-nitrógeno determina el efecto de la composición del gas de entrada en la síntesis de amoníaco. La velocidad de reacción cambia con el amoníaco en la entrada de gas. Aunque la

relación óptima hidrógeno-nitrógeno puede ser un poco menos de 3:1, las instalaciones más comerciales funcionan a una relación hidrógeno-nitrógeno de 3:1. Para aumentar la actividad del catalizador, la partícula de catalizador debe hacerse más pequeña, por lo tanto la relación entre el área superficie del catalizador y su volumen aumenta. Las pequeñas partículas de catalizador también tienen una menor resistencia a la transferencia de masa dentro de la estructura de poros del catalizador. Los convertidores de Amoníaco de diseños radial y horizontal utilizan catalizadores más pequeños, que van desde 1.5 a 3.0 mm, para una mayor actividad. Por otro lado, los convertidores de flujo axial, utilizan principalmente catalizadores de 6 - 10 mm.

e. Tecnología de la Síntesis del Amoníaco

Como se mencionó anteriormente, la síntesis de amoníaco es comúnmente llevado a cabo a 400 - 450 °C, utilizando un catalizador de hierro promovido con potasio y alúmina. El gas que entra el convertidor se compone principalmente de gas distribuido en el circuito con una cantidad relativamente pequeña de gas de síntesis fresco llamado gas "*make up*". El gas que entra en el convertidor contiene N_2 y H_2 en una proporción de 1:3, más 10% - 14% "inertes" y alrededor de 2% de NH_3 . Los "inertes" consisten principalmente en metano, argón y helio, a veces si la materia prima del gas natural contiene este elemento (metano no es, estrictamente hablando, un gas inerte, pero el término se utiliza en contexto de la síntesis de amoníaco ya que no participa en la reacción).

Puesto que la concentración de gas inerte tiende a aumentar como se quitan la N_2 y H_2 , es necesario ventilar una corriente lateral de "gas de purga" para mantener el gas inerte concentración en un nivel tolerable.

Los convertidores de síntesis de amoníaco se diferencian en el tipo de flujo: axial, radial o de flujo cruzado. El reactor está diseñado para una

buena distribución de gas a través del lecho catalítico en caída de presión mínima. Los convertidores también difieren en la forma de controlar la temperatura de los reactivos (*quench* o enfriamiento indirecto) y la forma de recuperación de calor de reacción que se hace. El convertidor de enfriamiento rápido *quench* era popular en algunas ocasiones debido a su simple diseño. En el convertidor *quench*, sólo una parte de la recirculación entra en lecho del primer catalizador a unos 400 °C y sale del lecho alrededor de 500 °C. La temperatura del gas es enfriada rápidamente mediante la mezcla con enfriador (150 - 200 °C) de gas de reciclo antes de entrar en la siguiente lecho de catalizador.

En un convertidor indirecto refrigerado, los intercambiadores de calor son utilizados para enfriar el gas de salida de cada lecho. El calor se utiliza para precalentar el gas de entrada al convertidor o para producir vapor.

La eficiencia del catalizador mejora al aumentar el área de superficie del catalizador por unidad de volumen con una pequeña partícula tamaño de 1.5 - 3 mm en lugar de una de 6 - 10 mm. Las partículas pequeñas aumentan la velocidad de reacción, pero aumentan la caída de presión a menos que la velocidad del gas a través del lecho del catalizador se reduzca. Los convertidores de flujo radial proporcionan mayor área de flujo de gas en comparación con un convertidor de flujo axial. Todos los modernos diseños de bajo consumo utilizan diseños radial o tangencial con el control indirecto de la temperatura.

El gas que sale del convertidor contendrá de 12% - 18% de NH_3 , dependiendo principalmente de la presión, la conversión por paso con aumentos de la presión. El gas se enfría por primera vez por intercambio de calor con el gas entrante, a continuación, por aire o agua, y finalmente, por refrigeración para condensar la mayor parte del amoníaco como un líquido. El grado de enfriamiento requerido depende de la presión. El

amoníaco puede ser condensado a altas presiones y a temperaturas obtenidas por refrigeración con agua. A presiones más bajas (15 - 20 kPa) aumenta la dependencia debe ser colocado en refrigeración. Si el amoníaco es para ser entregado a la presión atmosférica de almacenamiento, debe ser más refrigerado a -33°C . El gas que queda después de la condensación del amoníaco se recicla al convertidor por medio de un compresor.

2.8.1.3. Comparación entre las licenciantes

Cuadro 2.31 Comparación de Licenciantes de Producción de Amoníaco

Licenciante	Ammonia Casale SA	Haldor Topsoe A/S	Linde Ammonia Concept (LAC)	Uhde GmbH	KAAPplus
Materia Prima	Gas Natural	Gas Natural – Nafta pesada.	Hidrocarburos ligeros.	Gas Natural LNG, LPG o Naftas.	Hidrocarburos
Principales Características	<ul style="list-style-type: none"> -Diseño altamente eficiente para el reformador secundario -Tecnología axial-radial para la conversión catalítica -Tecnología Casale axial-radial para el convertidor de amoníaco. -Diseño de la caldera de calor residual avanzada 	<ul style="list-style-type: none"> -Características de los convertidores Topsoe: - Baja presión debido al flujo radial. - Uso de pequeño tamaño de partícula del catalizador. - Alta conversión por paso debido al enfriamiento indirecto. - Bueno operatividad y control de temperatura fácil. 	<ul style="list-style-type: none"> -Se elimina reformado secundario. -Utiliza un reactor de conversión isotérmica para la conversión catalítica de CO. -Utiliza una unidad de PSA para eliminar CO₂, CH₄, y una pequeña cantidad residual de CO de la corriente de hidrógeno, produciendo 99. 99% en moles de hidrógeno puro. 	<ul style="list-style-type: none"> -Reformador primario con un sistema colector de salida frío. -Reformador secundario. - Tren de enfriamiento de gas de proceso aguas abajo del reformador secundario para generar vapor de alta presión y para generar vapor de alta presión sobrecalentado. -Sistema de conversión de amoníaco de alto rendimiento con 3 lechos, intercambio de calor indirecto y flujo radial. -Síntesis de amoníaco caldera de calor residual. 	<p>El diseño de las plantas de amoníaco KAAP tienen las siguientes características técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Individual Case del compresor de gas de Síntesis -Flujo Radial, Convertidor de enfriamiento de Diseño -Baja presión Síntesis Loop -Alta Actividad del catalizador Síntesis de Amoníaco
Plantas comerciales	Una de 2,050 TM/día en operación desde el 2008, 4 más en construcción de 2,050 TM/día cada una.	Más de 60 plantas usan esta tecnología. Las capacidades de planta van desde las 650 TM/día hasta más de 2,000 TM/día.	<ul style="list-style-type: none"> -Una planta de 1,350 TM/día, India. -Una planta de 200 TM/día y 600 TM/día en Australia. 	<ul style="list-style-type: none"> -Nueve plantas han sido encargadas desde 1998 al 2010. -Una planta de 3,300 TM/día. 	<ul style="list-style-type: none"> -Más de 200 trenes en plantas a nivel mundial, incluyendo una 2,200 TM/día consignada en el 2006. -3 plantas más están siendo convertidas a esta tecnología.

Fuente: Revista Hydrocarbon Processing en su informe Petrochemical Processes 2010

2.8.1.4. Economía de la Producción de Amoníaco

A continuación se presenta de forma resumida la capacidad de producción de Amoníaco con los parámetros económicos de carga y energía requerida.

Cuadro 2.32 Economía de la Producción de Amoníaco

Parámetros	Unidad/TM	Capacidad (Consumo por TM de Amoníaco) TM/día			
		150 ^a	300 ^b	500 ^c	1,000
Materias Primas					
Gas Natural	Gcal	9.47	8.5	7.8	7.0
Utilidades					
Electricidad	kWh	540	320	(propia producción)	
Agua de Enfriamiento	m ³	280	230	230	210
Agua de Proceso	m ³	1.7	1.6	2.3	2.3
Labor	Horas trabajo	1.95	1.0	0.6	0.3
Depreciación	US \$	76	58	44	34
a. Ammonia Casale, Suiza.					
b. Snamprogetti, Italia.					
c. KTI, Holanda.					

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

La información del Cuadro 2.32 será tomado en cuenta en el apartado 2.9 Evaluación Económica.

2.8.2. Elaboración de Ácido Fosfórico: Proceso Húmedo (*Wet Process*)

En las últimas tres décadas, el ácido fosfórico se ha convertido en una de las fuentes más significativos para la producción de fertilizantes fosfatados, y se espera que esta tendencia continúe en un previsible futuro.

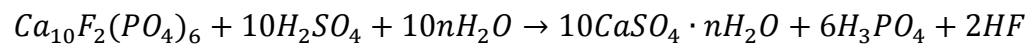
El proceso *Furnace* incluye 2 tipos de procesos básicos para la producción de ácido fosfórico, el proceso de horno alto y el proceso de horno eléctrico.

- i. El proceso *Blast Furnace* no ha sido usado comercialmente desde 1938.

- ii. El proceso *Electric Furnace* es usado ampliamente para la elaboración de fósforo elemental, a su vez este fósforo elemental es convertido en ácido fosfórico para fines metalúrgicos.

2.8.2.1. Química del Procedo Húmedo

La principal reacción química en el Proceso Húmedo (*Wet Process*) debe ser representada por la siguiente ecuación usando fluoroapatita pura para representar la roca fosfórica, debido a que representa la principal reacción.



Donde $n=0, \frac{1}{2},$ o $2,$ dependiendo del hidrato formado en el cual el sulfato de calcio cristaliza.

La reacción representa el resultado neto de dos etapas:

- i. En la primera etapa, el ácido fosfórico reacciona con el apatito formando fosfato monocálcico.
- ii. En la segunda etapa el fosfato monocálcico reacciona con el ácido sulfúrico para formar ácido fosfórico y sulfato de calcio.

Estas dos etapas no requieren dos tanques de reacción en serie; pues lo que usualmente sucede es que estas dos etapas se dan simultáneamente en un reactor simple.

La roca fosfórica contiene muchas impurezas, en las que destacan la apatita y demás minerales adyacentes como el cuarzo, la glauconita y las arcillas. Estas impurezas participan en numerosas reacciones. Todas las rocas fosfóricas tienen una alta relación $CaO:P_2O_5$ que la fluoroapatita pura. El CaO adicional origina el consumo de más ácido sulfúrico y forma más sulfato de calcio. El HF formado reacciona con la sílice (SiO_2 con impurezas)

y otras impurezas (Na, K, Mg y Al) para formar fluoro silicatos y otros compuestos más complejos. Una cantidad variable de fluorina volatiza como SiF_4 , HF, o en ambas. La cantidad volatilizada depende de la composición de la roca fosfórica y de las condiciones de proceso.

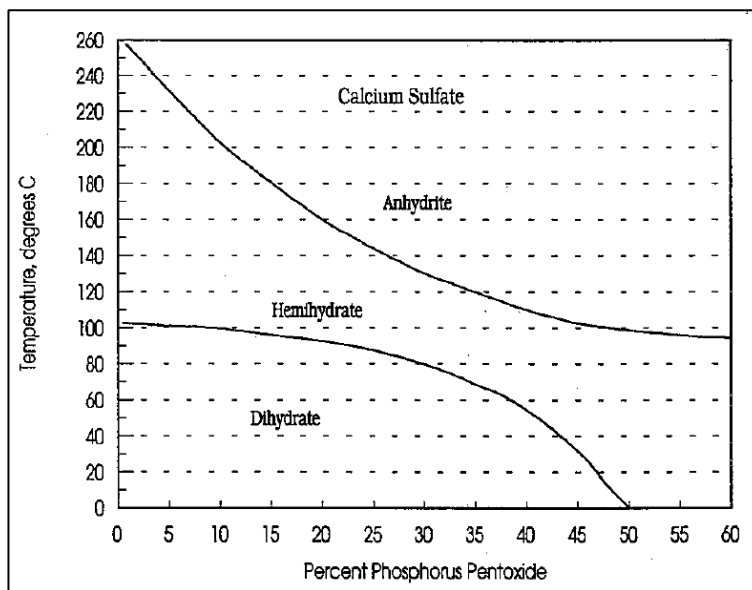
2.8.2.2. Tipos de Proceso Húmedo

El Proceso Húmedo debe ser clasificado según el hidrato formado, obteniéndose los sulfatos de calcio cristalizados, siguientes:

Anhidrato	-	CaSO_4
Hemihidrato	-	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$
Dihidrato	-	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

El hidrato formado es principalmente controlado por la temperatura y la concentración del ácido, como se muestra en el Gráfico 2.43.

Gráfico 2.43 Dependencia de la Cristalización del Sulfato de Calcio en la Temperatura y la Concentración del P_2O_5



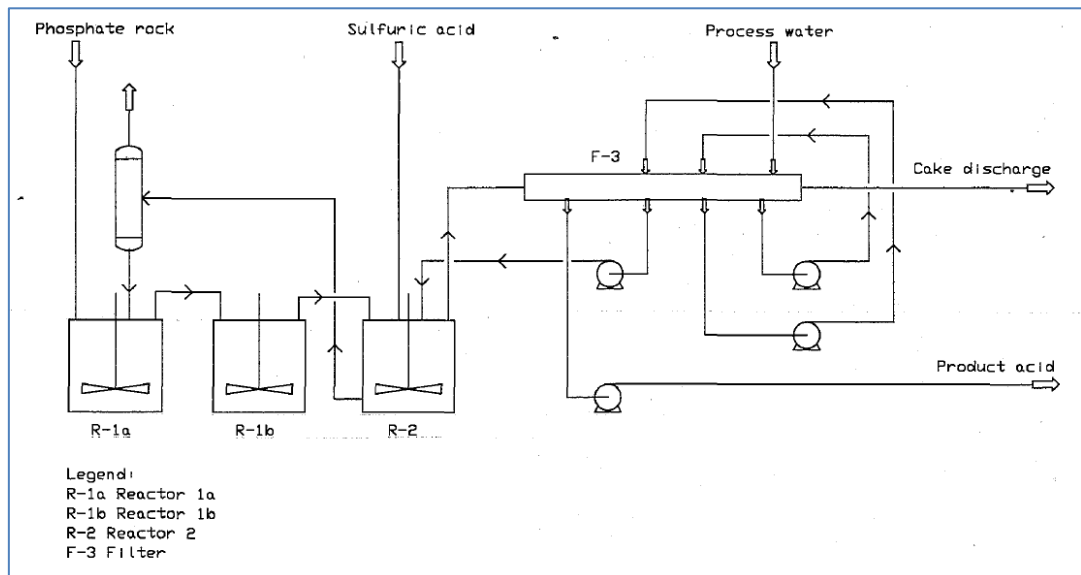
Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

El Gráfico 2.43 muestra solo una aproximación de las características de producción, porque la concentración del ácido sulfúrico y las impurezas también tienen influencia en el proceso de formación de hidratos.

A la fecha no existe un uso comercial para el Proceso Anhidrito, porque la temperatura de reacción alcanzada es suficientemente alta para causar severos problemas por corrosión en el material del reactor. Desde el principio, los procesos Dihidrato son los más populares a nivel mundial porque son relativamente simples y adaptables a amplios rangos de pureza y diversos tipos de rocas fosfóricas; por ello, este proceso es descrito en detalle.

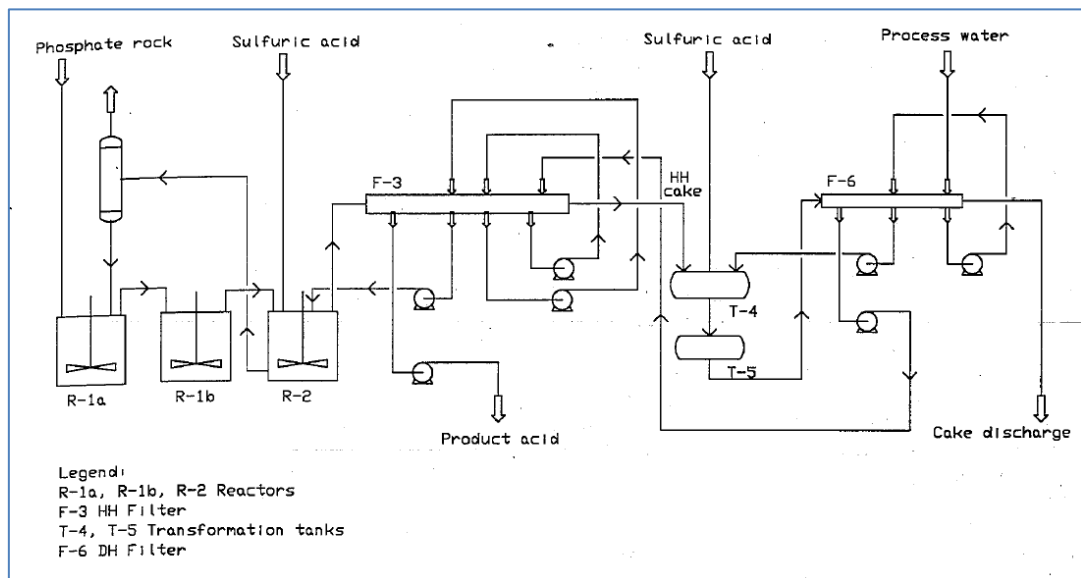
Los procesos para obtener el cristal Hemidrato tienen una significativa ventaja en la producción de ácido fosfórico altamente concentrado sin el uso de ningún proceso adicional de concentración (ver Gráfico 2.44). Existe el interés de los procesos de dos etapas que involucran la cristalización en forma de hemidratos seguida por una recristalización en la forma de dihidrato (o viceversa), con o sin separación intermedia mediante filtración o centrifugación (ver Gráfico 2.45).

Gráfico 2.44 Proceso Hemidrato



Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

Gráfico 2.45 Proceso Hemidrato - Dihidrato



Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

2.8.2.3. Descripción del Proceso Dihidrato

La descripción de la producción del ácido fosfórico es dividida en los siguientes pasos:

a. Selección de la roca fosfórica

Las plantas son diseñadas en base de la roca fosfórica simple; sin embargo, es más prudente construir plantas suficientemente flexibles que permitan el uso de rocas fosfóricas provenientes de diferentes fuentes.

Algunos ejemplos para incrementar la flexibilidad de una planta serían:

- i. Capacidad extra de molienda para rocas duras.
- ii. Capacidad de filtración extra para rocas con bajo contenido de P_2O_5 .
- iii. Construcciones más resistentes a la corrosión para rocas que contienen impurezas corrosivas.
- iv. Sistemas de manejo de lodos para las impurezas de la roca fosfórica insolubles en el ácido sulfúrico.

Un completo análisis químico y mineralógico de la roca fosfórica es muy útil para su evaluación en la elaboración del ácido fosfórico. Sin embargo, esta información no es muy útil por sí misma. Corridas de prueba en una planta, o en una planta piloto, son necesarias para una evaluación confiable a menos que esta roca fosfórica sea ampliamente usada en plantas similares con resultados predecibles.

La Cuadro 2.33 muestra el rango de composición y valores promedio de un grupo de 15 rocas fosfóricas provenientes de yacimientos comerciales. Aunque el grupo de muestras es representativo, composiciones fuera de este rango también han sido usadas. Asumiendo la recuperación total de 94%, la cantidad de roca fosfórica requerida por TM de P_2O_5 recuperado como ácido fosfórico se aprecia en el Cuadro 2.33.

Cuadro 2.33 Análisis Típico de Rocas Fosfóricas Comerciales

Constituyente	Rango de Contenido %	Contenido promedio %
P_2O_5	29 – 38	33
CaO	46 – 54	51.02
SiO_2	0.2 – 8.7	2.0
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	0.4 – 3.4	1.4
MgO	0.1 – 0.8	0.2
Na_2O	0.1 – 0.8	0.5
CO_2	0.2 – 7.5	4.5
F	2.2 – 4.0	3.7
Cl	0.0 – 0.5	<0.02
SO_3	0.0 – 2.9	1.0
CaO:P_2O_5 ratio	1.35 – 1.70	1.5

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

Cálculo de Ácido Sulfúrico Requerido. Aunque el requerimiento de ácido sulfúrico para la producción de ácido fosfórico a partir de cualquier roca fosfórica, es obtenido de mejor de manera empíricamente haciendo corridas a menor escala, y en otras ocasiones es necesario calcularlo del

análisis químico de la roca fosfórica. La recuperación total en promedio es del 94% si las pérdidas mecánicas y de lodos son tomadas en cuenta.

Cuadro 2.34 Consumo de Roca Fosfórica en función su Calidad

Grado de Roca	Contenido P ₂ O ₅ (%)	Consumo de Roca (TM/TM de P ₂ O ₅ en ácido)
Bajo	29	3.67
Medio	33	3.22
Alto	38	2.80

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

Si un análisis más completo de la roca está disponible antes de realizar las pruebas a menor escala, se puede realizar un cálculo más exacto. El método es ilustrado en el Cuadro 2.35 y es explicado a continuación:

1. Asumiendo la recuperación total de 94% de P₂O₅, 1,064 kg de roca P₂O₅ es requerida por TM de P₂O₅ recuperada.
2. La roca contiene 33% de P₂O₅, 3,224 kg de roca es requerida.
3. El contenido de CaO de la roca es calculado. Si la roca contiene otro catión que puede formar un sulfato insoluble (como el bario), su equivalente en CaO debe ser añadido.
4. El equivalente de CaO del contenido de SO₃ (no el total de S) debe ser considerado.
5. La torta típica de filtrado contiene cerca del 3.3% del ingreso de P₂O₅ en formas insolubles, de las cuales el 1% debe de ser roca no reaccionada y el 2.3% de CaHPO₄ cristalizado con el yeso.
6. La asunción en la práctica es que el 15% de la fluorina se combina con el CaO para formar CaF₂. Las reacciones reales son mucho más complejas; el Ca₄SO₄SiF₆AlF₆(OH)·12H₂O es un ejemplo de un compuesto complejo insoluble encontrado en la torta de filtrado.
7. Los ítems 4, 5 y 6 son totalizados, ver Cuadro 2.35.
8. El ítem 7 es restado con el 3 para obtener la cantidad neta de CaO para la reacción con el H₂SO₄.
9. El H₂SO₄ equivalente del CaO es calculado.

10. La cantidad en exceso de H_2SO_4 es calculado asumiendo que el 30% de P_2O_5 ácido contiene 1.5% de H_2SO_4 libre.
11. El requerimiento total de H_2SO_4 se obtiene sumando los ítems 9 y 10.
12. Para la comparación, el paso 12 del Cuadro 2.35 muestra el requerimiento de H_2SO_4 basado simplemente en el total de CaO.

Cuadro 2.35 Cálculo de H_2SO_4 Requerido por TM de P_2O_5 Recuperado como Ácido Fosfórico Usando el Análisis Promedio de Rocas Fosfóricas

Paso	kg/TM de P_2O_5 Recuperado
1. P_2O_5 requerido en la roca al 94% de recuperación: 1,000/0.94	1,064
2. Kg de roca requerida por TM de P_2O_5 recuperada: 1,064/0.33	3,224
3. CaO en roca: 3,224 x 0.51	1,644
4. CaO equivalente para SO_3 : 3,224 x 0.01 x 56/80	22.6
5. CaO combinado con P_2O_5 en la torta de filtro: 0.033 x 1,064	35.1
6. CaO combinado con fluorina: 0.15 x 0.037 x 3,224 x 56/19 x 2	26.4
7. Total de CaO no combinado con sulfato	84.1
8. CaO neto para la reacción con H_2SO_4 : 1,644 – 84.2	1,559.9
9. H_2SO_4 requerido para el $CaSO_4$: 1,559 x 98/56	2,729.8
10. Exceso de H_2SO_4 : 1.5/30 x 1,000	50.0
11. Total de H_2SO_4 requerido	2,779.8
12. H_2SO_4 requerido basado en solo el total de CaO: 1,644 x 98/56	2,877.0

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

En el Cuadro 2.35, el ácido sulfúrico requerido para rocas de grado medio (33%) son tomados del Cuadro 2.36 (2.78 TM de H_2SO_4 por TM de P_2O_5), y los requerimientos de roca de otros ratios de Ca: P_2O_5 son estimados en proporción al ratio de la roca de grado medio (33%).

Cuadro 2.36 Consumo de H_2SO_4 para Diferentes Grados de Roca Fosfórica

Grado de Roca	Alto	Medio	Bajo
Contenido de P_2O_5	38	33	29
Roca requerida, TM/TM de P_2O_5	2.8	3.2	3.6
Relación CaO: P_2O_5	1.35	1.5	1.70
H_2SO_4 TM/TM de P_2O_5	2.5	2.78	3.15

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

b. Recepción y Almacenamiento

Es necesario un sistema eficiente para el manipuleo a granel y para el almacenamiento de la roca fosfórica bruta y otras materias primas. Los criterios a conocer son:

- i. Rápida descarga de las unidades de entrega de materias primas.
- ii. Pérdidas de roca despreciables.
- iii. Fácil almacenamiento con la capacidad de poder separar o mezclar cargamentos como fuere necesario.
- iv. Protección contra el viento, lluvia, nieve y climas gélidos.
- v. Protección de la contaminación con otras materias primas, del polvo arrastrado por el viento, el suelo, etc.

Cuando la roca fosfórica bruta, producida en la planta concentradora ubicada en el área de explotación de la roca fosfórica, es recibida seca en el Complejo, usualmente es deseable mantenerla seca con recubrimientos en los depósitos.

c. Molienda de la Roca y su Preparación

La elección en la molienda de la roca son la molienda al seco, molienda húmeda, o sin molienda.

Muchas plantas antiguas y otras recientes usan la molienda en seco. Los molinos de anillo giratorio o molinos de bolas son frecuentemente usados con aire para clasificación, a través de ciclones. La potencia requerida naturalmente depende del tamaño inicial de roca, su dureza, y tamaño de partícula deseada.

La tendencia general es hacia la molienda húmeda en plantas que están localizadas en las cercanías de la mina. La molienda húmeda es realizada en molinos de bolas, la suspensión contiene de 62%-70% en sólidos producidos.

La roca fosfórica finalmente pulverizada antes del proceso de acidulación tendrá una reacción más rápida y más completa. Por lo que, usualmente las rocas deben ser molidas hasta por pasar por la malla Tyler 200 (74 micrones).

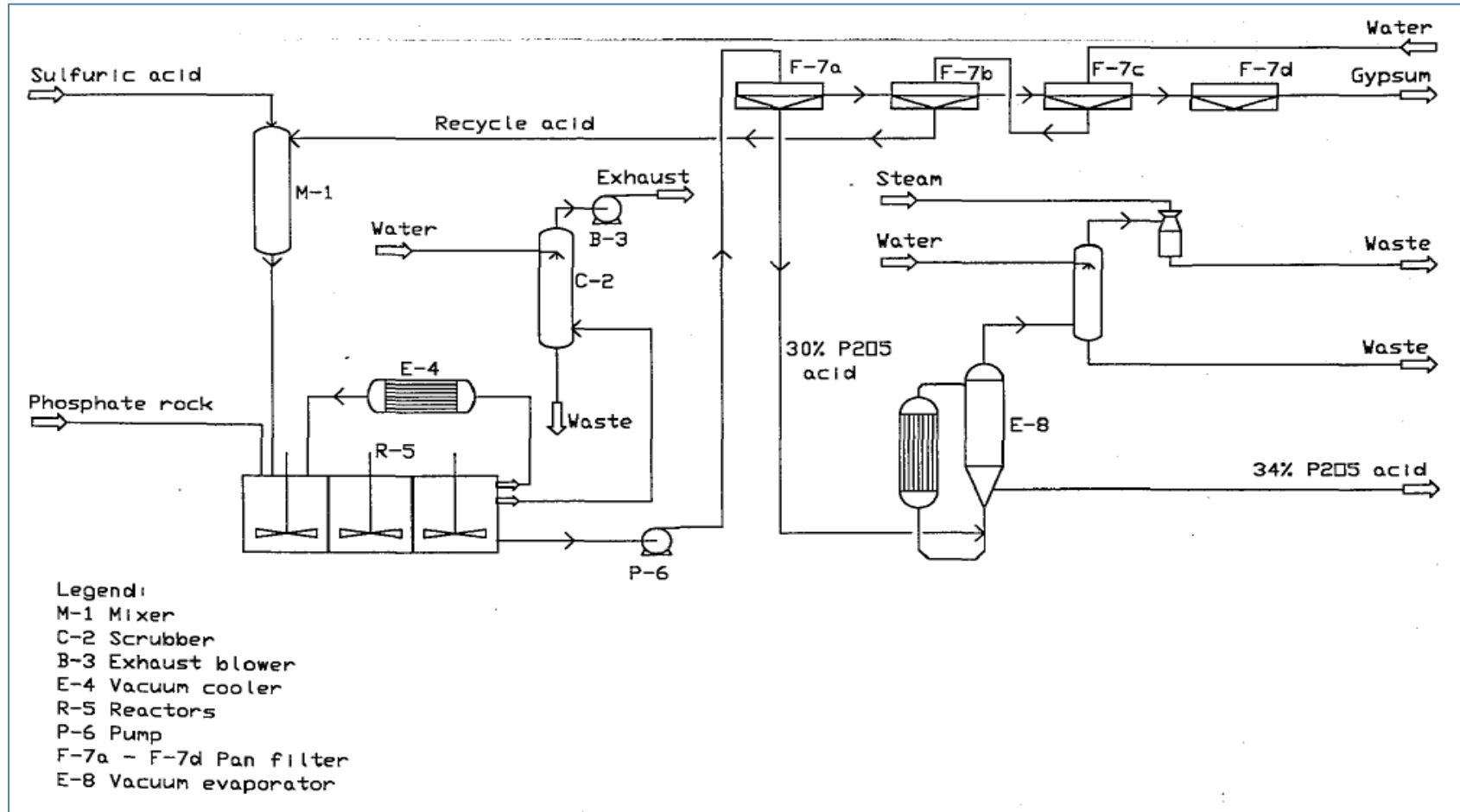
d. Fuente de Ácido Sulfúrico

El ácido sulfúrico se encuentra disponible comercialmente en un gran número de concentraciones y grados de pureza. Existen dos procesos principales para la producción de ácido sulfúrico, el método de cámaras de plomo y el proceso de contacto. El proceso de cámaras de plomo produce ácido sulfúrico de concentración 78% y es utilizado actualmente para producir el 60% del ácido consumido en la fabricación de fertilizantes. El proceso de contacto produce un ácido sulfúrico del 98% de concentración, pero requiere de materias primas más puras y el uso de catalizadores costosos.

e. Sistema de Reacción

El objetivo del diseño del sistema de reacción es llevar a cabo la reacción entre la roca fosfórica concentrado al 33% y el ácido sulfúrico para recuperar el máximo porcentaje de P_2O_5 de la roca en forma del producto ácido fosfórico de la manera más simple y menos costosa. La filtración es el paso más crítico y caro en el proceso, el objetivo primordial de la reacción es formar cristales de yeso de cierto tamaño y forma, para que la filtración y el lavado puedan ser llevados a cabo de forma rápida y eficiente.

Gráfico 2.46 Planta Típica de Ácido Fosfórico Proceso Húmedo



Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

La recuperación máxima de cristales de yeso, después de la filtración y lavado, se traduce en pérdidas mínimas de producto. Hay 4 tipos de pérdida de P_2O_5 identificados:

- i. Roca fosfórica concentrada al 33% sin reaccionar.
- ii. P_2O_5 cocrystalizado con yeso a través de la sustitución isomórfica de H_2SO_4 por SO_4 .
- iii. Ácido fosfórico perdido en el yeso debido al lavado incompleto.
- iv. Debido a pérdidas mecánicas por derrame, filtración, en el lavado con filtro de tela, por tuberías, y pérdida en la suspensión.

El propósito del paso reactivo no sólo es extraer el fosfato de la roca fosfórica si no también asegurar el lento crecimiento de los cristales de yeso hacia un tamaño relativo grande. Para alcanzar este objetivo los sistemas de reacción son diseñados para prevenir el contacto directo entre los 2 reactantes, la roca fosfórica concentrada al 33% y el ácido sulfúrico.

Por otra parte, la alta concentración de los iones de calcio (bajo en sulfato) en el lodo incrementará la cantidad de fosfato cocrystalizado con el yeso. Por lo tanto, el objetivo de los diseñadores y operadores es mantener el sistema de reacción con una composición uniforme en el lodo, evitando altas concentraciones de calcio o de sulfato. La fase líquida usualmente consiste de ácido fosfórico (cerca del 30% P_2O_5) con cerca de 1.5% de ácido sulfúrico libre. La composición óptima del ácido sulfúrico varía con la concentración de la roca. La fase sólida es principalmente yeso. La proporción de sólidos en el lodo está cerca del 35%-45%. Las partículas de roca fosfórica son introducidas en este lodo disolviéndose rápidamente en el ácido fosfórico en la fase líquida, lo cual causa una supersaturación con sulfato de calcio y de esta manera resulta el incremento de cristales de yeso.

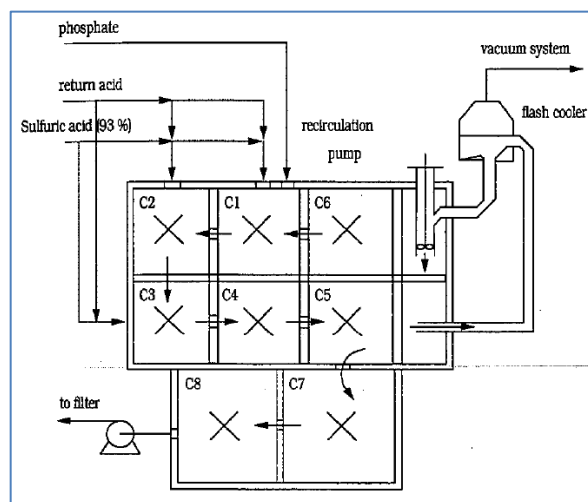
Para aproximarse a esta situación ideal, las corrientes entrantes de ácido sulfúrico y ácido fosfórico son mezcladas con el lodo (directa o indirectamente) de la manera más rápida y completa que pueda ser posible, y para asegurar la homogeneidad se agita el lodo en el sistema de reacción.

La roca fosfórica debe de ser premezclada con ácido sulfúrico débil de reciclo o con suspensión de reciclo. El ácido sulfúrico debe de ser rociado en la superficie de la suspensión en el reactor tanque.

Cuando ácido sulfúrico fuerte es premezclado con ácido fosfórico débil de reciclo, se libera mucho calor y es acompañado por la evaporación de agua y por la volatilización de los componentes de la fluorina (principalmente SiF_4 y HF).

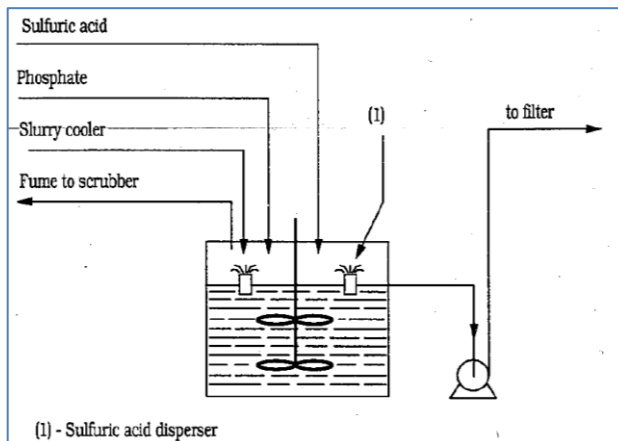
Los diferentes procesos dihidrato difieren esencialmente en la etapa de reacción. El diseño del reactor suele distribuirse en una de dos categorías, reactores multicompartimentales (Gráfico 2.47) o reactores de un solo tanque (Gráfico 2.48).

Gráfico 2.47 Sistema de Reacción Multicompartimental en el Proceso Prayon Mark IV



Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

Gráfico 2.48 Sistema de Reacción en el Proceso Rhone Poulenc



Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

f. Tiempo de reacción y tiempo de retención

Somerville, licenciante de tecnología, afirma que la vida media de una partícula de roca fosfórica en un sistema de reacción típico puede oscilar entre 15 segundos a 3 minutos. No obstante, los tiempos de retención en la industria están en el intervalo de 1.5 a 12 horas o más.

Una de las razones se refiere a la formación de buenos cristales de yeso, como se indicó previamente. Otra razón es la dificultad de un control estricto del contenido de ácido sulfúrico de la fase líquida cuando el tiempo de reacción es corto.

El estricto control de este valor es muy importante. Aunque el nivel óptimo de control puede depender del carácter de la roca, un nivel de aproximadamente 1.5% es típico. Trastornos graves pueden producirse cuando el nivel de SO_4^{2-} varía apreciablemente del óptimo. Obviamente, cuanto más corto es el tiempo de reacción, los problemas pueden surgir más rápido (y más a menudo).

g. Filtración

La función de la etapa de filtración es la de separar el yeso (y cualquier derivado material insoluble de roca fosfórica o formado en la reacción) completamente del producto ácido fosfórico, de manera eficiente, y económicamente como sea posible. Las plantas modernas sólo utilizan filtros horizontales continuos de vacío.

Los filtros más populares de los son los de tipo rotatorios de tambor inclinado, filtros rotativos de mesa y los filtros de banda. En cada uno de estos filtros, el ciclo procede a través de los siguientes pasos:

- i. Deposición de la suspensión de ácido fosfórico-yeso en el filtro.
- ii. Extracción de producto ácido por aplicación de vacío.
- iii. Dos o tres lavados a contracorriente para completar la eliminación del ácido fosfórico del yeso.
- iv. Descarga del yeso lavado.
- v. Lavado de la lona de filtro para evitar acumulaciones a pequeña escala de materiales formadores.

La secuencia de operaciones se ilustra en el Gráfico 2.46.

En las secciones de lavado, las soluciones débiles de ácido fosfórico se atrapan sucesivamente. El último lavado se realiza con agua fresca o, a veces, con agua reciclada de un estanque de yeso o de sumideros que recogen el agua de las lonas lavadas y los derrames o goteos.

El ácido muy débil recogido se devuelve a la sección anterior con el filtrado del primer lavado, siendo reciclados en los tanques de reacción. Los productos ácidos también pueden ser reciclados al paso de aprovechamiento para controlar el porcentaje de sólidos en el lodo a un nivel manejable, por lo general de 35% - 45%.

Los filtros se suelen clasificar de acuerdo con su área de superficie activa, que puede variar hasta aproximadamente 320 m². La velocidad de rotación (en un filtro giratorio) o la velocidad de desplazamiento (en un filtro de bandas) es variable para permitir los ajustes necesarios debido a las características de filtración de la suspensión y otros factores.

Los únicos tipos de filtros que son adecuados para la producción de ácido fosfórico (que puede llevar a cabo la secuencia de todas las operaciones deseadas en el proceso de filtrado de yeso) son los filtros de banda de vacío horizontales, que son ofrecidos por empresas como Fimco, Delkor, y Pannevis; Bird de tambor inclinado con filtros de vacío, ofrecidos por Bird y Profile, y los UCEGO, de tornamesas con filtros de vacío, ofrecidos por Rhone Poulenc.

La velocidad de producción puede variar, pero un factor común de diseño es de 6.5 TM de P₂O₅/m²/día. La tasa de filtración es afectada principalmente por el tamaño y la forma de los cristales de yeso, que, a su vez, se ven afectados por las condiciones en la sección de reacción, incluyendo el tipo de roca fosfórica, el uso de modificadores de la forma del cristal, el control de las condiciones de reacción, etc. Las impurezas insolubles en la roca, tales como arcilla, pueden afectar negativamente a las tasas de filtración. La tasa de filtración también se ve afectada por la temperatura, concentración, viscosidad del ácido y la recuperación deseada. Aunque muchas plantas luchan por la máxima recuperación, a menudo, en específicas plantas existe una velocidad de funcionamiento óptimo económico en la que se alcanza una mayor producción en sacrificio alguno de recuperación. Las tasas de filtración también dependen del diseño del filtro, cantidad de vacío, y otros factores.

h. La concentración y la clarificación.

El ácido fosfórico producido por la mayoría de los procesos dihidrato contiene 26% - 32% de P_2O_5 (en la filtración del ácido). El ácido de esta concentración puede ser utilizado en algunos procesos de producción de fertilizantes, pero en la mayoría de los propósitos es económicamente preferible concentrarlo por evaporación del contenido de agua. La concentración deseada depende del uso; los requisitos son dados en la Cuadro 2.37.

Cuadro 2.37 Consumo de H_2SO_4 para diferentes Grados de Roca Fosfórica

Aplicación	Concentración de Ácido (% P_2O_5)
Superfosfato Triple (TSP) – proceso den	50 - 54
Superfosfato Triple (TSP) – proceso slurry	38- 40
Fosfato Diamónico	Aprox. 40
Fosfato Monoamónico (dependiendo del proceso)	40 - 54
Cargamento (grado comercial)	54 ^a
Ácido superfosfórico para embarque o producción líquida de fertilizante	68 - 70
a. Aunque P_2O_5 54% es el estándar habitual de grado comercial de ácido, las variaciones están en el rango de 50% - 60%.	

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

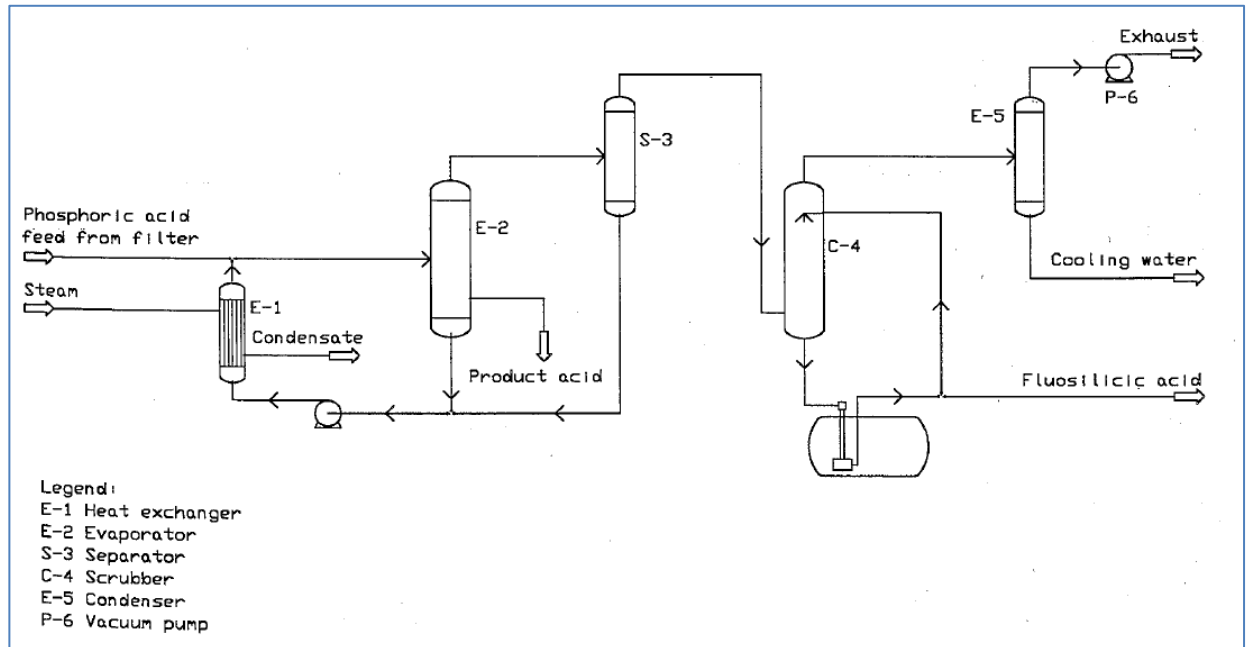
Se forman precipitados antes, durante y después de la concentración. Los compuestos que precipitan antes de la concentración son sulfato de calcio y fluosilicatos. Una amplia variedad de compuestos se pueden formar durante y después de la concentración, dependiendo de la concentración del ácido, estos compuestos se conocen colectivamente como "lodo".

La cantidad de fluorina removida durante la concentración de 30% a 54% de P_2O_5 puede ser el 70% - 80% del que estaba en principio presente en el ácido, la mayor cantidad se volatiliza y son recuperados en el condensador. Gran parte de la fluorina se volatiliza durante la evaporación y debe ser recuperado para prevenir contaminación. En algunos casos los subproductos vendibles de la fluorina se producen como ácido fluosilícico,

fluosilicatos, criolita, fluoruro de aluminio, ácido fluorhídrico y fluoruro de hidrógeno líquido.

Los procesos de concentración de ácido fosfórico calientan el ácido con vapor en un intercambiador de calor de vacío (Gráfico 2.49).

Gráfico 2.49 Unidad Típica de Concentración de Ácido Fosfórico



Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

Los evaporadores tubulares comúnmente utilizados son de circulación forzada, los tubos pueden ser de grafito o de acero inoxidable.

Las concentraciones del 30% al 54% P_2O_5 utilizando calentamiento por vapor puede llevarse a cabo en una, dos o tres etapas, a veces con cristalizadores entre pasadas, para reducir la formación de incrustaciones en los intercambiadores de calor.

Concentraciones del 30% al 54% P_2O_5 requieren alrededor de 1.9 TM de vapor por TM de P_2O_5 en el ácido concentrado. Los requerimientos de energía eléctrica pueden variar de 11 a 16 kWh/TM de P_2O_5 , dependiendo de la escala de operación. Cerca de 6 TM de agua de enfriamiento por TM de P_2O_5 se requieren para condensar el agua evaporada a partir del ácido.

i. Utilización de lodos.

Como se ha mencionado anteriormente, las impurezas del lodo precipitan en el ácido fosfórico antes, durante y después de la concentración. Si el ácido es usado *in situ* para la producción de fertilizantes, puede ser posible utilizar el ácido sin separación de lodos. Sin embargo, en algunos casos la cantidad de lodo puede ser tan grande como para reducir el grado de los productos fertilizantes por bajo del deseado.

Los sólidos del lodo que se forman en filtro ácido (30% P_2O_5) son principalmente el fosfoyeso y fluosilicatos, y pueden, en algunos casos, ser devueltos a la unidad de producción de ácido fosfórico sin causar perturbaciones graves en su funcionamiento.

2.8.2.4. Diferencias entre los procesos:

La materia prima y los servicios industriales adicionales pueden variar entre los procesos Dihidrato, pero los valores mostrados en la Cuadro 2.38 pueden ser considerados como valores intermedios.

Cuadro 2.38 Diferencias entre los Procesos

Producto: Ácido fosfórico				
Capacidad:	534 TM/día (52%P ₂ O ₅) 160,000 TM/año			
Tiempo de Operación:	82%			
Capital de trabajo:	5.5 MMUS\$			
Proceso:	Unidades	Dihidrato	Hemihidrato	Hemidihidrato
Costo de Inversión:	<i>Battery Limits</i>			
Molienda:	MMUS\$	1.5	0	0
Proceso:	MMUS\$	30.5	33	38
Concentración:	MMUS\$	6	3	3
Total:	MMUS\$	37.5	36	41
Entradas	Unidades	Consumo por TM de P ₂ O ₅		
Roca Fosfórica(32%P ₂ O ₅)	TM/TM	3.29	3.29	3.17
H ₂ SO ₄ 100%	TM/TM	2.8	2.78	2.74
Agente Antiespumante	US\$/TM	0.5	0.5	0.5
Energía eléctrica:				
- Molienda	kWh/TM	20	0	0
- Proceso	kWh/TM	70	70	90
- Concentración	kWh/TM	10	10	10
Vapor:				
- Proceso	TM/TM	0.15	0.11	0.10
- Concentración	TM/TM	1.75	0.40	0.49
Agua de enfriamiento	m ³ /TM	70	22	27
Agua de Proceso	m ³ /TM	7	4	6
Labor	Horas de trabajo/TM	0.38	0.42	0.42
Base: 1993 Costos en la costa del Golfo.				

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

2.8.3. Elaboración de Fosfato Monoamónico (MAP) y Fosfato Diamónico (DAP)

2.8.3.1. Licenciantes de la tecnología

Los Licenciantes para los Fosfatos de Amonio son:

- i. Cros, Madrid, España.
- ii. Espindesa, Madrid, España.
- iii. Grande Paroisse, Paris, Francia.
- iv. Hydro Agri International, Bruselas, Bélgica.
- v. Jacobs Engineering, Lakeland, Florida, U.S.A.
- vi. Norsk Hydro, Oslo, Noruega.
- vii. Raytheon Engineers and Constructors, Tampa, Florida, U.S.A.
- viii. Uhde GmbH, Dortmund, Alemania.
- ix. Weatherly, Atlanta, Georgia, U.S.A.

Los contratistas a nivel mundial son:

La mayoría de los contratistas son capaces de construir fábricas para cualquier de los procesos estudiados, unos pocos se detallan a continuación.

- i. Chiyoda Chemical Engineering and Construction, Tokio, Japón.
- ii. Coppee - Lavalin, Bruselas, Bélgica.
- iii. Jacobs Engineering, Lakeland, Florida, U.S.A.
- iv. John Brown Engineers and Constructors Ltd, Londres, Inglaterra incluyendo Davy Powergas Ltd, Londres, y.K. and John Brown Deutsche Engineering GmbH, Essen, Alemania.
- v. Krebs, Montigny-le-Bretonneux, Francia.
- vi. Lurgi Chemie und Huettentechnik, Frankfurt-am Main, Alemania.
- vii. Mitsui and Co Ltd, Tokio, Japón.
- viii. Raytheon Engineers and Constructors, Tampa, Florida, U.S.A.
- ix. Snamprogetti s. p.a., Milán, Italia.

- x. Technip - Speichim, Cergy-Pontoise, Francia.
- xi. Uhde GmbH, Dortmund, Alemania.

2.8.3.2. Descripción del Proceso:

a. Fundamentos de los Fosfatos de Amonio

Los fosfatos de amonio, particularmente el DAP, son los fertilizantes fosfatados más populares en todo el mundo por sus buenas propiedades físicas. Las composiciones de las sales puras, el fosfato monoamónico (MAP) y fosfato diamónico (DAP) se presentan en el Cuadro 2.39.

Cuadro 2.39 Contenido Nutritivo de Fosfatos de Amonio Puros

Producto	N, %	P ₂ O ₅ , %
Fosfato Monoamónico (MAP)	12.17	61.71
Fosfato Diamónico (DAP)	21.19	53.76

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

El grado estándar para el DAP es 18-46-0. Este es el grado comercial y los productos analizados bajos en N o P₂O₅ no pueden ser vendidos como DAP. No existe una norma de grado para el MAP, el rango de grado es de 11-55-0 a 10-50-0. Una calificación promedio prevaleciente es 11-52-0. Grados que contienen tanto el MAP y DAP también se producen; ejemplos son 13-52-0 y 16-48-0.

Los grados que contienen el MAP y DAP, por lo general, tienen muy buenas propiedades físicas cuando son elaborados por proceso húmedo ácido. Por tanto, las propiedades de almacenamiento y facilidad de granulación dependen del contenido de impurezas; una composición similar a un lodo de impurezas, principalmente de aluminio y fosfatos de hierro, promueve la granulación y sirve como un acondicionador para prevenir el aglutinamiento, incluso conteniendo humedades moderadamente altas (aproximadamente 3%). Por otro lado, los fosfatos de amonio puros son difíciles de granular y tienden a aglutinarse por malas condiciones almacenamiento, incluso con un contenido de humedad muy

bajo, a menos que esté recubierto con un acondicionador. Se ha demostrado que la adición de impurezas, en particular compuestos que contienen aluminio, pueden mejorar la granulación y la calidad del producto, cuando hay suficientes impurezas en el ácido para este propósito. También, la adición de una pequeña proporción de roca fosfórica en el ácido fosfórico antes de la amoniacación mejora la granulación.

b. Proceso Básico TVA

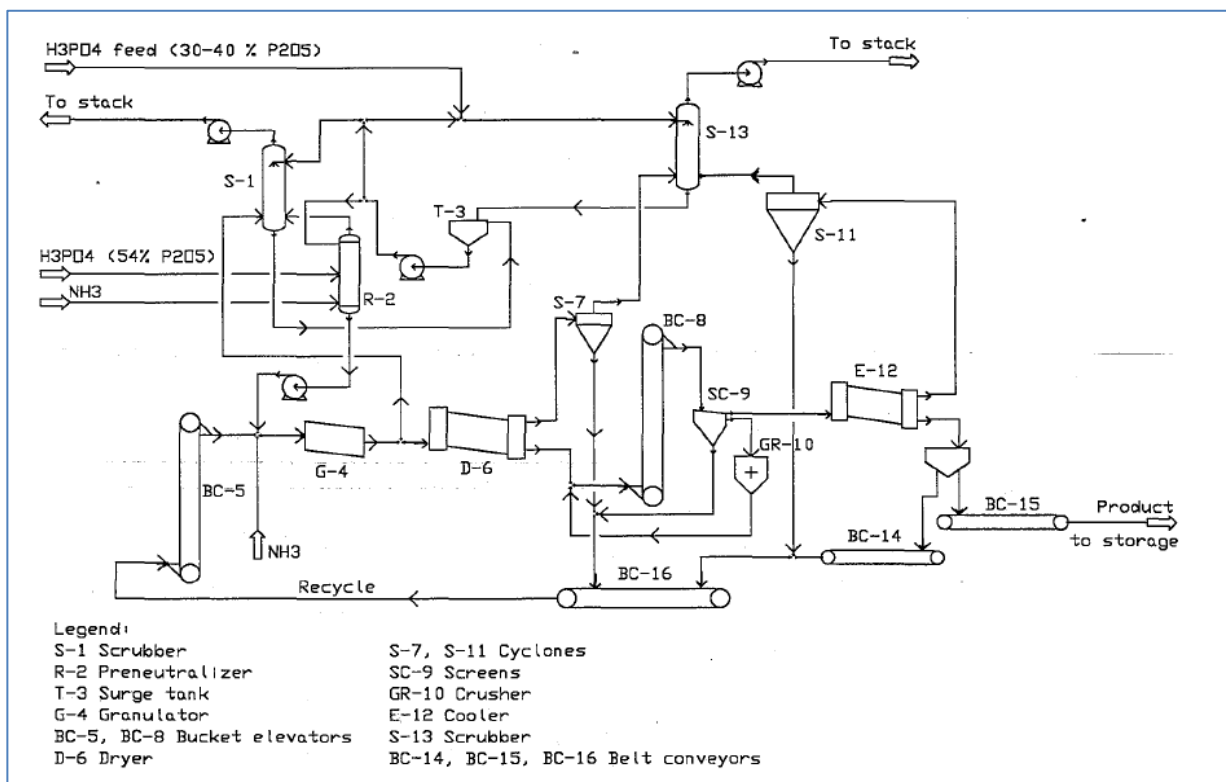
Una de las primeras tecnologías para la fabricación de MAP / DAP es el Proceso *Tennessee Valley Authority* (TVA).

El DAP granular es comúnmente producido por un proceso de lodos, el proceso típico, es desarrollado por TVA y se ilustra en el Gráfico 2.50. El promedio de concentración del ácido en el proceso húmedo es de aproximadamente 40% P_2O_5 , sin embargo, la mayoría de las plantas utilizan parte del ácido en 54% P_2O_5 y parte en 30% P_2O_5 . El ácido reacciona con el amoníaco en un preneutralizador donde la relación molar de $NH_3:H_3PO_4$ se controla a aproximadamente a 1.4. Esta relación corresponde a un punto de alta solubilidad (Gráfico 2.51).

El calor de reacción aumenta la temperatura del lodo al punto de ebullición (unos 115 °C) y una poca cantidad de humedad se evapora. El lodo caliente, contiene aproximadamente 16% - 20% de agua, se bombea en el granulador donde más amoníaco se añade para incrementar la relación molar a aproximadamente 2.0. Se genera calor adicional evaporando más humedad. La disminución de la solubilidad va de 1.4 a 2.0 relación de mol de ayuda para la granulación. Los gránulos húmedos del granulador se secan y se tamizan, los productos de tamaño correcto (<2 mm) son enfriados, los de medida inferior y de gran tamaño se reciclan. La proporción habitual de reciclaje a producto es aproximadamente de 5:1. El

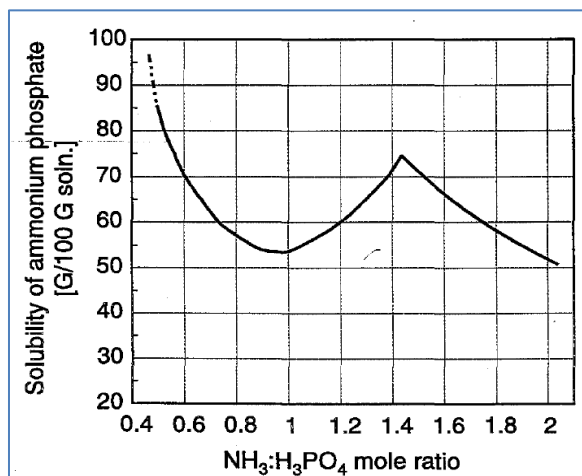
amoníaco que escapa del granulador, del secador y del preneutralizador se recupera por lavado con ácido débil (30% P_2O_5), y la solución de lavado se añade al preneutralizador.

Gráfico 2.50 Proceso TVA DAP



Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

Gráfico 2.51 Efecto de la Relación Molar $NH_3:H_3PO_4$ en la Solubilidad de los Fosfatos de Amonio



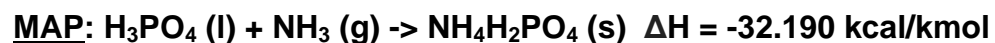
Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

El mismo equipo puede ser usado para elaborar MAP mediante uno de los dos procedimientos:

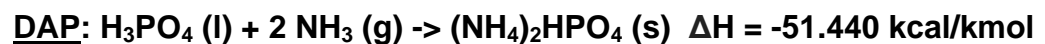
- El preneutralizador es operado a la relación molar $\text{NH}_3:\text{H}_3\text{PO}_4$ de 0.6 (un punto de alta solubilidad) y el saldo de amoníaco se añade en el granulador.
- El preneutralizador se hace funcionar a una relación molar de aproximadamente 1.4 y el ácido fosfórico es añadido al granulador para disminuir la relación a 1.0.

Es decir, dependiendo del grado de neutralización del ácido fosfórico con amoníaco (de la relación molar $\text{NH}_3/\text{P}_2\text{O}_5$), se obtiene Fosfato Monoamónico (MAP) y Fosfato Diamónico (DAP), según las reacciones exotérmicas:

- El primer estado de neutralización produce fosfato monoamónico por medio de la siguiente reacción exotérmica.



- El segundo estado es una neutralización de mayor grado, que transforma el fosfato monoamónico en fosfato diamónico.



c. Tecnología del Proceso Uhde GmbH de Reactor Tubular

Para proporcionar condiciones de operación estables en su proceso de reactor tubular, Uhde de Dortmund desarrolló un programa ordenador, que ha mostrado las siguientes medidas de efectividad: el control de aire de

ventilación en el granulador, un circuito líquido separado para el lavador granulador, un tambor de granulación de gran tamaño, y el uso de amoníaco líquido en el reactor tubular.

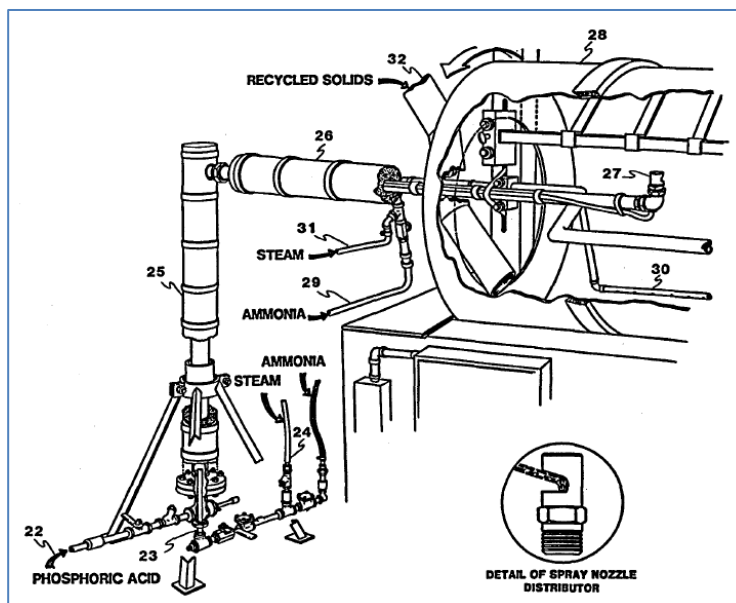
El ácido de la sección de lavado, junto con la corriente principal de ácido, se alimenta al reactor tubular, al cual se añaden el amoníaco y el ácido sulfúrico. Para una Planta de DAP de 1,000 TM/día, se utilizan dos reactores tubulares, cada uno capaz de producir 25% - 60% de la carga total (bajas cargas de producción pueden ser beneficiadas por un reactor propio). El lodo de los reactores tubulares son descargados sobre el reciclo en el granulador. La relación de reciclo es comúnmente de 3 a 4, y la temperatura de granulación se mantiene de 100° - 110°C, mediante la ventilación del granulador con el aire. El contenido de humedad típico del producto es de 2.6% - 2.8%.

Después de salir del granulador, el producto se seca y se enfría en un flujo en contracorriente de aire a temperatura ambiente. A continuación se selecciona los de tamaños grandes y los finos son reciclados, y el material de tamaño requerido se enfría más en un enfriador de lecho fluidizado (ver Gráfico 2.53). Las características mecánicas de la planta incluyen un elevador en el circuito de granulación; el reciclado fluye por gravedad; zarandas de un solo piso, y una trituradora de grumos que está fuera del flujo de reciclo principal y así pueden recibir servicio mientras la planta está en funcionamiento.

En esencia la misma planta es posible que produzca una amplia variedad de productos NPK simplemente mediante la adición de materias primas. Las relaciones de Reciclo de 1.5 a 2 pueden ser mejoradas en la producción de NPK. Dependiendo del producto, las materias primas adicionales pueden ser sólidas o líquidas. Para sólidos, el tamaño apropiado del material (<2 mm) se añade al sistema de reciclo; el material

líquido se alimenta directamente en el granulador. El consumo típico de materias primas y utilidades se dan en el Cuadro 2.40.

Gráfico 2.52 Reactor Tubular de DAP y MAP con Granulador



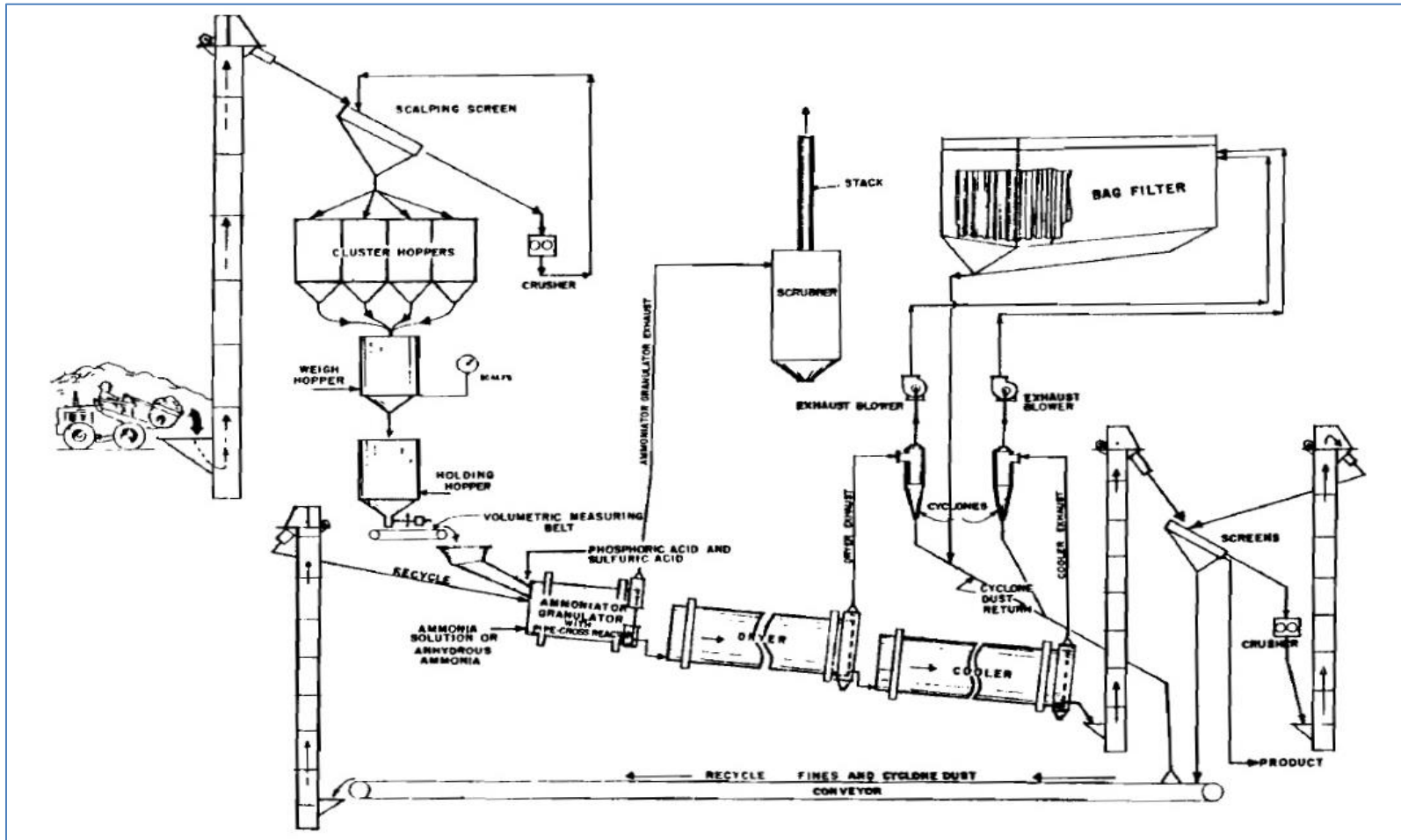
Fuente: Proceso Uhde GmbH de Reactor Tubular

Cuadro 2.40 Parámetros del Proceso Uhde GmbH

Parámetros	Límites	Preferidos
Concentración de Ácido de Alimentación		
Al lavador	26 - 42	27
Al reactor	37 - 43	40
Alimentación de Amoníaco al Proceso		
Al reactor	60 - 80	70
Al granulador	20 - 40	30
Reactor tubular		
Presión, lb/in ² g	80 - 140	90
Temperatura, °F	310 - 360	340
Relación molar NH ₃ :H ₃ PO ₄	1.2 - 1.6	1.45
Carga de Amoníaco, lb/h in ²	0.3 - 0.6	0.6
Flujo de Calor, 10⁶ Btu/h in²		
Seccion Vertical	0.04 - 0.16	0.07
Sección Horizontal	0.2 - 1.0	0.4
Distribuidor de descarga	3.9 - 17.0	5
Granulador		
Temperatura, °F	170 - 220	190
Relación de reciclo, lb/lb de producto	0.5 - 4	2

Fuente: Patente US 4,758,261:

Gráfico 2.53 Proceso Uhde GmbH de Reactor Tubular



Fuente: Proceedings of the 27th Annual Meeting Fertilizer Industry.

Cuadro 2.41 Diferencia en el contenido nutritivo de Fosfato de Amonio Puro

Componentes DAP 18-46-0	Uhde GmbH	ERT - Espindesa	AZF
Materias Primas			
Ácido Fosfórico (42% P ₂ O ₅), kg/TM	1,035	-	-
Ácido Fosfórico (100% P ₂ O ₅), kg/TM	-	463	468
Ácido Sulfúrico (100% H ₂ SO ₄), kg/TM	50	-	5
Amoníaco, líquido, kg/TM	222	221	220
Nitrato de Amonio (96%), kg/TM	-	-	-
Sal de Potasio (60%K ₂ O), kg/TM	-	-	-
Utilidades			
Agua de Proceso, kg/TM	5	-	-
Vapor (LP), kg/TM	30	1	50
Energía, kWh/TM	35	25	-
Fuel Oil, kg/TM	-	2	10
Gas Natural, Nm ³ /TM	-	-	-
Aire para Instrumentos, Nm ³ /h	55	-	-
Plantas referentes	- Planta 650 TM/año BAFGAS, Bandirma (Turquía). - Planta 1,000 TM/año SASOL, Secunda (Sudáfrica). - Planta 500 TM/año NCZ, Kafue (Zambia).	- Planta de MAP en Polvo - de 500 TM/año en Huelva (España).	- Planta de 1,200 TM/año en Grande Paroisse, Rouen (Francia). - Planta de 1,600 TM/año en Saepa, Gabes (Tunisia). - 4 Plantas x 1,200 TM/año en Maroc Phosphore, Jorf/Lasfar (Marruecos).
Fuente: "Improved Techniques for Ammonium Phosphate Production." 1986. Phosphorus and Potassium, 144 (July-August):27-33.			

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

2.9. Evaluación Económica

2.9.1. Método y conceptos económicos

En este trabajo de tesis, para analizar la rentabilidad y sobre todo si es viable o no, se realizará a través de tres indicadores económicos. En ese sentido, se usarán dos parámetros a la hora de calcular la viabilidad de un proyecto son el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno). Ambos conceptos se basan en lo mismo, y es la estimación de los flujos de caja que tenga la empresa (simplificando, ingresos menos gastos netos). Y, adicionalmente, se usará el Payback para medir el tiempo de recuperación de la inversión total en este proyecto.

2.9.1.1. Valor Actual Neto (V.A.N.)

Valor Actual Neto de una inversión se entiende como la suma de los valores actualizados de todos los flujos netos de caja esperados del proyecto, deducido el valor de la inversión inicial.

2.9.1.2. Tasa Interna de Retorno (T.I.R.)

Se denomina Tasa Interna de Retorno (T.I.R.) a la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (V.A.N.) de una inversión sea igual a cero. (V.A.N. = 0).

Este método considera que una inversión es aceptable si el T.I.R. resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor, y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca un T.I.R. mayor.

2.9.1.3. Payback

Es el número de años que la empresa tarda en recuperar la inversión. Este método selecciona aquellos proyectos cuyos beneficios permiten recuperar más rápidamente la inversión, es decir, cuanto más corto sea el periodo de recuperación de la inversión mejor será el proyecto.

Del análisis de los indicadores económicos descritos anteriormente se estimará si el Complejo propuesto es económicamente viable.

2.10. Proyección del Mercado

La proyección del mercado será calculada en base a la información histórica, actual y proyectada de la demanda nacional registrada por producto, que posteriormente servirá para hallar el tamaño de planta.

2.11. Aspectos técnicos

2.11.1. Elección de Tecnología

La elección de la tecnología se verá afectada por el tipo, calidad, cantidad de materia prima disponible, así como de los parámetros de operación que mejor se adecúen a la materia prima aprovechable.

2.11.2. Elección de Tamaño de Planta

La elección tamaño de planta se verá influenciada por la demanda nacional, de acuerdo al tipo de producto fosfatado a producir. En ese sentido, teniendo en cuenta que el tiempo para tener operativo el complejo es de un promedio de cinco (5) años, los cuales cubren los tiempos para el estudio de prefactibilidad, la confección y aprobación del Estudio de Impacto Ambiental - EIA, la preparación del terreno y la construcción del complejo hasta su puesta en operación, se tomará el primer año de operación como objetivo de demanda, es decir, se proyecta 10 años a partir del 2014 hasta el 2023 para hallar la capacidad del complejo de fosfatos.

Adicionalmente, se considera cubrir una cuota del 35% de la demanda en Sudamérica, dicho porcentaje será también calculado a 10 años en adelante.

2.12. Evaluación Ambiental

Producto del análisis ambiental realizado a los procesos involucrados se podrá cuantificar el impacto ambiental causado, y de esta forma determinar la viabilidad ambiental.

2.13. Bases Legales

2.13.1. Ley N° 29970

Mediante la Ley N° 29970, Ley que afianza la seguridad energética y promueve desarrollo de polo petroquímico en el sur del país, la tercera disposición complementaria declara de interés nacional la construcción de los ductos regionales en las regiones Huancavelica, Junín y Ayacucho, desde las válvulas del gasoducto existente desde Malvinas hasta la costa central del país.

Esta Ley fue impulsada por el Proyecto de Ley 939/2011-CR, que tiene por objeto declarar de necesidad pública y de preferente interés nacional la elaboración, construcción y ejecución del sistema de transporte de Gas Natural desde los yacimientos ubicados en Camisea hacia el centro del país, con la finalidad de promover el desarrollo del centro, beneficiar a la población de dicha zona y acrecentar la seguridad energética mediante la masificación del Gas Natural.

La construcción del gasoducto centro estuvo en un principio incluido dentro del proyecto "Sistema de Distribución del Gas Natural por Red de Gasoductos para las regiones Ayacucho y Junín", el cual fue promovido por Proinversión. El objetivo de este proyecto era de abastecer de Gas Natural a las tres regiones antes mencionadas.

Con ese fin, se pensó en la construcción de dos ramales desde el gasoducto central: El primero con una extensión de 276 km que partida desde Humay hasta Pisco, ampliado posteriormente hasta Ica y Marcona; y el segundo con 349 km partiendo desde La Oroya pasando por Huancayo y llegando hasta Ayacucho.

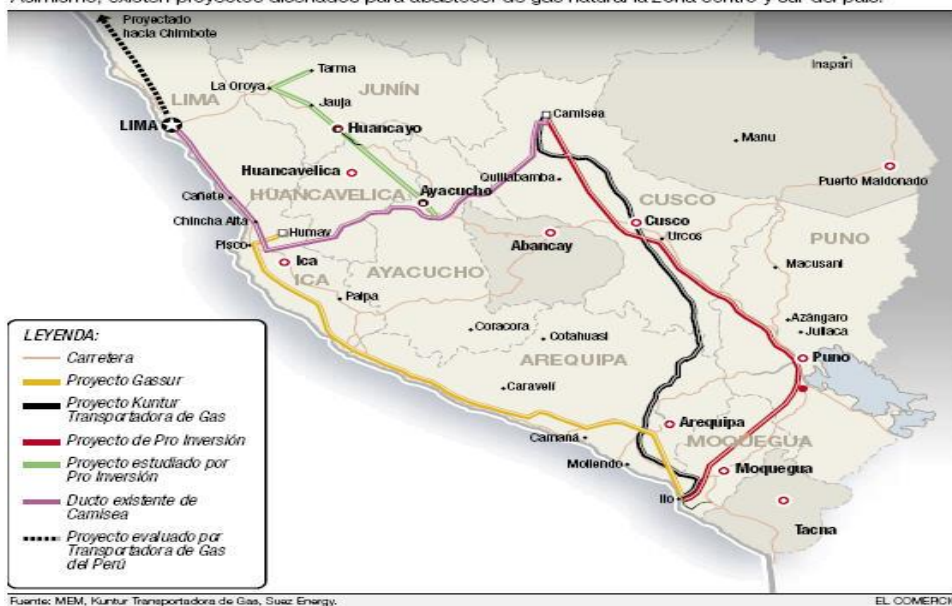
El Gobierno Regional de Junín, en opinión de su entonces presidente Vladimir Huaroc Portocarrero agradeció en el 2010 el miramiento dentro del proyecto Camisea a la macroregión centro, y al 2012 dicho gobierno regional bajo la presidencia de Vladimir Cerrón Rojas, ha manifestado mediante Nota de Prensa N° 142-2012-GRJ/ORC de fecha 15 de marzo de 2012, que es una necesidad pública la construcción de un gasoducto en la región centro, y no debe postergarse la masificación del Gas Natural a las regiones más necesitadas.

A continuación se muestra el mapa los gasoductos en el Gráfico 2.54 y en el Gráfico 2.56, que a nivel nacional se han planteado construir para abastecer la demanda del mercado interno, tratando con ello de dinamizar la economía nacional y fomentar el uso de un combustible de menor valor que permita a la vez economizar a los hogares peruanos y contribuir a la cultura del ahorro.

Gráfico 2.54 Rutas del Gas Natural del Año 2009

Las rutas del gas natural

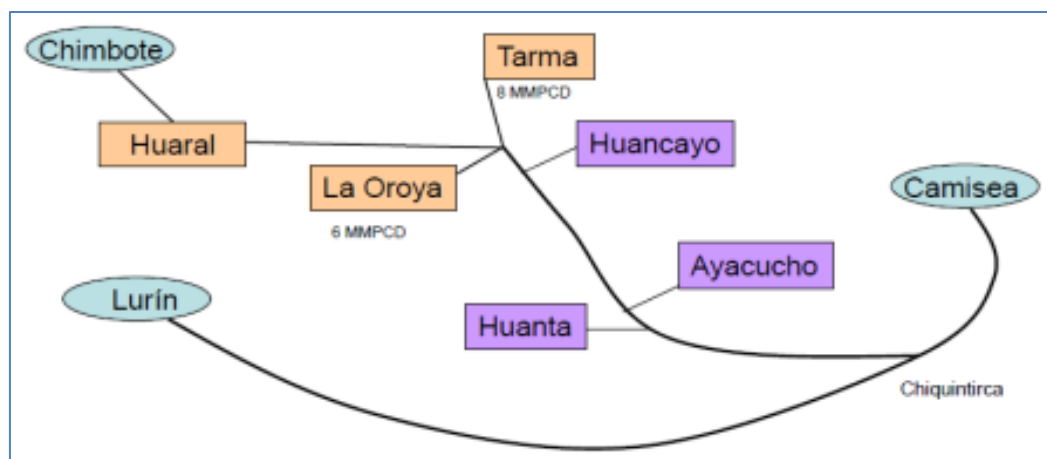
El Gobierno promoverá la extensión del gasoducto de Camisea al norte, específicamente hasta Chimbote. Asimismo, existen proyectos diseñados para abastecer de gas natural la zona centro y sur del país.



Fuente: MEM, TGP. SUEZ ENERGY

Se evidencia que en este mapa (ver Gráfico 2.54), ya se había planificado la construcción de un ducto hacia Huancayo y La Oroya; no obstante al año 2012 no existía un estudio definitivo para hacer viable su construcción.

Gráfico 2.55 Propuesta de la distribución de la Sierra Central



Fuente: MEM

Del Gráfico 2.55 se puede apreciar que para Tarma y La Oroya ya se habían estimado demandas de Gas Natural de 8 MMPCD y 6 MMPCD, respectivamente.

Gráfico 2.56 Gasoductos Existentes y en Proyecto en el Territorio Peruano del Año 2009



Fuente:MEM

2.13.2. Aspectos relevantes de la Resolución Suprema N° 053-2013-EM

Aprobación de la Adenda al Contrato de BOOT de Concesión de Transporte de Gas Natural de Camisea al City Gate

Mediante Decreto Supremo N° 014-2013-EM se modificó el Reglamento de la Promoción, aprobado mediante Decreto Supremo N° 040-99-EM, para permitir entre otras disposiciones, la ejecución de las Derivaciones Principales, como Ramales necesarios para suministrar Gas Natural a las ciudades cercanas al recorrido del Sistema de Transporte de Gas.

Teniendo en cuenta la actual política del Ministerio de Energía y Minas (MEM) de impulsar decididamente la Masificación del Uso del Gas Natural con un criterio de Inclusión Social, y considerando que el artículo 5° del Decreto Supremo N° 014-2013-EM ha definido una serie de Regiones para promover el desarrollo de las Derivaciones Principales, entre las cuales se encuentra la de Ayacucho, el MEM solicitó a la Sociedad Concesionaria que evaluara la posibilidad de desarrollar la Derivación Principal a Ayacucho (en adelante la "Derivación Principal Ayacucho"). Ver Gráfico 2.57.

Las Partes acordaron desarrollar una serie de reuniones con el fin de analizar las alternativas técnicas y constructivas a efectos de construir la Derivación Principal Ayacucho.

Finalmente, la Sociedad Concesionaria presentó, en julio de 2013, a la consideración del MEM distintas alternativas constructivas con sus respectivos análisis de flujos de capacidad de transporte y un estimado de los costos de inversión para cada una de ellas.

En base a las alternativas presentadas por la Sociedad Concesionaria, el MEM optó el 29 de agosto de 2013, por la construcción de un ducto de 14" de diámetro teniendo en cuenta futuros abastecimientos a otras ciudades.

El OSINERGMIN, en cumplimiento de lo dispuesto por las Disposiciones Transitorias contenidas en la Resolución de Consejo Directivo del OSINERGMIN N° 144-2013-OS/CD formuló los cálculos previos referidos al costo de inversión, operación y mantenimiento de la **Derivación Principal Ayacucho**.

Habiendo existido acuerdo entre el Gobierno y la Sociedad Concesionaria, resulta necesario definir los términos y condiciones que permitan desarrollar la Derivación Principal Ayacucho.

En ese sentido la **TERCERA** cláusula de la Adenda detalla lo siguiente:

"9,33 Derivación Principal Ayacucho.

La Sociedad Concesionaria en el marco de lo establecido por el Decreto Supremo N°014-2013-EM que modificó el Reglamento de la Promoción, se compromete a construir la Derivación Principal Ayacucho, bajo los términos y condiciones establecidos en el Anexo B que forma parte integrante de la Adenda aprobada mediante Resolución Suprema N° 053-2013-EM. La construcción de la Derivación Principal Ayacucho, su puesta en operación comercial y todo el tratamiento tarifario y de ingresos de la Sociedad Concesionaria se encuentra regulada en el Anexo B de la Adenda aprobada mediante Resolución Suprema N° 053-2013-EM".

CUARTA: Definiciones relativas a las Derivaciones Principales.

Incluir en el Contrato las siguientes definiciones:

"Derivación Principal Ayacucho: Gasoducto o Ramal que la Sociedad Concesionaria se compromete a ejecutar conforme al Contrato, mediante el cual prestará el Servicio de Transporte de Gas desde su punto de inicio y

hasta el punto de entrega ubicado en el City Gate de la ciudad de Ayacucho, Provincia de Huamanga, Región Ayacucho. Abarca desde el punto de conexión entre la Red Principal y la Derivación Principal Ayacucho establecido en la Memoria Descriptiva incorporada como Sub Anexo B.2 de la Adenda aprobada mediante Resolución Suprema N° 053-2013-EM hasta el City Gate del Concesionario de Distribución de Gas Natural por Red de Ductos de la ciudad de Ayacucho. De conformidad con el artículo 17a.1 del Reglamento de la Promoción, la Derivación Principal Ayacucho es parte del Sistema de Transporte de Gas. "

En ese sentido, el proyecto de "Masificación del Uso de Gas Natural, utilizando gas natural comprimido, en las ciudades de Abancay, Andahuaylas, Huamanga, Huanta, Huancavelica, Huancayo, Jauja, Cusco, Juliaca y Puno", en el que se otorgó la Buena Pro, el 16 de julio de 2013, a la empresa Graña y Montero Petrolera S.A.

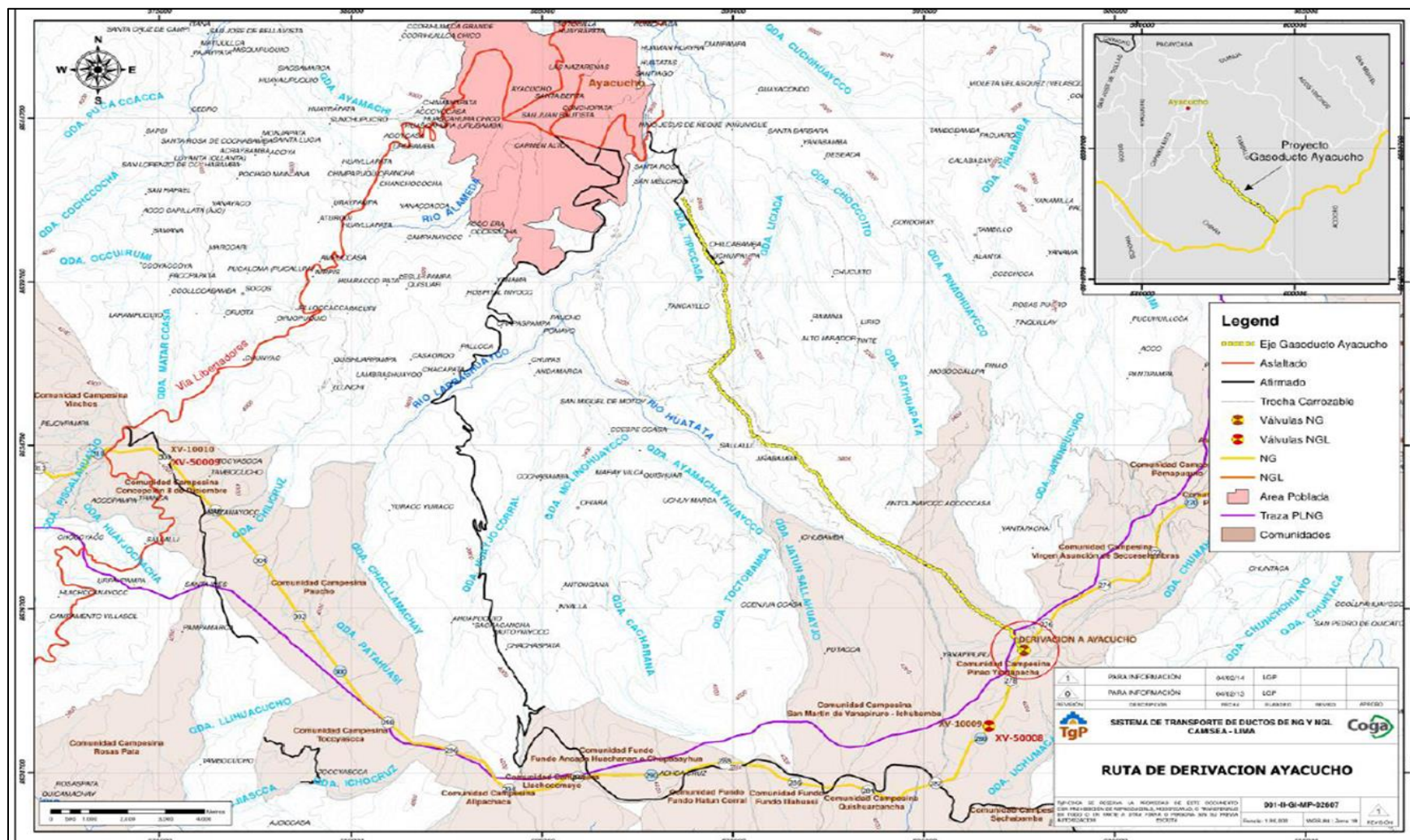
El objetivo de este proyecto es contar con un sistema de abastecimiento de gas natural, utilizando como tecnología el Gas Natural Comprimido (GNC), para las zonas alto andinas del país, que permita suministrar de GNC y GNV¹³ a dichas zonas, llevando los beneficios de este combustible a distintas localidades del centro del país.

Para el desarrollo del proyecto el operador y Distribuidor local en Ayacucho, Graña y Montero Petrolera S.A, contempla principalmente de la Estación de Compresión de Huamanga que parte de la Derivación Principal de Ayacucho.

Por lo expuesto, la Derivación Principal de Ayacucho ya se encuentra en construcción con un avance del 30% a marzo de 2014 y estimando su puesta en marcha para mayo de 2015, según OSINERGMIN. Es decir, la Derivación Principal de Ayacucho es una realidad tangible.

¹³ Gas Natural Vehicular.

Gráfico 2.57 Mapa de Trayectoria del Proyecto Derivación Principal Ayacucho 20 km



Fuente: TGP, OSINERGMIN.

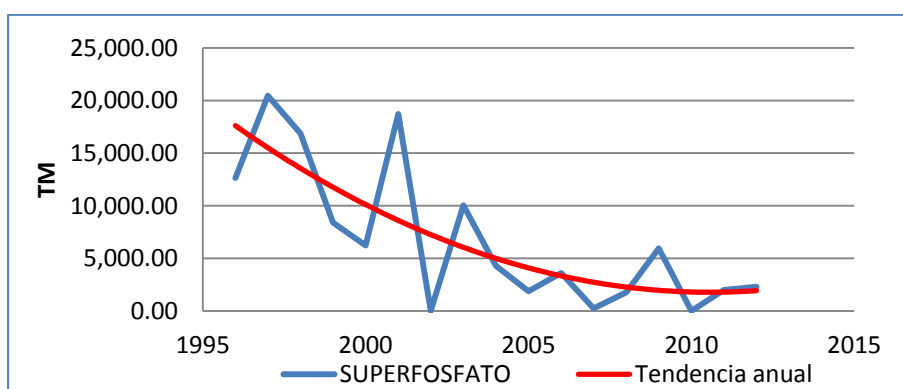
CAPÍTULO III: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Proyección del Mercado de los fertilizantes fosfatados

3.1.1. Proyección de Importación de Superfosfatos en el Perú

Al tomar como base las importaciones anuales de Superfosfatos Simple y Triple, se tiene en el Gráfico 3.1:

Gráfico 3.1 Importación Anual de Superfosfato Simple y Triple



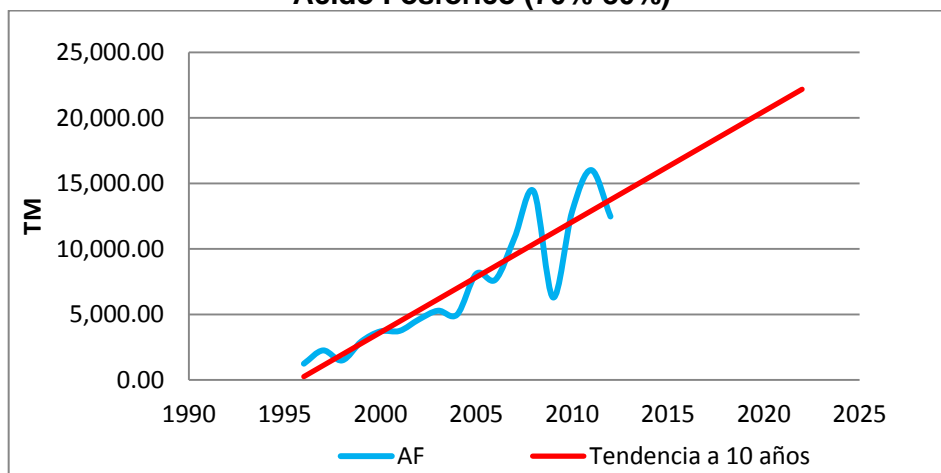
Elaboración: Propia

Es así que se puede afirmar que la demanda futura irá decayendo, por lo tanto no es posible sustentar la producción interna de un producto que a lo largo del tiempo pierde demanda. Debido a su sustitución por los fosfatos amónicos, como se verá en el Gráfico 3.3 y Gráfico 3.4.

3.1.2. Proyección de Importación de Ácido Fosfórico en el Perú

Entonces, al tomar como base las importaciones anuales de Ácido Fosfórico, y proyectando la demanda a 10 años, se tiene el Gráfico 3.2:

Gráfico 3.2 Proyección al 2023 (a 10 años) de la Importación Anual de Ácido Fosfórico (70%-80%)



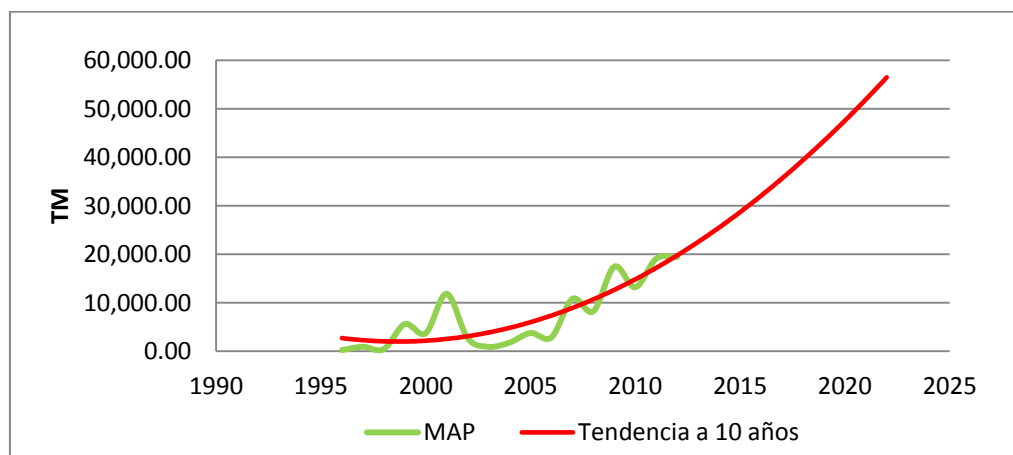
Elaboración: Propia

Se observa un creciente mercado para este significativo producto; sin embargo, la cantidad a producir sería relativamente baja en comparación a productos de mayor demanda y de mayor rentabilidad. Por lo tanto, no se puede alentar la producción de Ácido Fosfórico de Grado alimenticio (85%).

3.1.3. Proyección de Importación del Fosfato Monoamónico (MAP) en el Perú

De la misma forma, al tomar como base las importaciones anuales de Fosfato Monoamónico (MAP), y proyectando la demanda a 10 años, se tiene el Gráfico 3.3:

Gráfico 3.3 Proyección al 2023 (a 10 años) de la Importación Anual de Fosfato Monoamónico (MAP)



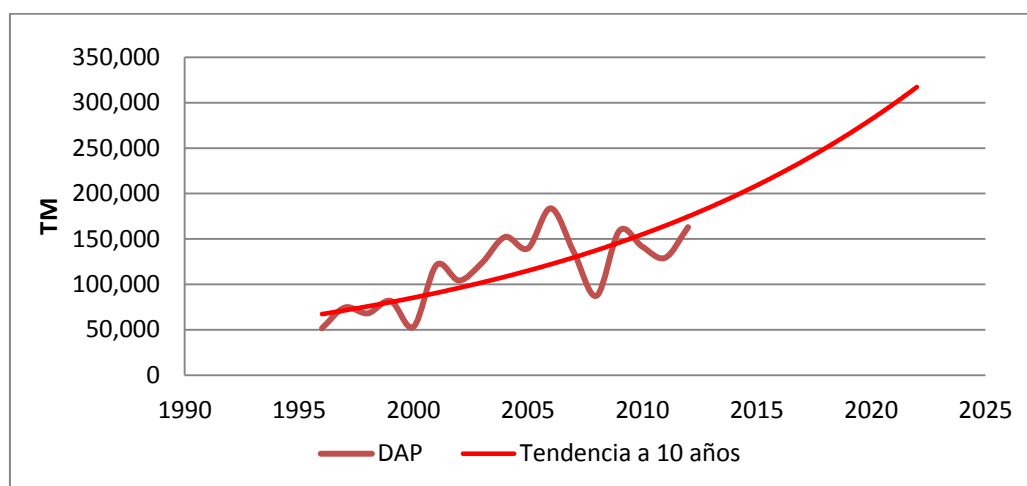
Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración propia

Del resultado de la proyección en el Gráfico 3.3, al año 2023 se tendría una demanda promedio de 55 MTM/año de Fosfato Monoamónico, por lo que se tomaría como referencia la cantidad señalada para futuras estimaciones globales. En adición, se sabe que tanto el MAP como DAP son productos afines, esta característica daría lugar a coadyuvar la demanda de ambos productos en el mercado.

3.1.4. Proyección de Importación del Fosfato Diamónico (DAP) en el Perú

Asimismo, al tomar como base las importaciones anuales de Fosfato Diamónico (DAP), y proyectando la demanda a 10 años, resulta el Gráfico 3.4:

Gráfico 3.4 Proyección al 2023 (a 10 años) de la Importación Anual de Fosfato Diamónico (DAP)



Fuente: SUNAT-Operatividad Aduanera, Elaboración Propia

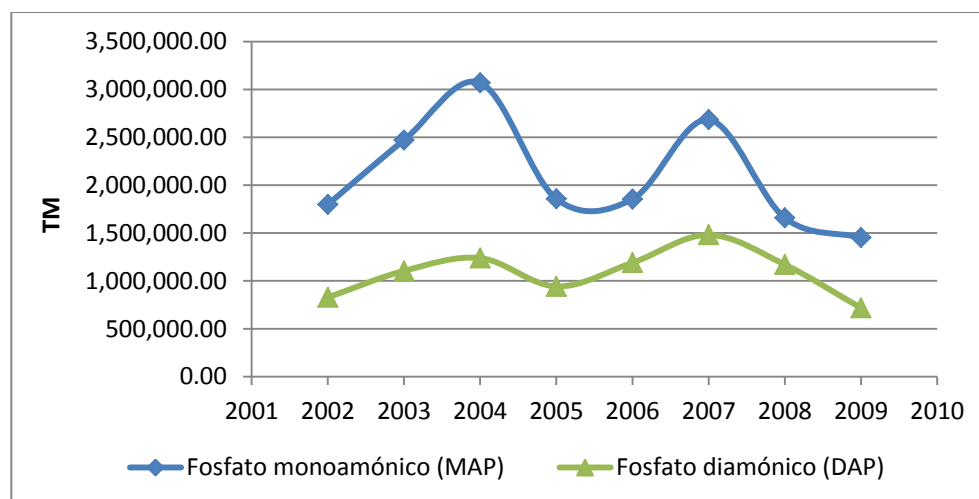
Producto de esta proyección se sustenta la producción interna de Fosfato Diamónico de aproximadamente de 300 MTM/año como principal fertilizante a producir, hacia el año 2023. Por lo tanto, se tomaría como referencia la cantidad obtenida para dimensionar la planta DAP.

3.1.5. Proyección de la Demanda Regional Sudamérica

Como se considera en el apartado 2.11.2, se considera cubrir una cuota del 35% de la demanda regional Sudamérica, la cual está compuesta por los

países de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay y Uruguay. En ese sentido se tiene en la región:

Gráfico 3.5 Demanda Regional Anual de MAP y DAP 2002 - 2010



Fuente: FAOSTAT

Al apreciarse demanda oscilante para ambos productos, se toma el promedio para cada fertilizante los 10 años constantes hasta el 2023, resultando:

Cuadro 3.1 Estimación del 35% de Cuota Anual de la Demanda Regional

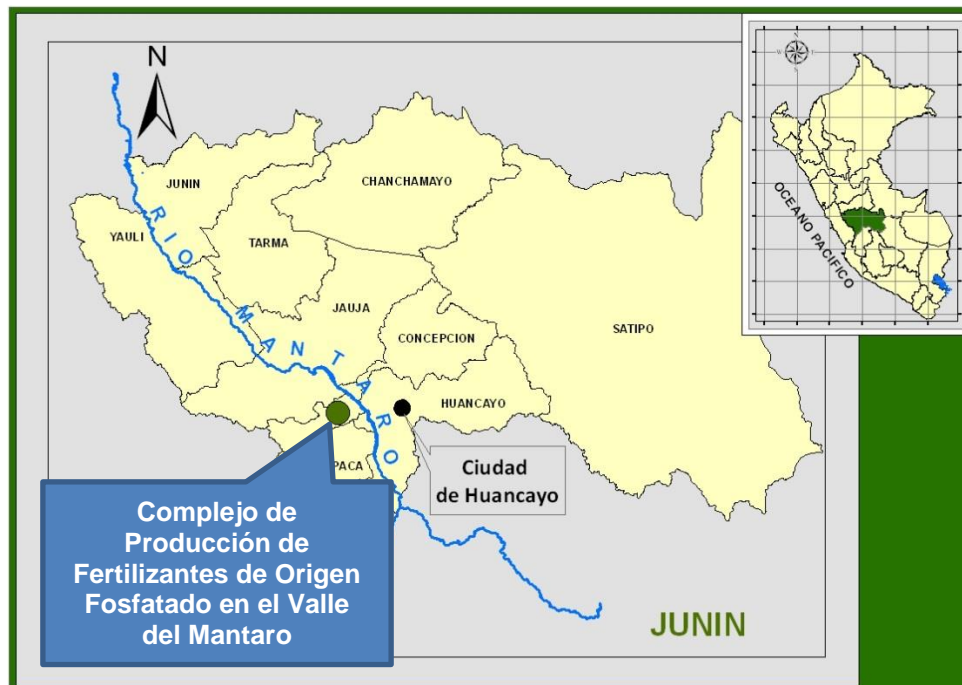
Criterio	Fosfato monoamónico MAP (TM)	Fosfato diamónico DAP (TM)
Promedio Annual 2002-2009	2,106,067.00	1,083,920.00
Cuota 35% Annual	737,123.45	379,372.00

Por lo tanto, las cantidades obtenidas para la cuota del 35% en el Cuadro 3.1 se tomarían en cuenta para hallar el tamaño de planta competitivo.

3.2. Ubicación y características del Complejo

La ubicación estratégica del Complejo se ubicaría en las proximidades (a 2 km) del pueblo de Sincos, Huancayo-Junín (ver Gráfico 3.6).

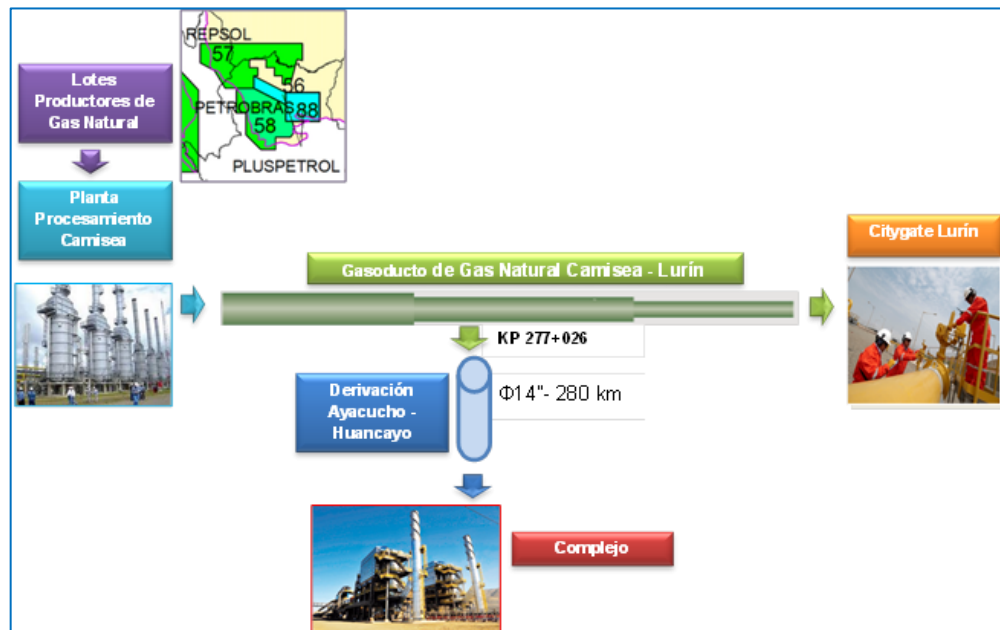
Gráfico 3.6 Ubicación del Complejo de Producción de Fertilizantes de Origen Fosfatado en el Valle Mantaro - Región Junín



Las razones de esta ubicación son las siguientes:

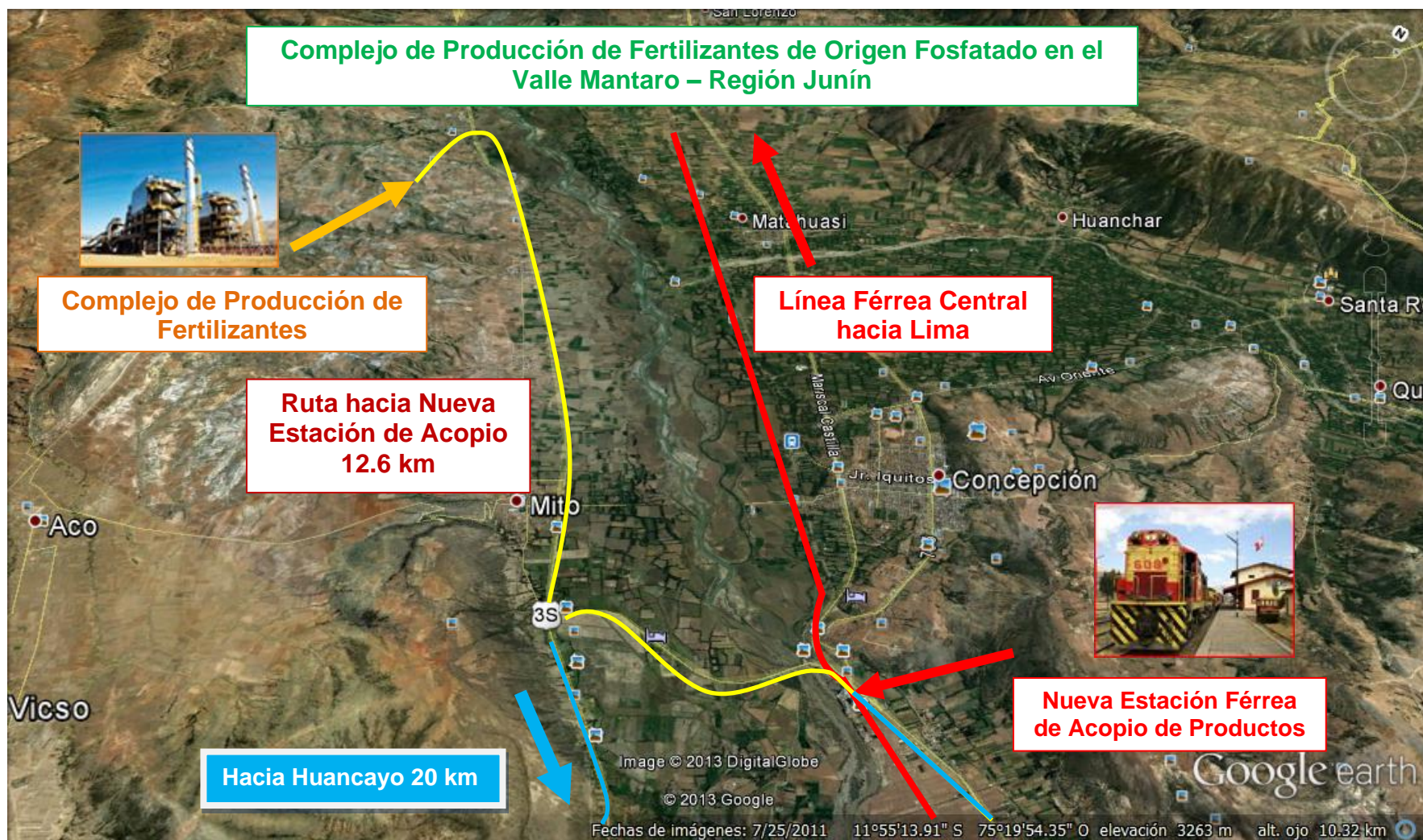
- a) La cercanía de las materias primas al Complejo, la ubicación in situ de las reservas de fosfato, el ácido sulfúrico podría ser trasladado desde el complejo metalúrgico Doe Run Perú en la Oroya, que a junio de 2014 se encuentra parada, en reestructuración y que posiblemente sea vendida antes del 08 de diciembre de 2014, y de la Refinería Votorantim Metais Cajamarquilla S.A. de Lima; y el suministro de Gas Natural se realizaría mediante la extensión del ducto Derivación Principal Ayacucho (ver Gráfico 3.7).
- b) Cercanía al río Mantaro para el suministro de agua, así como las líneas de transmisión eléctrica que atraviesan las reservas de fosfatos, para el suministro de energía eléctrica.

Gráfico 3.7 Esquema de Transporte de Gas Natural Camisea - Huancayo



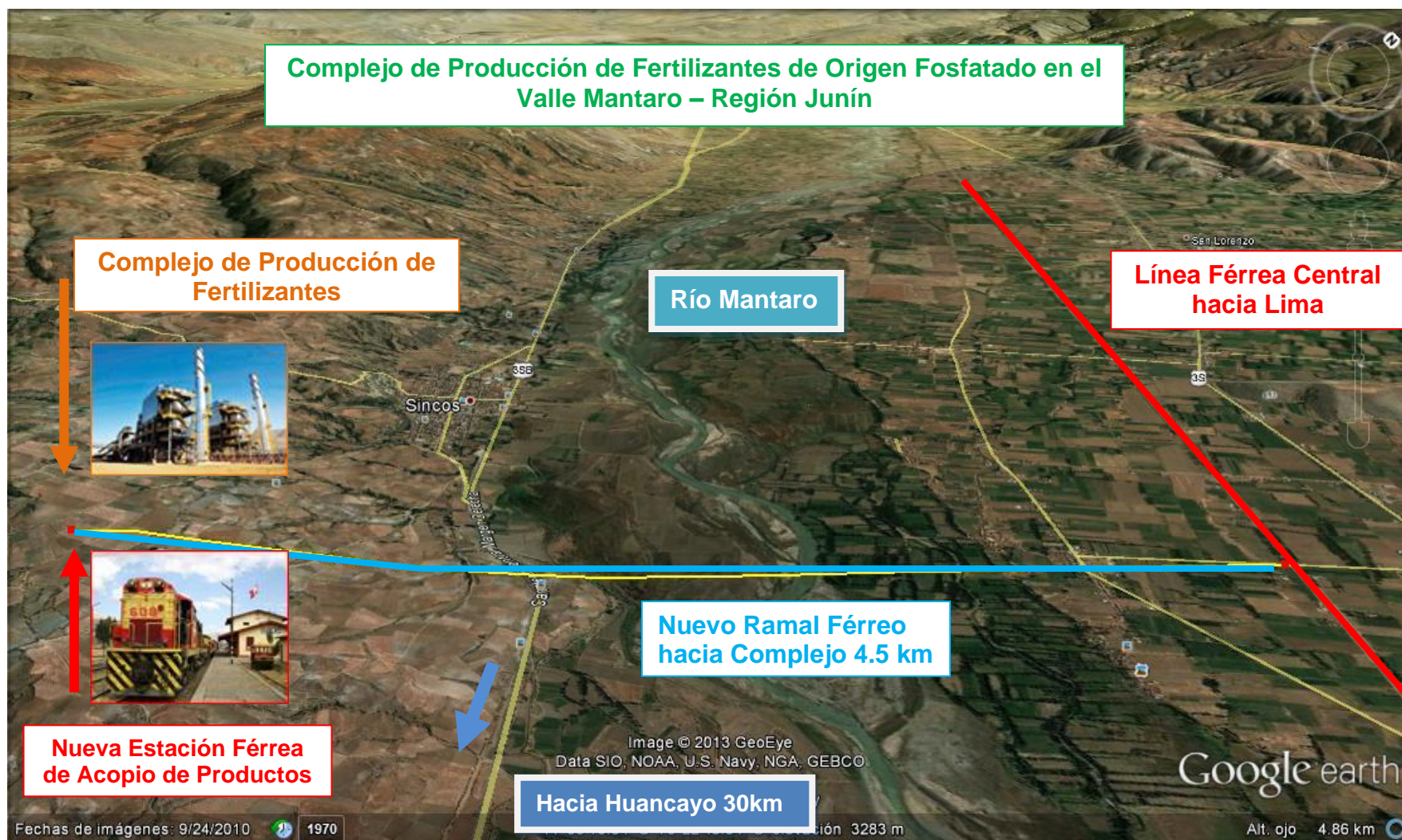
- c) Facilidades de distribución de los productos a través de la Carretera Central y del Sistema Ferrocarril Central Andino, para éste último se alberga dos (2) alternativas de usanza:
- i. Como principal y existente alternativa, se considera el acceso que posee el pueblo de Sincos a la Carretera Central (margen derecha del río Mantaro) como medio para la distribución, mediante camiones a la zona centro del país y a un punto de acopio en la línea férrea, que se encontraría 12.6 km del complejo, ver Gráfico 3.8, a través del cual sería llevado al puerto del Callao, Lima.
 - ii. Y como segunda alternativa, sería trasladar el punto de acopio, de la línea férrea al Complejo de tal forma que se construya un ramal férreo de aproximadamente 4.5 km, que cruzaría el río Mantaro (ver Gráfico 3.9). Se debe precisar que, la inversión para esta infraestructura adicional no se encuentra en el *Battery Limit* del Complejo.

Gráfico 3.8 Ubicación del Complejo en el Valle Mantaro con Primera alternativa de Despacho



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.9 Ubicación del Complejo en el Valle Mantaro con Segunda alternativa de Despacho



Fuente: Elaboración propia

3.3. Elección del tamaño de planta

Del resultado obtenido en el numeral 3.1, se pudo estimar una demanda significativa orientada sólo a los fosfatos amónicos, de la siguiente manera:

Cuadro 3.2 Demanda estimada de Productos Fosfatados

Producto	Demanda Nacional Estimada	Demanda 35% Regional Estimada	Tamaño de Planta Calculado	Demanda con Factor de Operación 90%
MAP	55,000 TM/año	740,000 TM/año	795,000 TM/año	883,333 TM/año
DAP	300,000 TM/año	380,000 TM/año	680,000 TM/año	755,555 TM/año

Fuente: Elaboración Propia

Mediante el Factor de Operación (0.90) aplicado se determinó la capacidad total de las plantas MAP y DAP, toda vez que se logre obtener el tonelaje requerido por el mercado nacional al 100% y el regional al 35%. Cabe señalar que el proceso de elaboración de ambos productos usa la misma tecnología, diferenciándose en el grado de neutralización del ácido fosfórico con amoníaco

3.4. Elección de los Procesos Industriales

3.4.1. Planta de Ácido Fosfórico

Se planteó tres tipos de proceso mediante la formación de hidratos.

En primer lugar, para el Proceso Anhidrato al año 2014 no existe un uso comercial, principalmente porque la temperatura de reacción requerida es suficientemente alta (200°C) para causar severos problemas por corrosión.

Cabe señalar que los Procesos Dihidrato son los más populares a nivel mundial porque son relativamente simples y adaptables a amplios rangos de pureza y diversos tipos de rocas fosfórica. Este proceso sería el más indicado pues se tendrá como producto ácido fosfórico del 26 - 32% de concentración, que luego será reconcentrado al 54%. En cuanto al costo de inversión es de 37.5 MMUS\$ para una planta de 160 MTM/año, superior por 1.5 MMUS\$ al proceso Hemidrato (ver Cuadro 2.38).

Los Procesos Hemihidrato tienen una significativa ventaja en la producción de ácido fosfórico con una alta concentración relativa del 80%, sin el uso de ninguna de etapa de concentración; sin embargo, la demanda nacional no justifica la obtención de ácido fosfórico de alta concentración (Grado alimento).

Por lo expuesto en párrafos anteriores, se elige el Proceso Dihidrato por ser relativamente simple y adaptable a amplios rangos de pureza y diversos tipos de rocas fosfórica.

3.4.2. Planta de Amoníaco

Por más de 60 años, la empresa danesa, Haldor Topsoe ha sido uno de los principales proveedores de catalizadores y tecnología para la industria del amoníaco. El enfoque integrado de catalizadores basados en la investigación y tecnologías asegura una comprensión fundamental del proceso de amoníaco, reforzada a través de décadas de experiencia industrial así como el desarrollo de una amplia gama de catalizadores y tecnologías para la producción de amoníaco.

Más de 60 plantas utilizan el concepto de proceso Haldor Topsoe. Desde 1990, el 50% de la nueva capacidad de producción de amoníaco se ha basado en la tecnología de Topsoe. Capacidades de las plantas construidas dentro de la última gama de 650 TM/día hasta más de 5,000 TM/día.

El 17 de diciembre de 2009, la empresa estatal Petróleos del Perú y la empresa de Haldor Topsoe firmaron los contratos de licencias y diseño básico de procesos del Proyecto de Modernización de Refinería Talara, continuando así con el desarrollo del cronograma de ejecución del Proyecto de Modernización de Refinería Talara. Por otro lado, la Procesadora Industrial Río Seco, firmó un contrato con Haldor Topsoe para el suministro de una

planta de gas húmedo de ácido sulfúrico, la puesta en marcha de esta planta se llevó a cabo en el año 2013. De esta manera se evidencia la presencia en Perú de esta empresa licenciante reflejada en importantes proyectos.

Por lo expuesto, se elige el Proceso de Haldor Topsoe para la producción eficiente de Amoníaco.

3.4.3. Planta de Fosfatos de Amonio: MAP y DAP

Al respecto se mostraron 3 licenciante al proceso: Uhde GmbH, ERT-Espindesa y AZF.

Del análisis efectuado al cuadro de requerimientos de materia prima, salta a la vista que las empresas licenciante ERT-Espindesa y AZF tienen como carga Ácido Fosfórico al 100% de pureza, dicha concentración no será obtenida por el **Proceso Dihidrato**, anteriormente escogido, mediante el cual se obtendrá ácido fosfórico alrededor del 54% en peso de P_2O_5 , y para este rango la licenciante Uhde GmbH se adapta fácilmente con los 42% de pureza exigidos.

Por otro lado, las licenciante ERT-Espindesa y AZF incluyen en su proceso un aceite combustible, el cual representa costos adicionales de producción frente a la licenciante de Uhde GmbH que no necesita de esta carga.

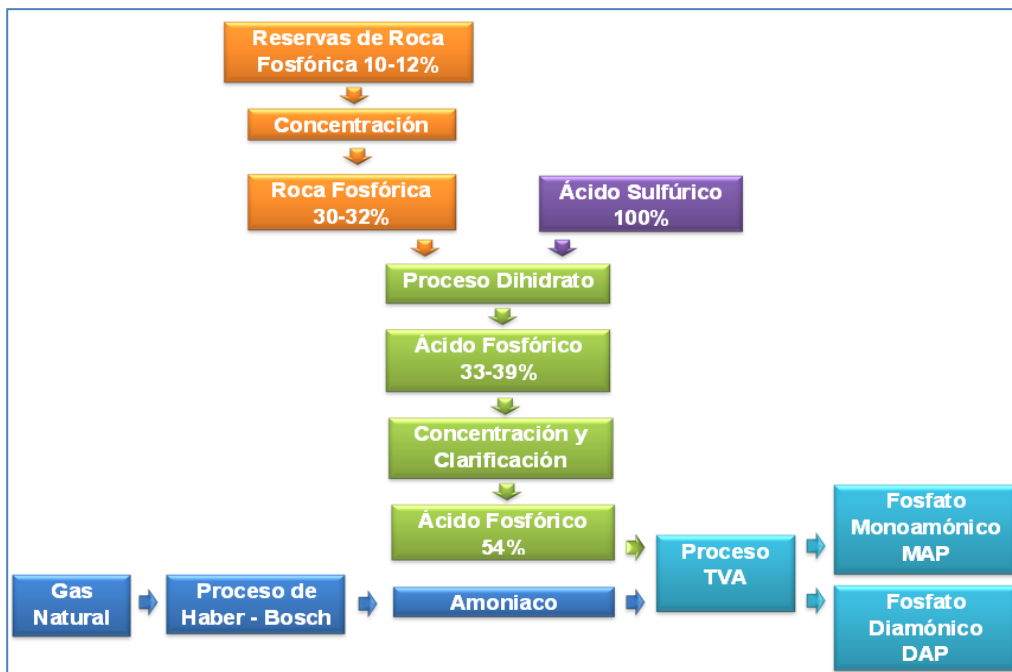
Tomando como referencia las plantas en el haber de cada una de las licenciante, Uhde GmbH ha instalado plantas de 500 a 1,000 TM/día, rango en el cual se encontraría el tamaño de planta anteriormente escogido.

Por lo expuesto, solo la licenciante Uhde GmbH está en condiciones de procesar el producto ácido fosfórico alrededor del 54% en peso de P_2O_5 .

3.5. Balances de Materia y Energía de los Procesos Industriales

Con los objetivos de mercado al año 2023 y las licenciantes a utilizar se puede determinar la cantidad de materia prima y los servicios industriales requeridos; y de esta manera dimensionar el Complejo orientado a la producción de MAP y DAP. Para el cual se considera un factor de operación de 0.90.

Gráfico 3.10 Proceso de Elaboración de los Fosfatos Amónicos



3.5.1. Planta de Ácido Fosfórico

Del Cuadro 3.2 y la cantidad de Ácido Fosfórico, se estima una capacidad de:

ÁCIDO FOSFÓRICO 4,490.07 TM/día**Cuadro 3.3 Consumo de Materia Prima por TM de Ácido Fosfórico**

Entradas	Unidades	Consumo por TM de AF	Consumo
Roca Fosfórica (32%P₂O₅)	TM/TM	3.29	14,772.34 TM/día
H₂SO₄ 100%	TM/TM	2.80	12,572.21 TM/día
Agente Antiespumante	US\$/TM	0.50	2,245.04 US\$/día
Energía eléctrica:			
- Molienda	kWh/TM	20.00	89,801.47 kWh/día
- Proceso	kWh/TM	70.00	314,305.15 kWh/día
- Concentración	kWh/TM	10.00	44,900.74 kWh/día
Vapor:			
- Proceso	TM/TM	0.15	673.51 TM/día
- Concentración	TM/TM	1.75	7,857.63 TM/día
Agua de enfriamiento	m ³ /TM	70.00	314,305.15 m ³ /día
Agua de Proceso	m ³ /TM	7.00	31,430.51 m ³ /día
Labor	Horas de trabajo/TM	0.38	1,706.23 h/día

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC, Elaboración Propia

3.5.2. Planta de Amoníaco

Del Cuadro 3.2 y la cantidad de Amoníaco, se estima una capacidad de (ver Cuadro 3.4):

AMONÍACO 963.09 TM/día

Del Cuadro 3.4, se sabe que se necesitan **6,741.62 Gcal/día** de Gas Natural para la planta de Amoníaco, resta calcular el volumen de Gas Natural de consumo diario a partir de la energía entregada por el Gas Natural de Camisea, que reporta **0.0402029 GJ/sm³** y es equivalente a **271.96 Gcal/MMPCD**. Por lo que procedemos a dividir el consumo diario entre la energía entregada por el Gas Natural de Camisea, resultando **24.7 MMPCD**.

Cuadro 3.4 Consumo de Materia Prima por TM de Amoníaco

Parámetros	Unidad/TM	Consumo por TM de Amoníaco	Consumo	
Materias Primas				
Gas Natural	Gcal	7.00	6,741.62	Gcal/día
Utilidades				
Electricidad	kWh	0.00	0.00	kWh/día
Agua de Enfriamiento	m ³	210.00	202,248.53	m ³ /día
Agua de Proceso	m ³	2.30	2,215.10	m ³ /día
Labor	Horas trabajo	0.30	288.93	h/día

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

3.5.3. Planta de Fosfatos de Amonio: MAP y DAP

Del Cuadro 3.2, se evaluó una capacidad de:

MAP	2,338.24	TM/día	795,000.00	TM/año
DAP	2,000.00	TM/día	680,000.00	TM/año

Cuadro 3.5 Consumo de Productos Intermedios por TM de MAP y DAP

Costo de Componentes / Producto	DAP 18-46-0 MAP 10-50-0	Consumo Total	
Materias Primas			
Ácido Fosfórico (42% P ₂ O ₅), kg/TM	1,035	4,490.07	TM/día
Ácido Sulfúrico (100% H ₂ SO ₄), kg/TM	50	216.91	TM/día
Amoníaco, líquido, kg/TM	222	963.09	TM/día
Utilidades			
Agua de Proceso, kg/TM	5	21.69	TM/día
Vapor (LP), kg/TM	30	130.15	TM/día
Energía, kWh/TM	35	151,838.24	kWh/día
Aire para Instrumentos, Nm ³ /h	55	5,726,470.59	m ³ /día
Labor	0.15	8,717.65	h/día

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC, Elaboración Propia,

Cabe señalar que la tecnología usada para la producción de MAP y DAP es la misma, pues sólo se necesita hacer ajustes en el reactor para obtener DAP y MAP. Es preciso indicar que, a partir del tonelaje diario o anual, de los

productos finales, se calculó las capacidades de las demás plantas involucradas.

3.5.4. Balance General del Complejo

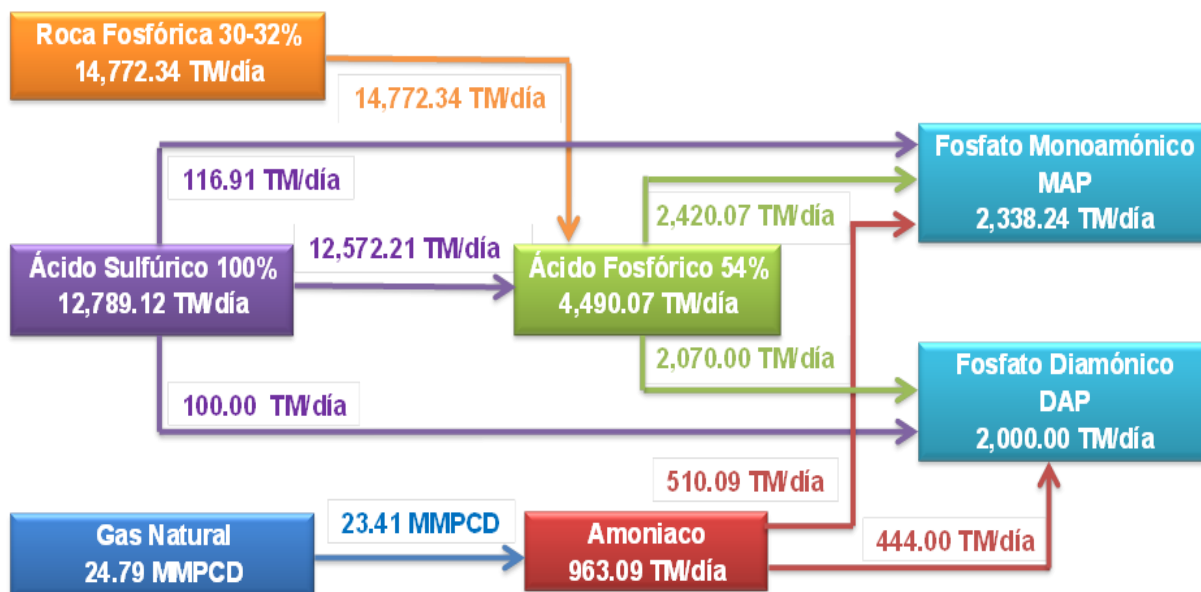
Para el Complejo, comprendido por las plantas de Ácido Fosfórico, Amoníaco, MAP y DAP se tiene:

Cuadro 3.6 Balance General del Complejo

DESCRIPCION	PLANTA AF	PLANTA AMONÍACO	PLANTA DAP/MAP	COMPLEJO
Materia Prima				
Roca Fosfórica (32%P ₂ O ₅) , TM/día	14,772.34			14,772.34
H ₂ SO ₄ 100% , TM/día	12,572.21		216.91	12,789.12
Gas Natural, MMPCD		24.79		24.79
Aditivo				
Agente Antiespumante, US\$/día	2,245.04			2,245.04
Utilidades				
Energía eléctrica, kWh/día	449,007.35		151,838.24	600,845.59
Vapor, TM/día	1.90		130.15	132.05
Agua de enfriamiento, m ³ /día	314,305.15	202,248.53		516,553.68
Agua de Proceso, m ³ /día	31,430.51	223.64	21.69	31,675.85
Aire para Instrumentos, Nm ³ /h			5,726,470.59	5,726,470.59
Labor , h/día	1,706.23	288.93	8,717.65	10,712.80

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.11 Balance General del Complejo



3.6. Ruta propuesta para la distribución nacional de productos finales

Al respecto, se plantea:

Desde Huancayo, en la zona de despacho del Complejo, se embarcarían los productos fosfatados finales por vía férrea hacia la ciudad de Lima desembarcando en el puerto del Callao; y por vía terrestre hacia la Costa, Sierra y Selva Central.

Una vez desembarcado en el puerto del Callao, se procedería al embarque marítimo a fin de distribuirlos en los puertos de Salaverry, Pisco y Matarani. De esta manera abastecer a todo el territorio peruano con fertilizantes fosfatados de marca nacional, tal como se muestra en el siguiente Gráfico 3.12.

3.7.1. Precios de la Materia Prima y Productos Finales

3.7.1.1. Precio del Gas Natural

Para determinar el Precio del Gas Natural puesto en planta se tomará en cuenta la suma de la Tarifa de Transporte de TGP y la nueva Tarifa Base de la Derivación Principal Ayacucho, esta nueva Tarifa será calculada de acuerdo a lo establecido en el Artículo 8 de la Resolución de OSINERGMIN N° 078-2004-OS-CD “Procedimiento de Cálculo de las Tarifas de Transporte y Distribución de Gas Natural por Ductos para el caso de la Red Principal de Camisea”, con la siguiente fórmula y cálculos efectuados en el Anexo II:

$$TB_0 = \left(\frac{CS_0}{CGT} \right)$$

Dónde:

TBo: Tarifa Base referida a valores desde que se inicia el Complejo.

Esta tarifa corresponde al nuevo ducto que parte de la Derivación Principal Ayacucho hasta la ciudad de Huancayo.

CSo: Costo del Servicio de Transporte Gas Natural ofertado. Comprende la Inversión y los Costos de Operación y Mantenimiento.

Según estudios de TGP, el ducto de 20 km hasta la ciudad de Huamanga en Ayacucho tendría una inversión de **36.5 MMUS\$** con un ducto de 14” y **Costos de Operación y Mantenimiento de 141,961 US\$ anuales**, lo cual representa el 10% del costo de la inversión. Por lo tanto, al tomar como base estas cifras se calcula en proporción, un estimado en **Inversión de 496.86 MMUS\$ y 49,686,350 US\$ en Costos de Operación en Mantenimiento; para un ducto de 280 Km desde la Derivación Principal Ayacucho hasta la ciudad de Huancayo. Entonces se**

estimaría 546,549,850 US\$ para el Costo del Servicio de Transporte Gas Natural.

CGT: Capacidad Garantizada Total, en millones de pies cúbicos.

Cálculo de la Capacidad Garantizada Total CGT:

La Capacidad Garantizada es definida en la Ley y en el reglamento de la Promoción como la Capacidad de Transporte de la Red Principal empleada para la determinación de la Garantía por Red Principal, cabe señalar que para este nuevo ducto sólo se tomará dicha capacidad para el nuevo ramal hacia Huancayo, según la siguiente fórmula:

$$CGT = \sum_{i=1}^{PR} \left(\frac{CGMi}{(1 + \alpha)^{1+n}} \right)$$

$$CGMi = CGDi \times Di$$

Dónde:

CGT: Capacidad Garantizada Total, en millones de pies cúbicos.

Se determina para el ducto propuesto desde el punto de derivación hacia Ayacucho hasta Huancayo.

CGMi: Capacidad Garantizada Mensual, del mes i, en MMPC por mes.

CGDi: Capacidad Garantizada Diaria, del mes i, en millones de pies cúbicos por día.

De acuerdo a los estudios realizados por parte de TGP, se espera transportar entre 155 y 230 MMPCD en un ducto de 14" hasta la ciudad de Huancayo pasando por Ayacucho y Huanta, por lo cual se tomará un promedio 200 MMPCD para este nuevo ducto.

Di: Número de días calendario del mes.

PR: Periodo de Recuperación, en meses.

El proyecto Derivación Principal Ayacucho duraría alrededor de 25 años, un equivalente de 300 meses.

n: Número de meses entre el mes de Puesta en Operación Comercial y el mes del inicio del primer Año de Cálculo.

Se asume 12 meses entre el mes de Puesta en Operación Comercial y el mes del inicio del primer Año de Cálculo.

i: Número de mes de operación .

α : Tasa de actualización mensual determinada como: $(1 + \beta)^{1/12} - 1$.

β : Tasa de descuento anual definida en 12% en el Anexo 13 de contrato BOOT.

Para este nuevo ducto se tomará la misma tasa de descuento.

MMPCD: Millones de pies cúbicos estándar por día.

MPC: Mil pies cúbicos estándar.

MPCD: Mil pies cúbicos estándar por día.

Siendo el resultado de la CGT igual a 539,065,604 MPC.

Cálculo de la Tarifa Base:

Sobre la base de los resultados antes expuestos, el resultado de la Tarifa Base es el siguiente:

$$TB_0 = \left(\frac{CS_0}{CGT} \right) = \left(\frac{546,549,850 \text{ US\$}}{538,970,601 \text{ MPC}} \right) = 1.0141 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{MPC}} \right)$$

Cálculo de la Tarifa Regulada:

Está definida por OSINERGMIN para cada Período Tarifario y para cada tipo de cliente; por lo que, para el cliente Generador Eléctrico la Tarifa Regulada será igual a la Tarifa Base y para los otros clientes la Tarifa Regulada será calculada en función de las Capacidades Contratadas para el Período de Recuperación.

La Tarifa Regulada es equivalente a la multiplicación de la Tarifa Base por el cociente de la Capacidades Garantizadas Totales entre la Proyección de Capacidades.

$$TR_0 = TB_0 \times \left(\frac{\sum Cap. Garantizada_actualizada}{\sum Cap. Contratada_actualizada} \right) = 1.0141 \left(\frac{US\$}{MPC} \right)$$

Y siendo que las capacidad garantizada y actualizada son iguales, en otras palabras, la capacidad demandada no sufre cambios a lo largo del tiempo.

Por lo tanto, el Precio de Transportar Gas Natural desde la Derivación Principal Ayacucho hasta la ciudad de Huancayo es de alrededor de **1.0141 US\$/MPC o 1.0141 US\$/MMBTU**.

Cuadro 3.7 Reporte del Precio de Gas Natural Categoría E para el Complejo

Tarifas (US\$ / MMBTU)		Categoría
Costos	Costos detalle	E
01 - BOCA DE POZO	Precio en boca de pozo	3.1762
02 - TRANSPORTE TGP	Tarifa de Transporte Camisea - Lurin	0.7986
03 - TRANSPORTE NUEVO DUCTO (280 km)	Tarifa de Transporte DPA - Huancayo	1.0141
03 - IGV (18%)	Impuesto General a las Ventas (18%)	0.8980
Tarifa Total (US\$/MMBTU) del Nuevo Ducto Derivación Ayacucho		5.8867

Fuente: Calidda, Elaboración Propia

En consecuencia, tal como se detalla en el Cuadro 3.7, se estima un precio de Gas Natural puesto en planta de **5.8867 US\$/MMBTU**.

3.7.1.2. Precio de la Roca Fosfórica Concentrada

De acuerdo al estudio de mercado independiente realizado por British Sulphur Consultants (BCS) para la empresa internacional Stonegate Agricom Ltd. poseedora del Proyecto Fosfatos Mantaro, se confirma que los precios del concentrado de fosfato permanezcan por encima de 100 US\$/TM en términos reales durante el periodo de explotación de la roca fosfórica.

Por lo expuesto, se tomaría el precio para la Roca Fosfórica Concentrada de 100 US\$/TM para futuras estimaciones económicas.

3.7.1.3. Precio del Ácido Sulfúrico

De acuerdo al precio al cual se ha venido exportando durante los años anteriores, se toma el promedio desde el año 2006 al 2012 a un precio aproximado de 60 US\$/TM, por lo tanto, se tomará este valor para las futuras estimaciones económicas.

3.7.1.4. Precio del MAP y DAP

De acuerdo al estudio realizado por parte del Ministerio de Agricultura y Riego, a los precios del MAP y DAP en el mercado nacional, en el numeral 2.6.3 del presente trabajo de tesis, se puede ingresar al mercado nacional con un precio competitivo, es decir por debajo del precio al cual es vendido al año 2013 por el mercado internacional. Por el cual se establece un precio FOB de 620 US\$/TM.

En resumen se tiene el Cuadro 3.8:

Cuadro 3.8 Resumen de precios de Insumos y Productos

Insumo / Producto	Unidad	Precio
Gas Natural	US\$ / MMBTU	5.8867
Roca Fosfórica	US\$ / TM	100
Ácido Sulfúrico	US\$ / TM	60
MAP / DAP	US\$ / TM	620

3.7.2. Estimaciones globales

Mediante el modelo CEPCI, que permite convertir los datos históricos de costo del capital para el tiempo en el cual el equipo está siendo adquirido y a través de los índices “**Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)**” que son específicos para la industria y son encontrados en gráficos o cuadros publicados por la revista Chemical Engineering de manera mensual.

Cabe señalar que se usan como referencia los costos de inversión de plantas en la Costa del Golfo construidas el año 1993, y se tomará el índice CEPCI al 2013.

Cuadro 3.9 Índice de Costo de Plantas CEPCI

INDICE DE COSTO DE PLANTAS	
AÑO	INDICE
1993	359.2
2013	584.6

Fuente: CEPCI

Cuadro 3.10 Plantas Referenciales

Planta	Capacidad	Año
ÁCIDO FOSFORICO	534 TM/día	1993
AMONÍACO	1,500 TM/día	1993
DAP/MAP	1,000 TM/día	1993

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

Modelo CEPCI

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

donde:

B: Representa al 2013

A: Representa a 1993

I: Inversión

C: Capacidad de planta

Factor: Factor de Escalamiento

Entonces utilizando los índices CEPCI, y las capacidades de planta requeridas por este Complejo se encuentra:

Cuadro 3.11 Cálculo del CAPEX

CEPCI	PLANTA AF	PLANTA AMONÍACO	PLANTA MAP	PLANTA DAP	COMPLEJO
Factor	0.70	0.70	0.70	0.70	
Index	584.60	584.60	584.60	584.60	
Cap (TM/día)	4,988.97	1,070.10	2,598.04	2,222.22	
Inversión MMUS\$	291.66	341.00	58.11	52.09	1,248.00 MMUS\$ en Perú
ISBL	742.86 MMUS\$				
CAPEX	1,040.00 MMUS\$ en el Golfo				

Fuente: Elaboración Propia

El CAPEX¹⁴ obtenido es para plantas en la Costa del Golfo (país Tipo I, Factor de Localización 1), para estimar la inversión en Perú, se debe multiplicar por el Factor de Localización 1.2 debido a que Perú es catalogado como un país de nivel de Tipo II de desarrollo industrial, según el Fertilizer Manual de UNIDO¹⁵. Este nivel comprende países con mano de obra local calificada en el desarrollo de este tipo de industria.

En consecuencia, se calcula la inversión aproximada de **1,248 MMUS\$** para el CAPEX del Complejo.

Ahora lo siguiente es calcular el OPEX¹⁶ 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:

¹⁴ CAPEX: *Capital expenditure* o inversiones en bienes de capitales.

¹⁵ UNIDO: United Nations Industrial Development Organization.

¹⁶ OPEX: *Operational expenditure* o Gastos de Operación.

Asunciones:

- Se considera un tiempo de vida de 15 años para el Complejo, los cuales incluyen 5 años de construcción y permisos de acuerdo a la ley vigente (2018 al 2022) y 10 años de operación a partir del 2023.
- La inversión estimada en 1,248.00 MMUS\$ será desembolsada en partes de acuerdo al cronograma de actividades (ver Gráfico 3.13) de la etapa preoperativa del Complejo (2018 al 2022), en tal sentido se planea desembolsar en los 5 años: un 5% el primer año, 10% el segundo año, 25% el tercer año y 30% para el cuarto y el 30% restante el quinto año.
- El Factor de Operación es de 90%, y un *stream factor* de 340 días al año.
- La producción anual neta de DAP es de 680,000 TM anuales.
- La producción anual neta de MAP es de 795,000 TM anuales.
- El costo del personal es asumido como el promedio de remuneraciones, entre los diferentes niveles de responsabilidad.
- El Mantenimiento es presupuestado en 2% de la inversión inicial del complejo.
- El costo de la Roca Fosfórica es tomado a un precio sinérgico, es decir, se toma un precio mínimo de producción *in situ* o a un precio mínimo por contrato sinérgico de 100 US\$/TM, no se considera su precio internacional. Este precio mínimo es calculado como base de acuerdo al estudio realizado por la empresa Stonegate Agricom Ltd. al Proyecto Fosfatos Mantaro en el cual señalan dicha cifra como la mínima a la cual podrán comercializar la roca fosfórica concentrada.
- El precio para el Ácido Sulfúrico de 60 US\$/TM (Cuadro 2.14), costo promedio aproximado al cual se ha venido exportando durante el 2006 al 2012.

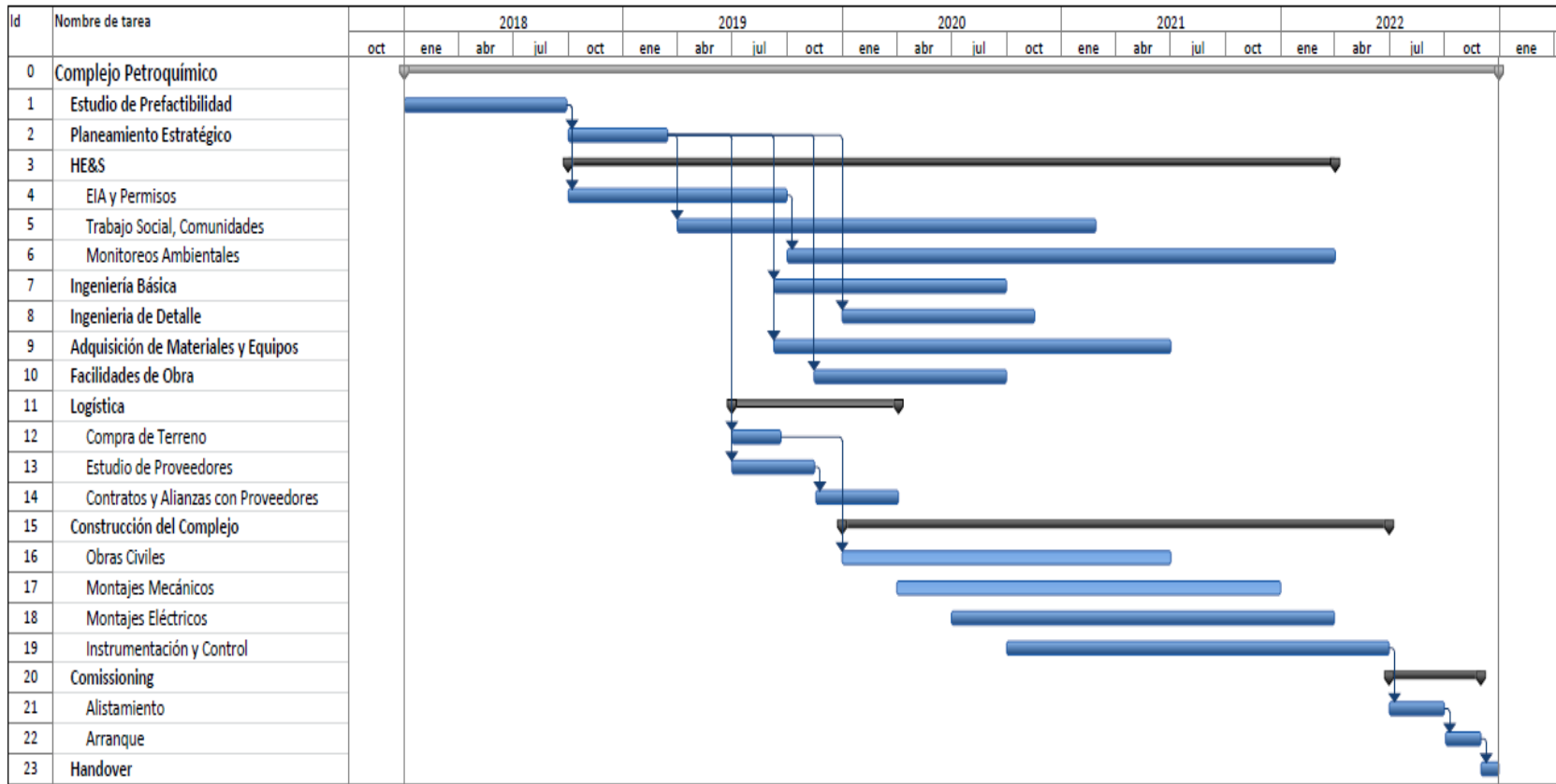
- El precio del Gas Natural de 5.8867 US\$/MMBTU corresponde al valor calculado en el Cuadro 3.7, en el que se incluye el precio en Boca de Pozo y Transporte para los 2 ductos para una Categoría E al año 2013.
- La tarifa de Energía Eléctrica se calcula a partir del Pliego Tarifario Aplicable a Usuarios Finales de Electricidad perteneciente al departamento de Junín, por lo que la empresa Electrocentro publica la tarifa de 0.08 US\$/kWh.
- El costo del agua de enfriamiento es considerado como el costo actual que cuesta extraer agua de pozo.
- El costo del vapor y agua de proceso son extraídos de evaluaciones económicas similares.
- El costo de aire para instrumentos no tiene valor, debido a que el aire es originado por los equipos incluidos en el *Battery Limit* del complejo.
- El precio de introducción del MAP y DAP, en promedio para ambos productos debe ser de 620 US\$/TM, equivalente a S/. 1,730.00. Este precio es el de referencia para realizar la evaluación económica.
- Es preciso señalar que, de acuerdo al Texto Único Ordenado de la Ley del Impuesto General a las Ventas e Impuesto Selectivo al Consumo, Decreto Supremo N° 055-99-EF, APENDICE I “Operaciones Exoneradas del Impuesto General a las Ventas”, se señala que la venta en el país o importación del Dihidrógenoortofosfato de Amonio (Fosfato Monoamónico) y del Hidrógenoortofosfato de Diamonio (Fosfato Diamónico) quedan exonerados del IGV.
- Para el cálculo de la Depreciación se aplicará al 10% con el método lineal, según la disposición señalada en artículo 22 del CAPITULO VI, del Texto Único Ordenado del Impuesto a la Renta.
- En el cálculo de la Impuesto a la Renta se aplicará al 30%, según la disposición señalada en artículo 55 del CAPITULO VII, del Texto Único Ordenado del Impuesto a la Renta.

- El Costo de Oportunidad de Capital fue extraído de estimaciones económicas de otros proyectos de interés actuales. Para la presente evaluación económica se considera 13.89%.

Por otro lado, se proyectan tres escenarios y en cada escenario la sensibilidad con las siguientes variables:

- El costo de la materia prima de mayor incidencia – Roca Fosfato 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 de producto terminado, sobre el precio base establecido se ha considerado incrementos, así como descuentos, de 5%, 10%, 15% y 20% a la capacidad de producción.

Gráfico 3.13 Cronograma del Plan de Actividades de la Etapa Preoperativa del Complejo de Producción de Fertilizantes de Origen Fosfatado en el Valle Mantaro - Región Junín



3.7.2.1. Flujo de Caja del Escenario 1

Se consideran todas las asunciones anteriormente señaladas.

Cuadro 3.12 Costo Fijo por Año del Escenario 1

DESCRIPCIÓN	COMPLEJO PETROQUÍMICO	PRECIO UNITARIO	COSTO POR AÑO
Personal	10,712.80	2.99 US\$/h	10.88 MMUS\$
Mantenimiento (presup,2% Capex)		0.80 %/día	24.96 MMUS\$
Otros gastos oper: predial, movilidad, comunic,etc			0.60 MMUS\$
TOTAL			36.437 MMUS\$

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3.13 Costo Variable por Año del Escenario 1

DESCRIPCIÓN	COMPLEJO PETROQUÍMICO	PRECIO UNITARIO	COSTO POR AÑO
MATERIA PRIMA			
Roca Fosfórica(32%P ₂ O ₅), TM/día	14,772.34	100.00 US\$/TM	160.723 MMUS\$
H ₂ SO ₄ 100%, TM/día	12,789.12	60.00 US\$/TM	260.898 MMUS\$
Gas Natural, MMPCD	24.79	5.8869 US\$/MMBTU	49.616 MMUS\$
ADITIVO			
Agente Antiespumante, US\$/día	2,245.04	2,245.04 US\$/día	0.763 MMUS\$
UTILIDADES			
Energía eléctrica, kWh/día	600,845.59	0.08 US\$/kWh	15.703 MMUS\$
Vapor, TM/día	132.05	0.04 US\$/TM	0.0016 MMUS\$
Agua de Enfriamiento, m ³ /día	516,553.68	0.33 US\$/m ³	3.068 MMUS\$
Agua de Proceso, m ³ /día	31,675.85	0.04 US\$/m ³	0.395 MMUS\$
Aire para Instrumentos, Nm ³ /h	5,726,470.59	0.00 US\$/día	0.000 MMUS\$
TOTAL			491.169 MMUS\$

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3.15 Flujo de Caja Económico del Escenario 1 (cifras en MMUS\$)

Año	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Vida del Proyecto	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	-62.40	-124.80	-312.00	-374.40	-374.40										
Ingresos						914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50
Egresos						-527.61	-527.61	-527.61	-527.61	-527.61	-527.61	-527.61	-527.61	-527.61	-527.61
Depreciación (10% CAPEX Activo)						-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00
Utilidad Bruta						282.89	282.89	282.89	282.89	282.89	282.89	282.89	282.89	282.89	282.89
IGV (18%)	-11.23	-22.46	-56.16	-67.39	-67.39										
Impuesto a la Renta (30%)						-84.87	-84.87	-84.87	-84.87	-84.87	-84.87	-84.87	-84.87	-84.87	-84.87
Utilidad Neta						198.03	198.03	198.03	198.03	198.03	198.03	198.03	198.03	198.03	198.03
Depreciación						104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00
FLUJO DE CAJA	-73.63	-147.26	-368.16	-441.79	-441.79	302.03	302.03	302.03	302.03	302.03	302.03	302.03	302.03	302.03	302.03

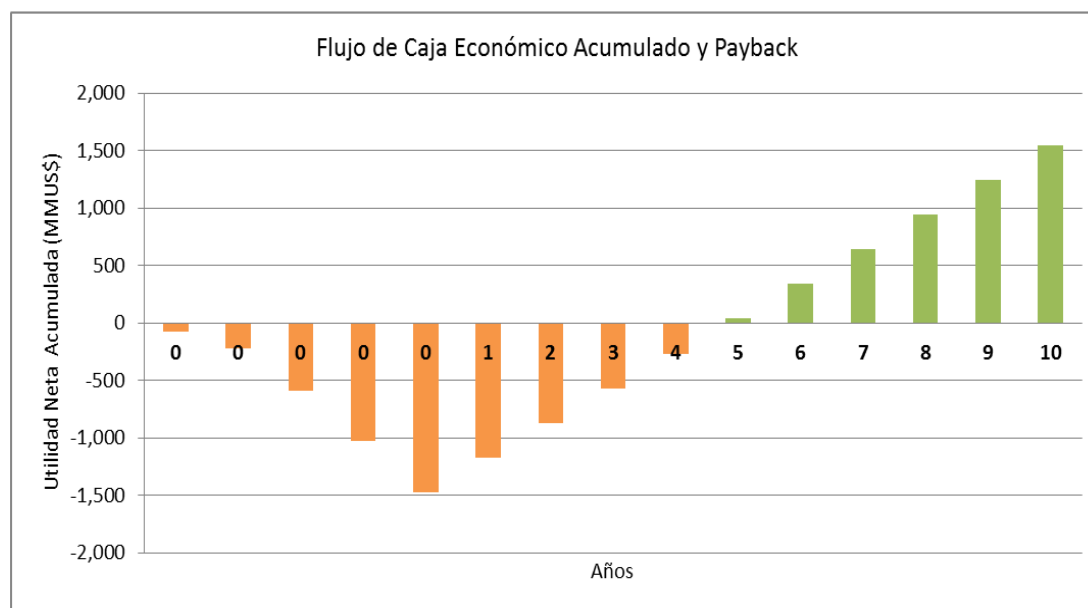
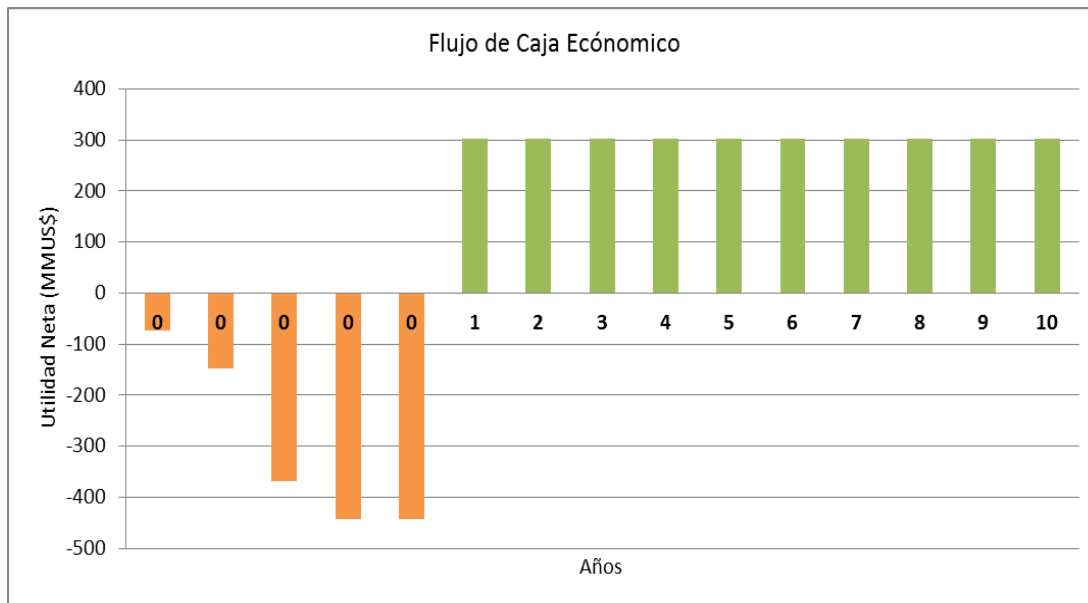
ANÁLISIS ECONÓMICO AL 2032

Tasa Interna de Retorno	11.84%
Costo de Oportunidad de Capital (COK)	13.89%
Valor Actual Neto (VAN)	109.30

Año	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Vida del Proyecto	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de Caja	-73.63	-147.26	-368.16	-441.79	-441.79	302.03	302.03	302.03	302.03	302.03	302.03	302.03	302.03	302.03	302.03
Flujo de Caja Acumulado	-73.63	-220.90	-589.06	-1,030.85	-1,472.64	-1,170.62	-868.59	-566.56	-264.54	37.49	339.52	641.54	943.57	1,245.60	1,547.62

Se calcula un **TIR de 11.84%**, y **VAN de 109.30 MMUS\$**, calculados con un **Costo de Oportunidad de Capital de 13.89%**.

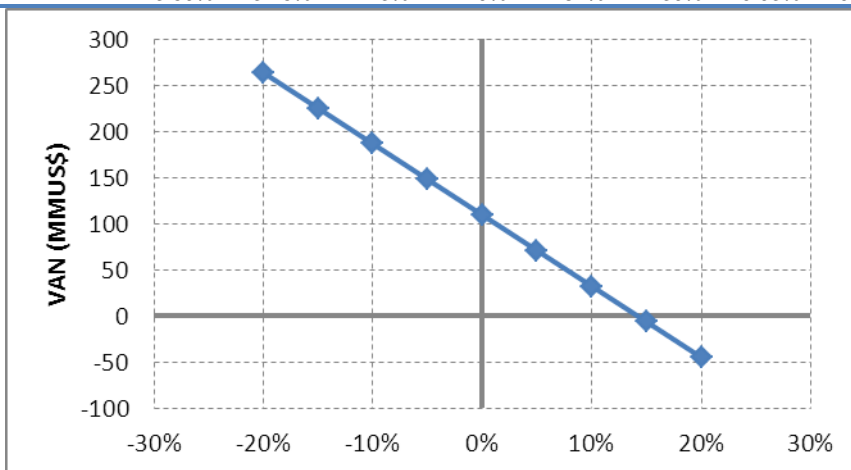
Gráfico 3.14 Flujo de Caja Económico y Payback del Escenario 1



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 del complejo. A partir del **año 5** de puesta en marcha del Complejo se empezaría a recaudar la inversión.

Cuadro 3.16 Sensibilidad de los Precios de la Materia Prima del Escenario 1

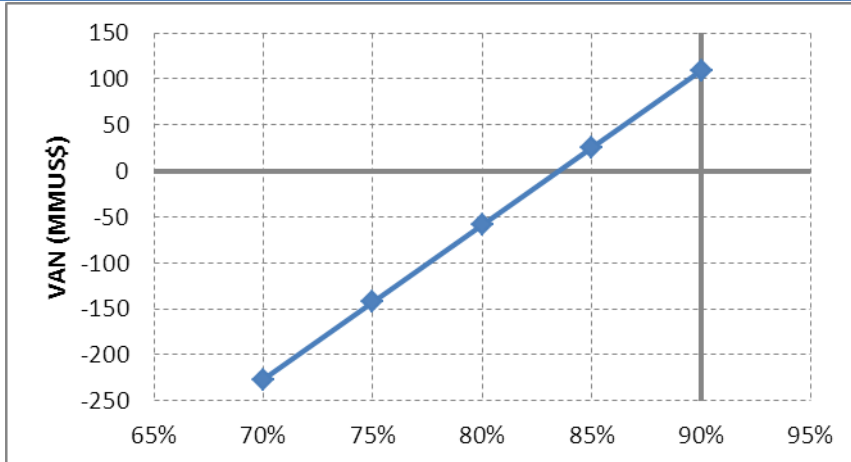
Variación	Base									
	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	
Precio GN US\$/MMBTU	4.7093	5.0037	5.2980	5.5923	5.8867	6.1810	6.4753	6.7697	7.0640	
Precio RF US\$/TM	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00	105.00	110.00	115.00	120.00	
VAN	263.55	224.99	186.43	147.87	109.30	70.75	32.19	-6.37	-44.93	
TIR	13.59%	13.16%	12.73%	12.29%	11.84%	11.39%	10.93%	10.46%	9.98%	



El incremento máximo que se podría sobrellevar en los precios de Roca Fosfórica y Gas Natural es de 14% obteniendo el VAN=0.

Cuadro 3.17 Sensibilidad de la Capacidad de Producción del Escenario 1

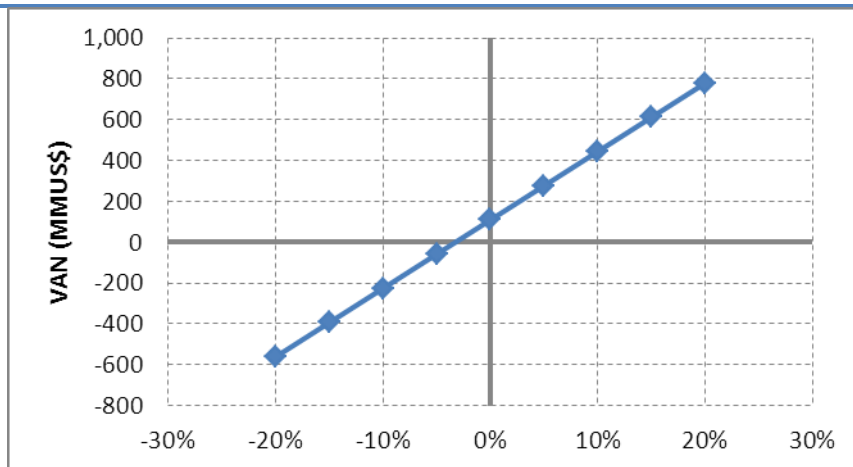
Variación	Base				
	70%	75%	80%	85%	90%
MAP TM/DIA	1,818.63	1,948.53	2,078.43	2,208.33	2,338.24
DAP TM/DIA	1,555.56	1,666.67	1,777.78	1,888.89	2,000.00
VAN	-226.75	-142.74	-58.73	25.29	109.30
TIR	7.60%	8.72%	9.80%	10.84%	11.84%



La Capacidad de Producción a la que se podría operar con el VAN=0 es al 84%.

Cuadro 3.18 Sensibilidad de los Precios de los Productos del Escenario 1

Variación	Base								
	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
Precio MAP US\$/TM	496.00	527.00	558.00	589.00	620.00	651.00	682.00	713.00	744.00
Precio DAP US\$/TM	496.00	527.00	558.00	589.00	620.00	651.00	682.00	713.00	744.00
VAN	-561.29	-393.64	-225.99	-58.35	109.30	276.95	444.60	612.25	779.89
TIR	2.52%	5.20%	7.61%	9.81%	11.84%	13.74%	15.52%	17.20%	18.79%



Los precios de los productos podrían tolerar un decremento de hasta el 3% (VAN=0), lo cual significa un precio de 599.78 US\$/TM.

3.7.2.2. Flujo de Caja del Escenario 2

Se consideran las asunciones del numeral anterior y adicionalmente se toma en cuenta la premisa:

- Tomando en cuenta la propuesta del Gobierno Peruano de incentivar las inversiones a través de la Ley de Promoción de la Inversión de Plantas de Procesamiento de Gas Natural, Ley 28176 del 23 de febrero del 2004, el Complejo goza del Decreto Legislativo N°818, Régimen Especial de Recuperación Anticipada del Impuesto General a las Ventas (IGV); que consiste en la devolución del IGV que gravó las importaciones y/o adquisiciones locales de bienes de capital nuevos, bienes intermedios nuevos, servicios y contratos de construcción,

realizados en la etapa preproductiva del Complejo. Este escenario corresponde a un escenario al año 2013.

Cuadro 3.19 Costo Fijo por Año del Escenario 2

DESCRIPCIÓN	COMPLEJO PETROQUIMICO	PRECIO UNITARIO	COSTO POR AÑO
Personal	10,712.80	2.99 US\$/h	10.876 MMUS\$
Mantenimiento (presup,2% Capex)		0.80 %/día	20.800 MMUS\$
Otros gastos oper: predial, movilidad, comunic,etc			0.600 MMUS\$
TOTAL			32.276 MMUS\$

Cuadro 3.20 Costo Variable por Año del Escenario 2

DESCRIPCIÓN	COMPLEJO PETROQUIMICO	PRECIO UNITARIO	COSTO POR AÑO
MATERIA PRIMA			
Roca Fosfórica(32%P ₂ O ₅), TM/día	14,772.34	100.00 US\$/TM	160.723 MMUS\$
H ₂ SO ₄ 100%, TM/día	12,789.12	60.00 US\$/TM	260.898 MMUS\$
Gas Natural, MMPCD	24.79	5.89 US\$/MMBTU	49.616 MMUS\$
ADITIVO	0.00		
Agente Antiespumante, US\$/día	2,245.04	2,245.04 US\$/día	0.763 MMUS\$
UTILIDADES			
UTILIDADES	0.00		
Energía eléctrica, kWh/día	600,845.59	0.08 US\$/kWh	15.703 MMUS\$
Vapor, TM/día	132.05	0.04 US\$/TM	0.0016 MMUS\$
Agua de enfriamiento, m ³ /día	516,553.68	0.33 US\$/m ³	3.068 MMUS\$
Agua de Proceso, m ³ /día	31,675.85	0.04 US\$/m ³	0.395 MMUS\$
Aire para Instrumentos, Nm ³ /h	5,726,470.59	0.00 US\$/día	0.000 MMUS\$
TOTAL			491.169 MMUS\$

Cuadro 3.22 Flujo de Caja Económico del Escenario 2 (cifras en MMUS\$)

Año	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Vida del Proyecto	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	-62.40	-124.80	-312.00	-374.40	-374.40										
Ingresos						914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50
Egresos						-523.45	-523.45	-523.45	-523.45	-523.45	-523.45	-523.45	-523.45	-523.45	-523.45
Depreciación (10% CAPEX Activo)						-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00
Utilidad Bruta						287.05	287.05	287.05	287.05	287.05	287.05	287.05	287.05	287.05	287.05
IGV (18%)															
Impuesto a la Renta (30%)						-86.12	-86.12	-86.12	-86.12	-86.12	-86.12	-86.12	-86.12	-86.12	-86.12
Utilidad Neta						200.94	200.94	200.94	200.94	200.94	200.94	200.94	200.94	200.94	200.94
Depreciación						104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00
FLUJO DE CAJA	-62.40	-124.80	-312.00	-374.40	-374.40	304.94	304.94	304.94	304.94	304.94	304.94	304.94	304.94	304.94	304.94

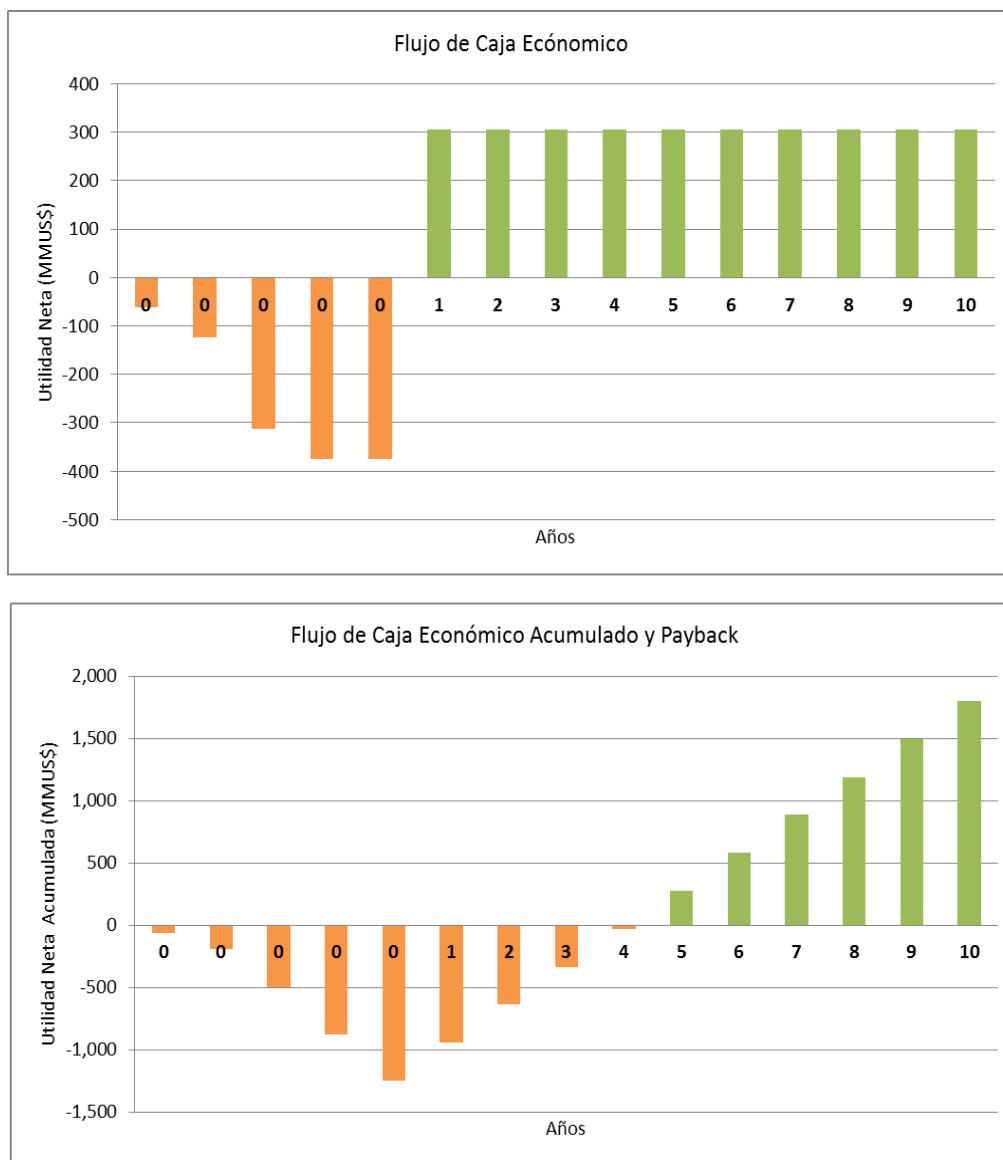
ANÁLISIS ECONÓMICO AL 2032

Tasa Interna de Retorno	15.18%
Costo de Oportunidad de Capital (COK)	13.89%
Valor Actual Neto (VAN)	349.19

Año	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Vida del Proyecto	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de Caja	-62.40	-124.80	-312.00	-374.40	-374.40	304.94	304.94	304.94	304.94	304.94	304.94	304.94	304.94	304.94	304.94
Flujo de Caja Acumulado	-62.40	-187.20	-499.20	-873.60	-1,248.00	-943.06	-638.12	-333.19	-28.25	276.69	581.63	886.57	1,191.51	1,496.44	1,801.38

Se calcula un **TIR de 15.18%**. y **VAN de 349.19 MMUS\$**, calculados con un **Costo de Oportunidad de Capital de 13.89%**.

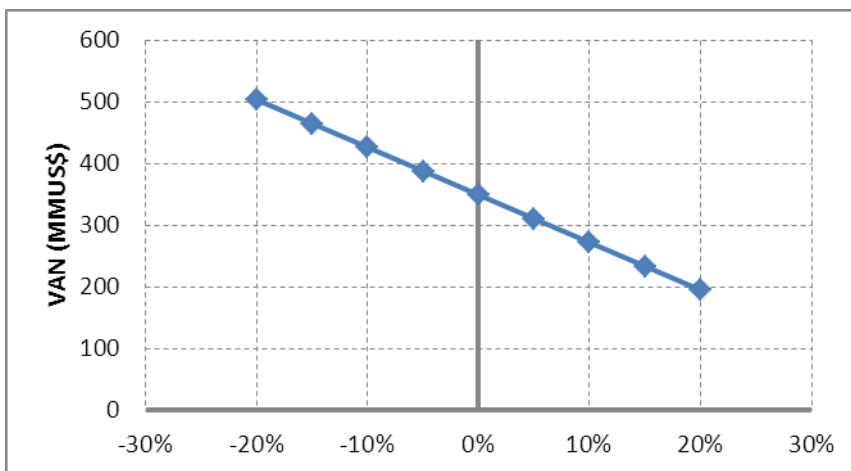
Gráfico 3.15 Flujo de Caja Económico y Payback del Escenario 2



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 del Complejo. A partir del **año 5** de puesta en marcha del Complejo se empezaría a recaudar la inversión.

Cuadro 3.23 Sensibilidad de los Precios de la Materia Prima del Escenario 2

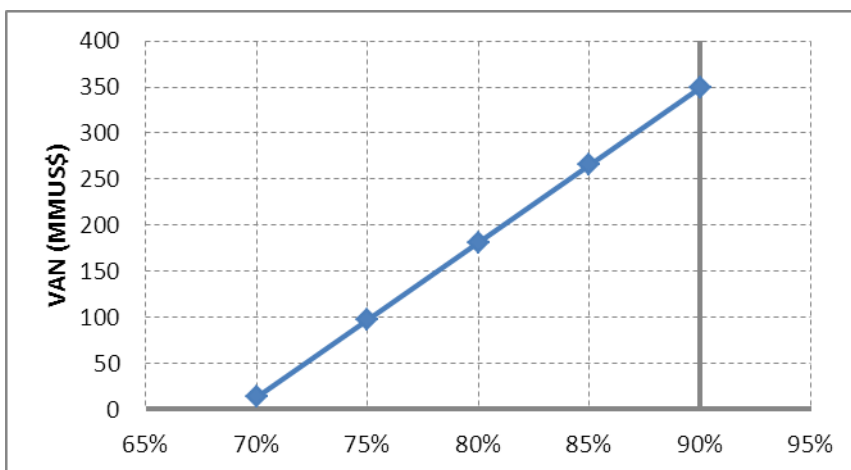
Variación	Base								
	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
Precio GN US\$/MMBTU	4.7093	5.0037	5.2980	5.5923	5.8867	6.1810	6.4753	6.7697	7.0640
Precio RF US\$/TM	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00	105.00	110.00	115.00	120.00
VAN	503.44	464.88	426.32	387.76	349.19	310.64	272.08	233.52	194.96
TIR	17.02%	16.57%	16.11%	15.65%	15.18%	14.70%	14.22%	13.72%	13.22%



El incremento máximo que se podría sobrellevar en los precios de Roca Fosfórica y Gas Natural es de 45.28% obteniendo el VAN=0.

Cuadro 3.24 Sensibilidad de la Capacidad de Producción del Escenario 2

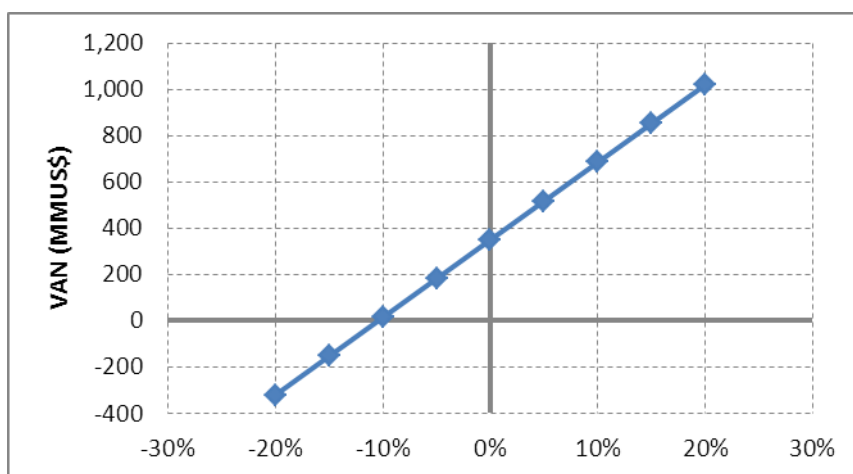
Variación	Base				
	70%	75%	80%	85%	90%
MAP TM/DIA	1,818.63	1,948.53	2,078.43	2,208.33	2,338.24
DAP TM/DIA	1,555.56	1,666.67	1,777.78	1,888.89	2,000.00
VAN	13.14	97.15	181.17	265.18	349.19
TIR	10.72%	11.90%	13.04%	14.13%	15.18%



La Capacidad de Producción a la que se podría operar con el VAN=0 es al 69%.

Cuadro 3.25 Sensibilidad de los Precios de los Productos Escenario 2

Variación	Base								
	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
Precio MAP US\$/TM	496.00	527.00	558.00	589.00	620.00	651.00	682.00	713.00	744.00
Precio DAP US\$/TM	496.00	527.00	558.00	589.00	620.00	651.00	682.00	713.00	744.00
VAN	-321.40	-153.75	13.90	181.55	349.19	516.84	684.49	852.14	1019.79
TIR	5.41%	8.21%	10.73%	13.04%	15.18%	17.17%	19.05%	20.82%	22.50%



Los precios de los productos podrían tolerar un decremento de hasta el 10% (VAN=0), lo cual significa un precio de 555.43 US\$/TM.

3.7.2.3. Flujo de Caja del Escenario 3

Se consideran las asunciones del numeral anterior y adicionalmente se toma en cuenta la premisa:

- No se considera el 37.24% en regalías que se otorga, producto de la venta del Gas Natural en boca de pozo, por ende se tendría un precio de 3.1762 a 1.9934 US\$/MMBTU, tal como se muestra:

Cuadro 3.26 Reporte del Precio de Gas Natural Categoría E para el Complejo - Escenario 3

Tarifas (US\$ / MMBTU)		Categoría
Costos	Costos detalle	E
01 - BOCA DE POZO SIN REGALÍAS	Precio en boca de pozo sin Regalías	1.9934
02 - TRANSPORTE TGP	Tarifa de Transporte Camisea - Lurin	0.7986
03 - TRANSPORTE NUEVO DUCTO (280 km)	Tarifa de Transporte DPA - Huancayo	1.0141
03 - IGV (18%)	Impuesto General a las Ventas (18%)	0.8980
Tarifa Total (US\$/MMBTU) del Nuevo Ducto Derivación Ayacucho		4.4912

Fuente: Calidda, Elaboración Propia

Cuadro 3.27 Costo Fijo por Año del Escenario 3

DESCRIPCIÓN	COMPLEJO PETROQUÍMICO	PRECIO UNITARIO	COSTO POR AÑO
Personal	10,712.80	2.99 US\$/h	10.876 MMUS\$
Mantenimiento (presup,2% Capex)		0.8 %/día	20.800 MMUS\$
Otros gastos oper: predial, movilidad, comunic,etc			0.600 MMUS\$
TOTAL			32.276 MMUS\$

Cuadro 3.28 Costo Variable por Año del Escenario 3

DESCRIPCIÓN	COMPLEJO PETROQUÍMICO	PRECIO UNITARIO	COSTO POR AÑO
MATERIA PRIMA			
Roca Fosfórica(32%P ₂ O ₅), TM/día	14,772.34	100.00 US\$/TM	160.723 MMUS\$
H ₂ SO ₄ 100%, TM/día	12,789.12	60.00 US\$/TM	260.898 MMUS\$
Gas Natural, MMPCD	24.79	4.4912 US\$/MMBTU	37.853 MMUS\$
ADITIVO			
Agente Antiespumante, US\$/día	2,245.04	2,245.04 US\$/día	0.763 MMUS\$
UTILIDADES			
Energía eléctrica, kWh/día	600,845.59	0.07 US\$/kWh	15.251 MMUS\$
Vapor, TM/día	132.05	0.04 US\$/TM	0.0016 MMUS\$
Agua de enfriamiento, m ³ /día	516,553.68	0.33 US\$/m ³	3.068 MMUS\$
Agua de Proceso, m ³ /día	31,675.85	0.04 US\$/m ³	0.395 MMUS\$
Aire para Instrumentos, Nm ³ /h	5,726,470.59	0.00 US\$/día	0.000 MMUS\$
TOTAL			478.95 MMUS\$

Cuadro 3.30 Flujo de Caja Económico del Escenario 3 (cifras en MMUS\$)

Año	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Vida del Proyecto	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	-62.40	-124.80	-312.00	-374.40	-374.40										
Ingresos						914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50	914.50
Egresos						-511.23	-511.23	-511.23	-511.23	-511.23	-511.23	-511.23	-511.23	-511.23	-511.23
Depreciación (10% CAPEX Activo)						-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00	-104.00
Utilidad Bruta						299.27	299.27	299.27	299.27	299.27	299.27	299.27	299.27	299.27	299.27
IGV (18%)															
Impuesto a la Renta (30%)						-89.78	-89.78	-89.78	-89.78	-89.78	-89.78	-89.78	-89.78	-89.78	-89.78
Utilidad Neta						209.49	209.49	209.49	209.49	209.49	209.49	209.49	209.49	209.49	209.49
Depreciación						104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00	104.00
FLUJO DE CAJA	-62.40	-124.80	-312.00	-374.40	-374.40	313.49	313.49	313.49	313.49	313.49	313.49	313.49	313.49	313.49	313.49

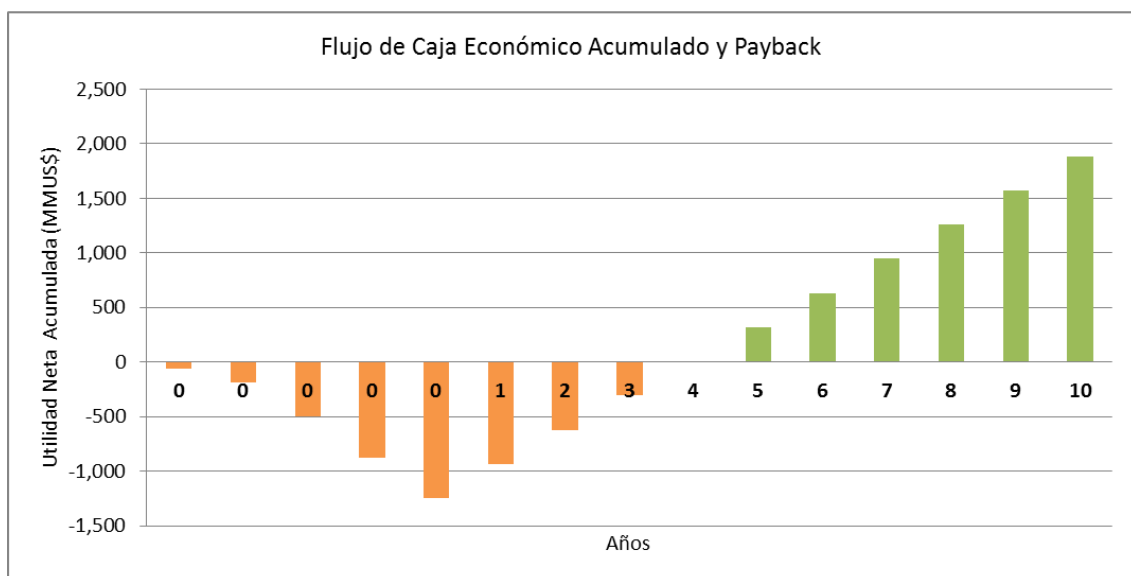
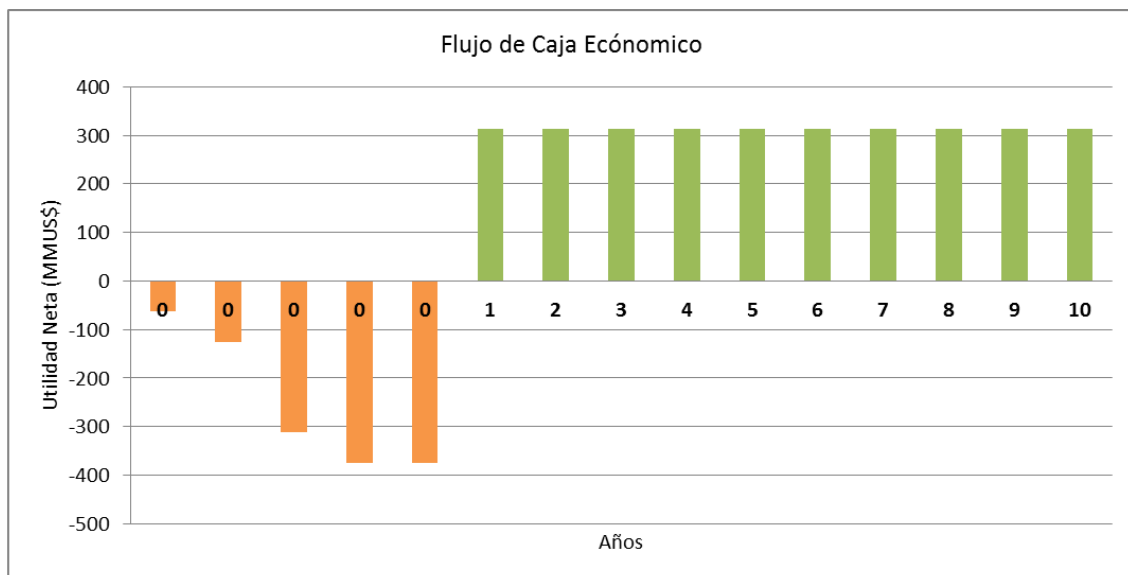
ANÁLISIS ECONÓMICO AL 2032

Tasa Interna de Retorno	15.72%
Costo de Oportunidad de Capital (COK)	13.89%
Valor Actual Neto (VAN)	393.98

Año	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Vida del Proyecto	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de Caja	-62.40	-124.80	-312.00	-374.40	-374.40	313.49	313.49	313.49	313.49	313.49	313.49	313.49	313.49	313.49	313.49
Flujo de Caja Acumulado	-62.40	-187.20	-499.20	-873.60	-1,248.00	-934.51	-621.02	-307.53	5.96	319.44	632.93	946.42	1,259.91	1,573.40	1,886.89

Se calcula un **TIR de 15.72%**, y **VAN de 393.98 MMUS\$**, calculados con un **Costo de Oportunidad de Capital de 13.89%**.

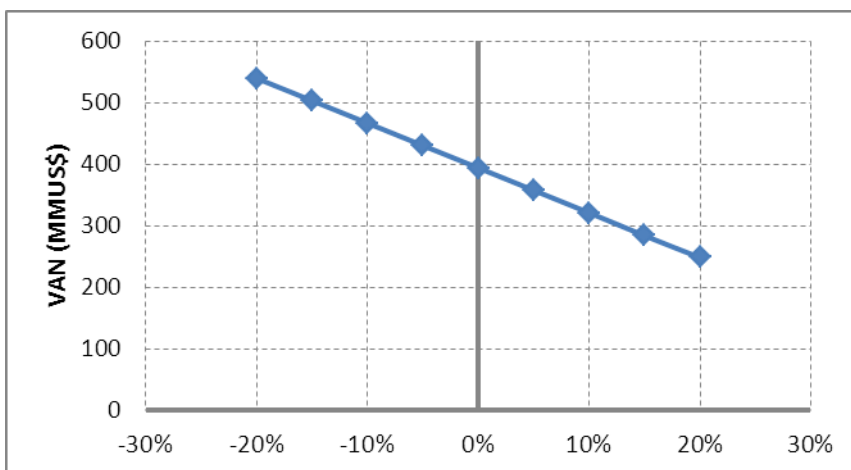
Gráfico 3.16 Flujo de Caja Económico y Payback del Escenario 3



Como se aprecia en los gráficos superiores se obtiene un Payback o periodo recuperación de **8 años**, en el cual se recupera la inversión inicial del Complejo. A partir del **año 4** de puesta en marcha del Complejo se empezaría a recaudar la inversión.

Cuadro 3.31 Sensibilidad de los Precios de la Materia Prima del Escenario 3

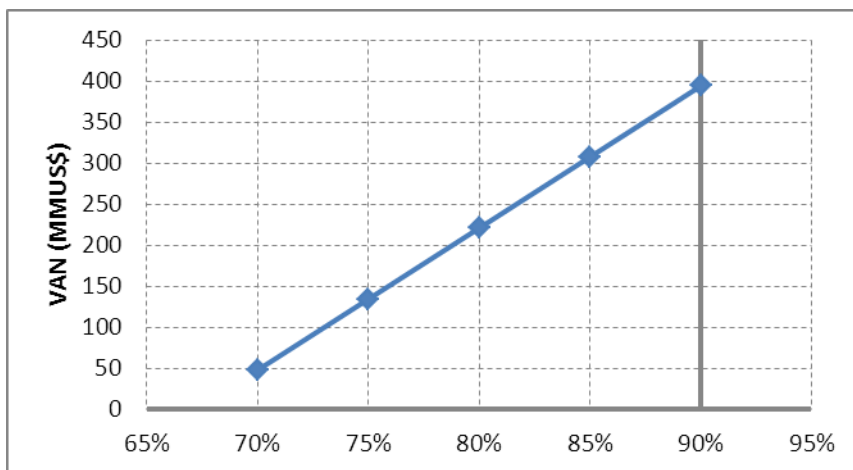
Variación	Base								
	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
Precio GN	3.5930	3.8175	4.0421	4.2666	4.4912	4.7158	4.9403	5.1649	5.3894
Precio RF	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00	105.00	110.00	115.00	120.00
VAN	539.59	503.19	466.79	430.39	393.98	357.58	321.17	283.84	248.37
TIR	17.43%	17.02%	16.59%	16.16%	15.72%	15.28%	14.83%	14.36%	13.91%



El incremento máximo que se podría sobrellevar en los precios de Roca Fosfórica y Gas Natural es de 50% obteniendo el VAN=0.

Cuadro 3.32 Sensibilidad de la Capacidad de Producción del Escenario 3

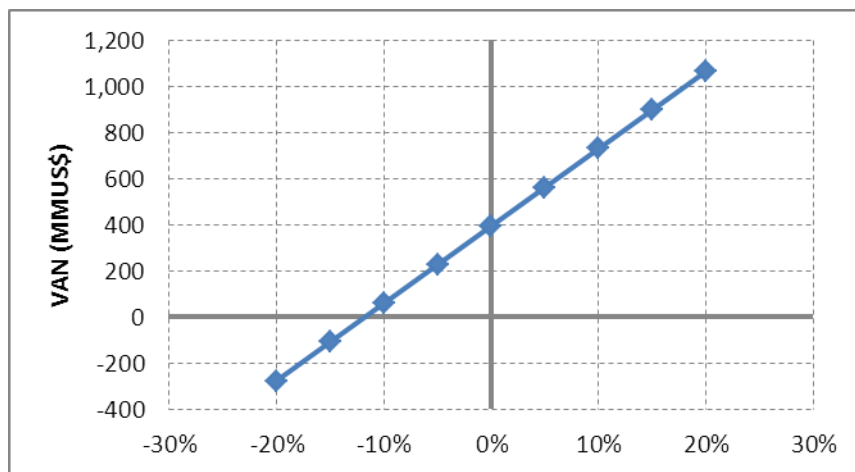
Variación	Base				
	70%	75%	80%	85%	90%
MAP TM/DIA	2,598.04	2,598.04	2,598.04	2,598.04	2,598.04
DAP TM/DIA	2,222.22	2,222.22	2,222.22	2,222.22	2,222.22
VAN	47.97	134.48	220.98	307.48	393.98
TIR	11.22%	12.41%	13.56%	14.66%	15.72%



La Capacidad de Producción a la que se podría operar con el VAN=0 es al 67%.

Cuadro 3.33 Sensibilidad de los Precios de los Productos del Escenario 3

Variación	Base								
	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
Precio MAP	496.00	527.00	558.00	589.00	620.00	651.00	682.00	713.00	744.00
Precio DAP	496.00	527.00	558.00	589.00	620.00	651.00	682.00	713.00	744.00
VAN	-276.61	-108.96	58.69	226.33	393.98	561.63	729.28	896.93	1,064.57
TIR	6.19%	8.91%	11.37%	13.63%	15.72%	17.69%	19.53%	21.28%	22.94%



Los precios de los productos podrían tolerar un decremento de hasta el 12% (VAN=0), lo cual significa un precio de 547.19 US\$/TM.

3.8. Evaluación Ambiental

3.8.1. Legislación Ambiental aplicable al Complejo

Cuadro 3.34 Legislación Ambiental aplicable al Complejo

	Normativa	Descripción
Ley General del Ambiente, Artículo 25º	Contenido y Aprobación de EIAs	Los Estudios de Impacto Ambiental son instrumentos de gestión que contienen una descripción de la actividad propuesta y de los efectos directos o indirectos previsibles de dicha actividad en el medio ambiente físico, biológico y social, a corto y largo plazo, así como la evaluación técnica de los mismos. Deben indicar las medidas necesarias para evitar o reducir el daño a niveles tolerables e incluirá un breve resumen del estudio para efectos de su publicidad.
Decreto Supremo Nº 012-2008-EM	“Reglamento de Participación Ciudadana para la Realización de Actividades de Hidrocarburos”	Tiene por finalidad fortalecer la participación de la ciudadanía desde la etapa de negociación de un contrato de exploración y/o explotación de Hidrocarburos. El objeto de esta norma es determinar si los intereses de las poblaciones que habitan el área de influencia directa de un proyecto de hidrocarburos podrían verse afectados
Decreto Supremo Nº 02-2008-MINAM	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua	Establecen los niveles de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos.
Decreto Supremo Nº 037-2008-PCM	Límites Máximos Permisibles de Efluentes Líquidos para el Subsector Hidrocarburos	Tiene por objetivo establecer los Límites Máximos Permisibles de Efluentes Líquidos para el Subsector Hidrocarburos.
Decreto Supremo Nº 074-2001-PCM	Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad de Aire	Establece los valores límites de calidad ambiental del aire.
Decreto Supremo Nº 085-2003-PCM	Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido	Tiene por objetivo proteger la salud, mejorar la calidad de vida de población y promover el desarrollo sostenible.

Fuente: MINAM, MEM

3.8.2. Aspectos Sociales

Según el mapa de pobreza del año 2009, publicado por el Instituto Nacional de Estadística (INEI), los distritos del área de influencia del Complejo, Aco, Sincos, Manzanares y Mito, se encuentran con índices de pobreza del 55.6, 18.3, 32.6 y 47.2% respectivamente. Estos distritos se verían impactados de manera positiva con el ingreso de este Complejo, traducido en fuente de trabajo directo e indirecto, por lo que este se conllevaría a la reducción de la pobreza y al mejoramiento de la calidad de vida de los distritos involucrados. Todo aquello buscando que el Complejo sea la fertilizadora nacional amigable ambientalmente para la población y sus actividades.

Por otro lado, el uso masivo del gas natural en Junín repercutirá de manera positiva en varios aspectos.

- i. En primer término, a nivel industrial, las empresas manufactureras y de procesamiento primario contarán con un combustible más limpio para utilizarlo como fuente generadora de calor en sus procesos productivos a precios menores respecto a otros combustibles sustitutos como el GLP, Diesel 2 y residuales. Por otra parte, el gas natural permitirá el surgimiento de la industria de procesamiento del gas a través de plantas especiales como las de gas a líquidos (GTL), y las de amoníaco y metanol.
- ii. En segundo lugar, a nivel residencial y comercial el uso del gas natural permitirá la sustitución de combustibles como el GLP que es menos competitivo y eficiente en la generación de energía para calefacción interna de ambientes, cocina, refrigeración, entre otros usos.
- iii. Finalmente, el gas natural también podrá ser utilizado en el transporte urbano bajo la modalidad de gas natural vehicular (GNV), lo cual

provocará que en los próximos años se desarrolle una red de estaciones de servicio que abastecerá a una creciente cantidad de vehículos convertidos al sistema dual y los buses de transporte público, debido al reducido costo del GNV y al menor mantenimiento que se le debe hacer a los vehículos que utilizan este combustible.

3.8.3. Aspectos Ambientales de los Procesos Involucrados

Los aspectos ambientales a identificar en los Procesos se ven asociados al proceso y producto en:

- Emisiones a la atmósfera
- Aguas residuales
- Residuos Sólidos

Por lo que, resulta el siguiente cuadro:

Cuadro 3.35 Identificación de Impactos Ambientales

Proceso	Aspecto identificado	Impactos
Producción de Amoníaco	Emisión de CO ₂	Efecto Invernadero y Contaminación
Producción de Ácido Fosfórico	Producción de Fosfoyeso	Impacto visual
Producción de Fosfatos Amónicos	-	-

Fuente: Fertilizer Manual UNIDO/IFDC

Por lo expuesto, solo se estudian los cuadros relacionados a la producción de Amoníaco y Ácido Fosfórico, por el mayor impacto que puedan tener en la región.

3.8.3.1. En la Producción de Amoníaco

Se sabe que el dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero, el cual es producido en la producción de Amoníaco; por lo que resultaría conveniente cuantificar la emisión.

En la medición de CO₂, se ha tomado como referencia la producción de gas de síntesis para obtener Metanol. (Ver Cuadro 3.36)

Cuadro 3.36 Factor de Emisión para la producción de Metanol (TM CO₂ por GJ de energía consumida)

Producción de Metanol
Factor de Emisión en la Producción de Materia Prima
0.056 (Combustión del Gas Natural para la producción de Gas de Síntesis y Oxígeno) ¹

¹ Se asume el Gas Natural como combustible.

Fuente: Artículo Steam cracking, Utrecht University, Holanda.

Al emplearse el Gas de Síntesis como producto intermedio se estima las emisiones de CO₂ producidas en la elaboración de Amoníaco.

En consecuencia se aprecia que en la producción de Materia Prima (Gas de Síntesis) a partir de ambas vías, tanto para la vía metano y etano, se tiene 0.056 TM CO₂ por GJ de energía consumida.

Por lo tanto, como ya se calculó en el numeral 3.5.2, para la planta de Amoníaco se consumirán 6,741.62 Gcal/día de Gas Natural, equivalentes a 9.59 MM GJ/año, haciendo los cálculos pertinentes se obtienen 537,060.10 TM de CO₂ anuales.

De las emisiones de CO₂ que el Banco Mundial calculó al año 2009 para Perú fue de 1.63 TM per cápita, por lo que resultan 47.69 MM TM de CO₂ al 2009, resultando un incremento del 1.12% anual de CO₂ en el caso se opere la Planta de Amoníaco propuesta. Cabe señalar, que el Perú no cuenta con Límites Máximos Permisibles para el control de este tipo de emisiones.

3.8.3.2. En la Producción de Ácido Fosfórico

Aproximadamente 5 TM de masa seca fosfoyeso se producen por TM de ácido fosfórico (calculado por 1 TM de P_2O_5). En ese sentido, se estima producir alrededor de 4,490.07 TM/día de Ácido Fosfórico, en consecuencia se produciría alrededor de 22,450 TM/día de masa seca de fosfoyeso, en otras palabras, más de 8 MMTM/año de fosfoyeso como subproducto.

Dado que este subproducto no es nocivo para la salud, si se caracteriza por las enormes cantidades generadas que al no aprovecharse de manera apropiada en otra industria generarían domos de fosfoyeso de considerable volumen causando de esta manera un impacto visual en la zona libre de agentes de esta naturaleza. Como es el en caso de Huelva, España; donde se apilaron millones de TM desde el año 1965, cuando se instaló en el Polo la empresa Fosfórico Español (FESA), hoy en poder de la compañía FERTIBERIA, dedicada a la producción de ácido fosfórico y sulfúrico hasta fines del año 2010. Tal como se puede apreciar en el siguiente gráfico:

Gráfico 3.17 Depósito de Fosfoyeso Huelva - España



Sin embargo existen tres métodos usados para la disposición final del fosfoyeso:

- i. Descarga al mar.
- ii. Desechar en alguna depresión del suelo.
- iii. Usarlo en el campo agrícola o como yeso comercial en la construcción.

De estas formas de usanza se vienen empleando las dos (2) últimas de acuerdo a la ubicación geográfica y necesidad de la zona.

Por lo expuesto, se puede señalar que el fosfoyeso que sería producido en el Complejo en el valle Mantaro si representaría un impacto visual negativo.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

1. En cuanto a reservas de Roca Fosfórica se cuenta con reservas superiores a los 1,000 MMTM en una ley entre 10 - 12%, por lo que, la oferta estaría garantizada; sin embargo, la capacidad productora nacional de Ácido Sulfúrico, de 1,540,871.85 TM anuales, no es suficiente, pues se requiere 4,348,300.00 TM anuales de Ácido Sulfúrico; es decir, se produce anualmente un 35% de la demanda anual estimada para este Complejo de talla mundial. Por lo expuesto, convendría importar dicho producto o esperar la realización de importantes proyectos refineros, cupríferos y auríferos del ámbito hidrocarburos y minería; específicamente el Proyecto de Modernización de la Refinería Talara, el Proyecto de Conga en Cajamarca y Tía María en Arequipa, a fin de que se produzca suficiente Ácido Sulfúrico nacional que pueda cubrir la demanda requerida. Respecto al abastecimiento del Gas Natural se demandarían 24.79 MMPCD los cuales se podrían tomar de los casi 600 MMPCD, en promedio, que son provenientes del Lote 56 que está destinado a la exportación de LNG, y de acuerdo al Libro de Reservas, a diciembre de 2012, se tiene 15.4 TCF de reservas probadas de Gas Natural; de esta forma se estaría confirmando su abastecimiento.
2. Se concluye que el mercado peruano al 2012 tiene una fuerte demanda de Fosfato Diamónico de aproximadamente 143 MTM anuales en promedio, durante los últimos 9 años, con un crecimiento anual de 14% en promedio. De Fosfato Monoamónico de alrededor de 18 MTM anuales en promedio, durante los 4 últimos años de crecimiento al 59% anual en promedio. En ese sentido se cubriría la demanda nacional al 100%. Respecto de los países sudamericanos al 2011, importaron más de 3 MMTM anuales de MAP, para lo cual se consideró cubrir un 35% de

esta demanda regional y para el DAP se importaron más de 1.4 MMTM, de los cuales se estima cubrir también el 35%.

3. El Complejo permite sinergias entre las empresas Stonegate Agricom LTD (proveedora de los fosfatos Mantaro), Doe Run Perú (proveedor de ácido sulfúrico), Votorantim Metais Cajamarquilla S.A. (proveedor de ácido sulfúrico), Transportadora de Gas del Perú y el Consorcio Camisea (proveedor de Gas Natural) en el abastecimiento de materia prima para el complejo de fosfatos.
4. La posible ubicación del Complejo sería en el distrito de Sincos (a 30 km de Huancayo, Junín), cerca de las reservas de roca fosfórica, goza de la cercanía a los principales medios de comunicación, como lo es la Carretera Central y el Sistema de Ferrocarril Central Andino. Lo cual garantiza la distribución de los productos fosfatados al mercado nacional y regional.
5. El Complejo está diseñado para producir de 795 MTM/año de Fosfato Monoamónico y 680 MTM/año de Fosfato Diamónico. Los procesos elegidos son:

Cuadro 4.1 Procesos y Licenciantes elegidos

Producto	Proceso	Licenciante
Ácido Fosfórico	Proceso Dihidrato	No especificado
Amoniaco	Proceso de Haldor Topsoe	Haldor Topsoe
MAP / DAP	Proceso Uhde GmBh	Uhde GmBh

La elección de estos procesos y sus licenciantes de tecnología se encuentran sustentados en el apartado 3.4 de la presente tesis.

6. El CAPEX del Complejo asciende aproximadamente a 1,250 MM US\$. Asimismo, en la evaluación económica se analizaron 3 escenarios, en los cuales se obtuvo:

Cuadro 4.2 Resultado de Escenarios Evaluados

Indicador	Escenario N°1	Escenario N°2	Escenario N°3
TIR	11.84 %	15.18 %	15.72 %
VAN	109.30 MMUS\$	349.19 MMUS\$	393.98 MMUS\$
PAYBACK	4 años	4 años	3 años

El escenario N° 1 excluye la devolución anticipada del IGV al inversionista, el escenario N° 2 admite la devolución anticipada del IGV al inversionista y la entrega de regalías a los gobiernos regionales; y el escenario N° 3 corresponde a una devolución anticipada del IGV y la exoneración de regalías del Gas Natural en boca de pozo. En definitiva el escenario N° 3 es el más atractivo, porque posee los mayores valores para los indicadores económicos mostrados en el Cuadro 4.2.

7. Este Complejo es viable ambiental y socialmente, toda vez que se tienen los posibles impactos identificados, de los procesos involucrados, a fin de posteriormente evaluarlos y elaborar planes de prevención y control. Al respecto, en la producción de Amoníaco se identificó que el CO₂ podría subir en un 1.12% respecto de años anteriores, precisando que el Perú no posee estándares en el control de este tipo de emisiones; asimismo en la producción de ácido fosfórico la fuerte generación de fosfoyeso solo podría causar la acumulación y formación de grandes domos, causando de este manera un impacto visual negativo.
8. La implementación del complejo de fertilizantes en el Valle Mantaro, región Junín, es posible bajo estas condiciones:
 - i. Suministro de fertilizantes al mercado nacional de 55 MTM/año de Fosfato Monoamónico y 300 MTM/año de Fosfato Diamónico, sin necesidad de abastecer el mercado regional.
 - ii. Un precio de Gas Natural de 4.4912 US\$/MMBTU, precio de roca fosfórica de 90 US\$/TM, un precio de ácido sulfúrico de 50 US\$/TM y el precio de los fertilizantes fosfatados en 730 US\$/TM.

- iii. Los indicadores económicos son: un TIR de 12.63%, un VAN de 112.59 MMUS\$ y un Payback de 4 años, para un CAPEX de 539 MMUS\$, a un costo de oportunidad de 12% y con la exoneración en el pago de regalías del Gas Natural en boca de pozo.

4.2. Recomendaciones

1. Se recomienda evaluaciones posteriores para la implementación de una pequeña planta de producción de ácido fosfórico (85%) grado alimento, a partir del ácido fosfórico (54%) producido en este Complejo. Debido a que, a lo largo del tiempo este producto de grado alimento ha tenido un crecimiento (ver Gráfico 2.32) relativamente alto, representando una oportunidad de negocio.
2. El proceso de producción de ácido fosfórico genera grandes cantidades de fosfoyeso como subproducto, por lo que se recomienda mayor investigación en la posibilidad de usar este subproducto, en ese sentido el fosfoyeso producido se emplearía en la fabricación de material de construcción *drywall*, y de esta manera incursionar también en la industria constructora; por otro lado están los compuestos de flúor que podrían ser empleados como fundentes de la alúmina, en la obtención del aluminio metálico por electrólisis.
3. En las regalías incluidas en el precio del Gas Natural, los contratos de explotación de los lotes de hidrocarburos permiten la negociación de valores diferenciados de regalías para la petroquímica. Una menor regalía permitiría obtener un menor precio de Gas Natural en planta y ayudaría a que el productor de Gas Natural no se vea incentivado únicamente a exportarlo.

En ese sentido, el Estado podría crear y promover un mecanismo de compensaciones al pago de regalías (contenidas en el precio de boca de

pozo del Gas Natural) según la demanda de los productos finales en los mercados internacionales, para garantizar la continuidad del proyecto.

Es preciso indicar que, el ahorro por dejar de importar fertilizantes fosfatados y producirlos en el Perú sería de 139 MMUS\$/año y las regalías por el consumo de Gas Natural de Camisea ascenderían a 10 MMUS\$/año. Parte de este ahorro podría sumar y cubrir ampliamente las regalías que los gobiernos regionales dejarían de percibir al inicio de esta cadena productiva.

CAPÍTULO V: BIBLIOGRAFÍA

Planteamiento del Problema

1. SUNAT-Operatividad Aduanera. Consulta por partida.
<http://www.aduanet.gob.pe/cl-ad-itestadispartista/resumenPPaisS01Alias>
(Visitado 02/02/2013)
2. Congreso aprueba gasoducto para las regiones del centro
<http://diariocorreo.pe/ultimas/noticias/2696472/congreso-aprueba-gasoducto-para-las-regiones>
(Visitado 02/12/2012)
3. Ing.Agr.M.Sc. Federico Ramírez D. (2000), Corporación Misti S.A., Consumo de Fertilizantes en el Perú
Corporación Misti S.A. - Perú
4. La Regulación del GN en el Perú
<http://www.ctic.uni.edu.pe/files/tema1.pdf>
(Visitado 10/02/2013)
5. Ley que afianza la seguridad energética y promueve el desarrollo de polo petroquímico en el sur del país.
<http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/LEY-29970-CONCORDADO.pdf>
(Visitado 02/02/2013)
6. MACROCONSULT (2004) Demanda de Gas Natural para las zonas de La Oroya-Tarma-Huancayo, Ica-Pisco-Marcona y Ayacucho. 2004-2024
<http://www.docstoc.com/docs/108028593/Demanda-de-Gas-Natural-ProInversion>
(Visitado 02/02/2013)
7. Mantaro Perú S.A.C.
<http://www.fosfatosmantaro.com/s/Home.html>
(Visitado 02/02/2013)
8. Producción, Transporte y Distribución de Gas Natural
<http://www.ctic.uni.edu.pe/files/tema2.pdf>
(Visitado 02/02/2013)
9. Proyecto de Ley 939/2011-CR
http://www.munizlaw.com/Productos/Desde_El_Congreso/2012/PDF/0939230312.pdf
(Visitado 02/02/2013)

10. Regulación del Gas Natural en el Perú
http://www2.osinerg.gob.pe/Infotec/GasNatural/pdf/Regulacion_Gas_Natural_Peru.pdf
(Visitado 02/02/2013)
11. Stonegate Agricom L.T.D.
<http://www.stonegateagricom.com/s/Home.asp>
(Visitado 02/02/2013)

Estudio de Mercado

12. Acceso al Servicio de Gas Natural
<http://www.ctic.uni.edu.pe/files/tema3.pdf>
(Visitado 02/02/2013)
13. Calidad de fertilizantes
<http://www.tecnoagro.com.ar/notas/fertilidad/calidad-de-fertilizantes.pdf>
(Visitado 10/02/2013)
14. Estudio de Mercado de Fertilizantes en el Perú 2003
<http://www.fertilizando.com/estadisticas/estudioMercadoFertilizantesPeru.pdf>
(Visitado 02/02/2013)
15. Estudio de Mercado Gas Natural
<http://www.monografias.com/trabajos39/gas-de-camisea/gas-de-camisea2.shtml>
(Visitado 02/02/2013)
16. Fábrica de Huelva
http://acm2.fertiberia.es/ACM2_upload/1QuienesSomos/pdfsFabricas/HUELVA_ESP.pdf
(Visitado 15/12/2012)
17. Fertilizantes en el Perú
http://www.inveracero.com/Simposium/FERTILIZANTES_EN_EL_PERU-ING_ELAR_SIFUENTES.pdf
(Visitado 10/02/2013)
18. Fijación Preliminar de las Tarifas Básicas del Gasoducto Andino del Sur Proyecto de Ley 939/2011-CR
http://www2.osinerg.gob.pe/ProcReg/GasNatural/TarifaSisTransporteGasAndinoSur/11_Audi_Pub_OSINERGMINGART/PPT_AudienciaPrepublicacion_Gasoducto_Kuntur.pdf
(Visitado 02/02/2013)

19. Fosfatados Sustentables
<http://www.tripoliven.com/documentos/Fosfatados%20sustentables.pdf>
(Visitado 24/01/2013)
20. Fosfatos
http://www.unsam.edu.ar/institutos/centro_ceps/investigaciones/fertilizantes/capitulo3.pdf (Visitado 27/01/2013)
21. Intenciones de Siembra 2012-2013
http://www.minag.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/orientacional/productor/intenciones_de_siembra/resumen_ejecutivo_intenciones_siembra2012-2013.pdf
(Visitado 02/02/2013)
22. Ministerio de Agricultura, Estadística de Enero 2013
http://www.minag.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/boletineselectronicos/estadisticaagrariamensual/2013/bemsa_enero13.pdf
(Visitado 02/02/2013)
23. Ministerio de Agricultura, Estadísticas del Sector Agrícola
<http://www.minag.gob.pe/portal/herramientas/estadísticas>
(Visitado 23/01/2013)
24. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y del Organismo Internacional de Energía Atómica
Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5053e/y5053e00.pdf>
(Visitado 18/02/2013)
25. Panorama de la Roca Fosfórica 2011
http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/myb1-2011-phosp.pdf
(Visitado 02/02/2013)
26. Producción y Comercio Regional de Fertilizantes
<http://www.fertilizer.org/ifa/HomePage/STATISTICS/Production-and-trade>
(Visitado 10/02/2013)
27. Propuesta Tarifaria de Transporte Inicial Gasoducto Andino del Sur
<http://www2.osinerg.gob.pe/ProcReg/GasNatural/TarifaSisTransporteGasAndinoSur/PresentacionKuntur-AudienciaPublicaTarifasIniciales.pdf>
(Visitado 20/03/2013)
28. Proyecto Fosfatos Mantaro por Pedro Morales
http://www.proexplo.com.pe/programa/martes/PEDRO_OLIVARES.pdf
(Visitado 02/02/2013)

29. Producción Mundial de Roca Fosfórica
<http://www.fao.org/docrep/007/y5053e/y5053e07.htm>
(Visitado 15/01/2013)
30. Proyecto de Masificación del uso de Gas Natural en las ciudades Alto Andinas
<http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/ciudadania/concesion-ciudades-alto-andinas.html>
(Visitado 30/05/2014)
31. Proyecto Gasoducto de Derivación a Ayacucho
http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/ciudadania/avance_proyecto_s-proyecto_derivacion_ayacucho.html
(Visitado 30/05/2014)
32. Reporte de Producción Mundial de Roca Fosfórica
http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/mcs-2013-phosp.pdf
(Visitado 02/02/2013)
33. Roca Fosfórica Bayóvar
<http://fosyeiki.pe/diptico.pdf>
(Visitado 02/02/2013)
34. Tarifas del Gas Natural
<http://www.calidda.com.pe/regulacion.htm>
(Visitado 07/03/2013)
35. Thecnical Report on Mantaro Phosphate Deposit Junin District, Peru.
<http://www.stonegateagricom.com/i/pdf/Mantaro-NI43101.pdf>
(Visitado 02/02/2013)
36. Usos e Importancia de los Fosfatos
<http://fosfatos.gl.fcen.uba.ar/usos.php#>
(Visitado 02/03/2013)
37. FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/R/*/S
(Visitado 25/10/2013)

Evaluación Técnica

38. Patente US 4,758,261. DIAMMONIUM PHOSPHATE PRODUCED WITH A HIGH-PRESSURE PIPE REACTOR

<https://docs.google.com/viewer?url=www.google.com/patents/US4758261.pdf>
(Visitado 02/04/2013)

39. Patente US 7,172,742 B2. METHOD OF PREPARING WET PROCESS PHOSPHORIC ACID
<https://docs.google.com/viewer?url=www.google.com/patents/US7172742.pdf>
(Visitado 02/03/2013)
40. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and International Fertilizer Development Center (IFDC). (1998) Fertilizer Manual.

Evaluación Económica

41. Indices de costo. Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)
http://www.che.com/business_and_economics/plant_cost_index/10235.html
(Visitado 20/02/2013)
42. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and International Fertilizer Development Center (IFDC). (1998) Fertilizer Manual
43. ODEPA - Oficina de Estudios y Políticas Agrarias – Ministerio de Agricultura – Gobierno de Chile
<http://www.odepa.gob.cl/articulos/MostrarDetalle.action?idcla=12&idn=10396>
(Visitado 20/11/2013)
44. AGRONET - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – Gobierno de Colombia – FAO
<http://www.agronet.gov.co/BibliotecaDigital.html> (Visitado 20/11/2013)

Evaluación Ambiental y Social

45. International Fertilizer Industry Association. Mineral Fertilizer Production and the Environment. (1998) The Fertilizer Industry's Manufacturing Processes and Environmental Issues.
46. Mapa de Pobreza Provincial y Distrital 2009
<http://www.unfpa.org.pe/publicaciones/publicacionesperu/INEI-Mapa-Pobreza-2009.pdf>
Visitado 20/04/2013)

47. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and International Fertilizer Development Center (IFDC). (1998) Fertilizer Manual
48. Steam cracking and methane to olefins: Energy use, CO₂ emissions and production costs - Tao Ren, Martin K. Patel, Kornelis Blok - Department of Science, Technology and Society, Faculty of Chemistry, Utrecht University, Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht, The Netherlands.

ANEXO I: Glosario y Definiciones

Definición de abreviaturas y términos

- **Abono:** Es cualquier sustancia orgánica o inorgánica que mejora la calidad del sustrato, a nivel nutricional, para las plantas. Ejemplos naturales o ecológicos de abono se encuentran tanto en el clásico estiércol, mezclado con los desechos de la agricultura como el forraje, o en el guano formado por los excrementos de las aves.
- **Ácido fluosilícico:** Compuesto químico de fórmula H_2SiF_6 . En solución acuosa, su evaporación produce la pérdida de HF y SiF_4 .
- **Ácido fosfórico:** El término ácido fosfórico indica P_2O_5 , según la adopción oficial e internacional actual. El P_2O_5 al combinarse inmediatamente y activamente con el agua forma ácidos fosfóricos. El fósforo se encuentra en los fertilizantes generalmente en forma de ortofosfato de calcio o amonio. El ácido ortofosfórico H_3PO_4 , es la forma más común del ácido fosfórico.
- **Ácido sulfúrico:** Es un compuesto químico extremadamente corrosivo cuya fórmula es H_2SO_4 . Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países. Una gran parte se emplea en la obtención de fertilizantes. También se usa para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica.
- **Anhidrito:** $CaSO_4$, sulfato de calcio.
- **Amoniaco:** Es un gas a la presión ordinaria, pero pasa al estado líquido cuando es sometido a presiones altas. Cuando se utiliza como fertilizante se maneja en estado líquido sometido a grandes presiones dentro de recipientes importantes. Contiene 82% de nitrógeno en forma amoniacal.
- **Apatita:** El mineral apatita ($Ca_{10}(PO_4)_6X_2$ donde X puede ser F-, OH- o Cl-, es el fosfato de calcio natural más abundante en la superficie terrestre y la principal fuente de fósforo por lo que es de gran importancia en distintos

campos de investigación así como en la industria. El color es variable aunque predominan los cristales incoloros, de color parduzco o verdoso.

- **atm:** unidad de presión, atmósfera.
- **Battery Limits:** Se compone de uno o varios límites geográficos, imaginarios o reales, que encierran una planta o unidad que está siendo diseñado y/o construido, creados con el fin de proporcionar un medio de identificar específicamente ciertas partes de la planta, los grupos relacionados de equipos o instalaciones asociadas.
- **BPL:** Fosfatos tricálcicos de hueso (unidad del contenido de P de la roca fosfórica que indica su grado comercial) (*Bone phosphate of lime*).
- **BTU:** British Thermal Unit, unidad de energía.
- **°C:** Grados Celcius.
- **Cal:** Caloría.
- **Cal/mol:** Caloría por mol
- **CAPEX:** *Capital expenditure* o inversiones en bienes de capitales.
- **CEPCI:** Chemical Engineering Plant Cost Index.
- **Chert:** El chert es una roca sedimentaria de la clase conocida como rocas sedimentarias químicas. Se compone de cuarzo microcristalino.
- **Commodity:** Son bienes que conforman las materias primas esenciales de nuestra economía y del mundo, constituyen una alternativa más de inversión para distintos perfiles de inversionistas.
- **Complejo:** Es un conjunto de plantas instaladas en una zona geográfica determinada, en la cual se obtienen sinergias productivas y logísticas que le confieren ventajas comparativas, y donde se instala la infraestructura y los servicios que responden a las necesidades de la Industria.
- **Contrato Sinérgico:** Contrato celebrado en un Joint venture.
- **Crandalita:** Es un mineral compuesto básicamente de calcio, aluminio, fósforo e hidrogeno.
- **DAP:** *Diammonium Phosphate* o Fosfato diamónico.
- **DGH:** Dirección General de Hidrocarburos del MEM.

- **Dihidrato:** $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, sulfato de calcio dihidratado.
- **E.U.A.:** Estados Unidos de América.
- **FAO:** Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **FAOSTAT:** Statistics Division of the FAO.
- **Fertilizante fosfatado:** Es el que contiene el elemento fósforo en estado asimilable (P_2O_5). Puede ser simple, como el superfosfato simple o el superfosfato triple, o, binario, como el fosfato diamónico.
- **Fosfato diamónico: (DAP)**, es el producto obtenido del tratamiento del ácido ortofosfórico con amoníaco, y consiste principalmente en fosfato diamónico, con un grado del 18% al 21% de nitrógeno total y del 46% al 54% de anhídrido fosfórico asimilable.
- **Fosfato monoamónico: (MAP)**, es un producto formado por la reacción de ácido fosfórico y amonio, con un grado de 48% al 52% de anhídrido fosfórico asimilable y no menos del 17% de óxido de potasio soluble en agua.
- **Fosfoyeso** es un subproducto blanco originado en la producción industrial de ácido fosfórico, $5\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{HX}$, donde X incluye OH, F, Cl, o Br.
- **Fluoro-apatita:** $(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F})$ o apatita-(CaF), es un mineral fosfato (halofosfato de calcio). La fluorapatita es un sólido cristalino duro. Aunque las muestras puedan tener varios colores (verde, marrón, azul, violeta, o sin color), el mineral puro no tiene color tal y como se espera para un material que no tiene metales de transición.
- **Gas Natural:** Mezcla de hidrocarburos en estado gaseoso, constituida básicamente por metano.
- **Gcal:** Gigacaloría.
- **Gcal/día:** Gigacaloría por día.
- **Gcal/MMPC:** Gigacaloría por Millones de Pies Cúbicos.
- **GJ:** GigaJoule.
- **GJ/sm³:** GigaJoule por Metro Cúbico Estándar.
- **GJ/TM:** GigaJoule por Tonelada Métrica.

- **h:** Hora trabajada.
- **h/día:** Hora trabajada por día.
- **Hemidrato:** $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, sulfato de calcio hemihidratado.
- **Hidroxiapatita:** $(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}))$ o apatito-(CaOH), formado por fosfato de calcio cristalino. Principal componente inorgánico del hueso de los vertebrados; también la encontramos en la dentina y el esmalte dental.
- **HF:** Fluoruro de Hidrógeno.
- **Industria Petroquímica:** Industria que se encarga de transformar químicamente componentes del Gas Natural y Condensados y otros hidrocarburos líquidos en productos petroquímicos básicos, intermedios y finales, con el objeto de generar valor agregado.
- **Insumos:** Bienes producidos en la Industria Petroquímica y empleados en la producción de otros bienes por la Petroquímica Intermedia y Final.
- **ISBL:** *Inside Battery Limits*, se refiere a una operación del proceso o área específica dentro de una planta de procesamiento. Es a menudo un límite físico que separa las unidades de proceso de los equipos de apoyo.
- **J:** Joule.
- **J/mol:** Joule por mol.
- **Joint venture:** Acuerdo comercial de inversión conjunta a largo plazo entre dos o más personas (normalmente personas jurídicas o comerciantes).
- **kg:** Kilogramo.
- **kg/TM:** Kilogramo por Tonelada Métrica.
- **km:** Kilómetro.
- **kWh:** Kilowatt hora.
- **kWh/día:** Kilowatt hora por día.
- **LNG:** *Liquefied natural gas* o gas natural licuefactado.
- **m²:** Metro cuadrado.
- **m³:** Metro cúbico estándar.
- **m³/día:** Metro cúbico estándar por día.

- **mm:** milímetro.
- **MBD:** Miles de Barriles por día.
- **MBTU:** Miles de BTUs.
- **MEM:** Ministerio de Energía y Minas del gobierno peruano.
- **MEA:** Metil etil amina.
- **MINAGRI:** Ministerio de Agricultura y Riego.
- **MPC:** Miles de Pies Cúbicos.
- **MPCD:** Miles de Pies Cúbicos Diarios.
- **MTM:** Miles de Toneladas Métricas.
- **MUS\$:** Miles de Dólares norteamericanos.
- **MMA:** Millones de años.
- **MMBTU:** Millones de BTUs.
- **MMPC:** Millones de Pies Cúbicos.
- **MMPCD:** Millones de Pies Cúbicos Diarios.
- **MMTM:** Millones de Toneladas Métricas.
- **MMUS\$:** Millones de Dólares norteamericanos.
- **Meteorización:** Es la descomposición de minerales y rocas que ocurre sobre o cerca de la superficie terrestre cuando estos materiales entran en contacto con la atmósfera, hidrosfera y la biosfera.
- **MAP:** *Monoammonium Phosphate* o Fosfato monoamónico.
- **Naturaleza conceptual:** Teóricamente, por definición.
- **NO-SE:** Dirección noroeste-sureste.
- **NPK:** Compuesto que contiene nitrógeno, fósforo y potasio.
- **Nm³/h:** Normal Metro Cúbico por hora.
- **OPEX:** *Operational expenditure* o Gastos de Operación.
- **OSBL:** Outside Battery Limits, se compone de todas las conexiones necesarias a hacer funcionar el ISBL, flujos de alimentación y producto, servicios industriales, los flujos de residuos, etc.
- **OSINERGMIN:** Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.

- **Pa:** Pascal.
- **PCD:** Pies Cúbicos Diarios.
- **Petroquímica Básica:** Son aquellas industrias que realizan la primera transformación del Gas Natural y Condensados y otros hidrocarburos líquidos, para la obtención de insumos para la Industria Petroquímica Intermedia o en productos finales.
- **Petroquímica Intermedia:** Son aquellas industrias manufactureras que transforman insumos generados por la Industria Petroquímica Básica en productos finales y/o insumos de la Industria Petroquímica Final.
- **Petroquímica Final:** Son aquellas industrias manufactureras que transforman insumos generados por la Industria Petroquímica Intermedia en otros productos finales, destinados a bienes de consumo comercializados a granel, o insumos industriales. Entre los productos obtenidos de la Petroquímica Final se encuentran aquellos bienes involucrados en la cadena de plásticos, entre otros.
- **ppm:** Partes por millón.
- **ppmv:** Partes por millón en volumen.
- **Precio sinérgico:** Precio convenido por las empresas integrantes del *joint venture*.
- **PRODUCE:** Ministerio de la Producción del gobierno peruano.
- **Roca fosfórica:** Es una roca natural que contiene uno o más minerales de fosfato de calcio de suficiente pureza y en cantidad tal que permite su uso, ya sea directamente o después de su concentración, en la elaboración de fertilizantes comerciales.
- **Recurso Indicado:** Aquella porción del recurso Minero para el cual el tonelaje, densidades, leyes, características geológicas, geometalúrgicas y geotécnicas han sido estimadas y caracterizadas con un razonable nivel de confianza.
- **Recurso Inferido:** Aquella porción del recurso Minero para el cual las estimaciones de tonalaje y ley están afectas en exactitud y precisión debido a muestreos fragmentarios, limitados, y a percepciones asumidas

sobre su continuidad geológica, y a extrapolaciones de carácter más bien subjetivo sobre la naturaleza de los controles de la mineralización.

- **Recurso Medido:** Aquella porción del recurso Minero para el cual el tonelaje, densidades, leyes, características geológicas, geometalúrgicas, y geotécnicas han sido estimadas y caracterizadas con un significativo nivel de confianza.
- **Sinclinal:** El sinclinal es la parte cóncava de un pliegue de la corteza terrestre debido a las fuerzas de compresión de un movimiento orogénico, cuyos estratos convergen hacia abajo, es decir en forma de cuenca.
- **Stream factor:** Factor de flujo.
- **SUNAT:** Superintendencia Nacional de Administración Tributaria.
- **Superfosfato simple:** Es el producto formado por la reacción de una roca fosfórica y ácido sulfúrico, con un grado no menor del 19% de anhídrido fosfórico asimilable. El producto comercial contiene generalmente 20% de anhídrido fosfórico asimilable, 20% del calcio y 12% de azufre.
- **Superfosfato triple:** Es el producto formado por la reacción de una roca fosfórica, ácido sulfúrico y ácido fosfórico, con un grado no menor del 45% de anhídrido fosfórico asimilable.
- **TCF:** *Trillion Cubic Foot* o Trillón de pies cúbicos.
- **TGP:** Transportadora de Gas del Perú S.A.
- **TM:** Tonelada métrica, 1000 kg.
- **TM/día:** Tonelada métrica por día.
- **TM/año:** Tonelada métrica por año.
- **TM/TM:** Tonelada métrica por tonelada métrica.
- **TM de P₂O₅/m²/día:** Tonelada métrica de P₂O₅ por metro cuadrado diario.
- **US\$:** *United States Dollar*, Dólar norteamericano.
- **US\$/MMBTU:** Dólar norteamericano por millón de BTUs.
- **US\$/día:** Dólar norteamericano por día.
- **US\$/h:** Dólar norteamericano por hora.
- **US\$/kWh:** Dólar norteamericano por kilowatt hora.

- **US\$/m³**: Dólar norteamericano por metro cúbico.
- **US\$/TM**: Dólar norteamericano por Tonelada métrica.
- **UNIDO**: United Nations Industrial Development Organization.

ANEXO II: Cálculo Tarifario del Gas Natural

Cálculo Tarifario de Gas Natural desde el inicio en la progresiva kilométrica KP 277+026 del Sistema de Transporte por Ductos Derivación Principal Ayacucho hacia Huancayo.

Data	
n	12 meses
Años	25
PR	300 meses
CGDi	200 MMPCD
CO&M	141,961 US\$/Año

Cálculo de CGT	
α	0.0095
β	0.12
$1+\alpha$	1.0095
CGT	538970.6014 MMPC

$$CGM_i = CGD_i \times D_i$$

$$CGT = \sum_{i=1}^{PR} \left(\frac{CGM_i}{(1+\alpha)^{i+n}} \right)$$

i	Di	CGMi	$(1+\alpha)^{i+n}$	$CGM_i/(1+\alpha)^{i+n}$
1	31	6,200	1.13	5,483.68
2	28	5,600	1.14	4,906.45
3	31	6,200	1.15	5,381.08
4	30	6,000	1.16	5,158.54
5	31	6,200	1.17	5,280.39
6	30	6,000	1.19	5,062.02
7	31	6,200	1.20	5,181.59
8	31	6,200	1.21	5,132.89
9	30	6,000	1.22	4,920.62
10	31	6,200	1.23	5,036.85
11	30	6,000	1.24	4,828.55
12	31	6,200	1.25	4,942.60
13	31	6,200	1.27	4,896.14
14	28	5,600	1.28	4,380.76
15	31	6,200	1.29	4,804.53
16	30	6,000	1.30	4,605.84
17	31	6,200	1.32	4,714.64
18	30	6,000	1.33	4,519.66
19	31	6,200	1.34	4,626.42
20	31	6,200	1.35	4,582.93
21	30	6,000	1.37	4,393.41
22	31	6,200	1.38	4,497.18
23	30	6,000	1.39	4,311.21
24	31	6,200	1.40	4,413.04
25	31	6,200	1.42	4,371.56

26	29	5,800	1.43	4,051.08
27	31	6,200	1.45	4,289.76
28	30	6,000	1.46	4,112.36
29	31	6,200	1.47	4,209.50
30	30	6,000	1.49	4,035.41
31	31	6,200	1.50	4,130.73
32	31	6,200	1.52	4,091.91
33	30	6,000	1.53	3,922.69
34	31	6,200	1.54	4,015.34
35	30	6,000	1.56	3,849.29
36	31	6,200	1.57	3,940.21
37	31	6,200	1.59	3,903.18
38	28	5,600	1.60	3,492.31
39	31	6,200	1.62	3,830.14
40	30	6,000	1.63	3,671.75
41	31	6,200	1.65	3,758.48
42	30	6,000	1.67	3,603.05
43	31	6,200	1.68	3,688.15
44	31	6,200	1.70	3,653.49
45	30	6,000	1.71	3,502.40
46	31	6,200	1.73	3,585.13
47	30	6,000	1.75	3,436.87
48	31	6,200	1.76	3,518.05
49	31	6,200	1.78	3,484.98
50	28	5,600	1.80	3,118.13
51	31	6,200	1.81	3,419.77
52	30	6,000	1.83	3,278.35
53	31	6,200	1.85	3,355.78
54	30	6,000	1.87	3,217.01
55	31	6,200	1.88	3,292.99
56	31	6,200	1.90	3,262.04
57	30	6,000	1.92	3,127.14
58	31	6,200	1.94	3,201.01
59	30	6,000	1.96	3,068.63
60	31	6,200	1.97	3,141.11
61	31	6,200	1.99	3,111.59
62	28	5,600	2.01	2,784.05
63	31	6,200	2.03	3,053.37
64	30	6,000	2.05	2,927.10
65	31	6,200	2.07	2,996.24
66	30	6,000	2.09	2,872.33
67	31	6,200	2.11	2,940.17
68	31	6,200	2.13	2,912.54
69	30	6,000	2.15	2,792.09
70	31	6,200	2.17	2,858.04
71	30	6,000	2.19	2,739.85
72	31	6,200	2.21	2,804.57
73	31	6,200	2.23	2,778.20
74	29	5,800	2.25	2,574.54
75	31	6,200	2.27	2,726.22

76	30	6,000	2.30	2,613.48
77	31	6,200	2.32	2,675.21
78	30	6,000	2.34	2,564.58
79	31	6,200	2.36	2,625.16
80	31	6,200	2.38	2,600.48
81	30	6,000	2.41	2,492.94
82	31	6,200	2.43	2,551.82
83	30	6,000	2.45	2,446.29
84	31	6,200	2.48	2,504.08
85	31	6,200	2.50	2,480.54
86	28	5,600	2.52	2,219.43
87	31	6,200	2.55	2,434.13
88	30	6,000	2.57	2,333.46
89	31	6,200	2.60	2,388.58
90	30	6,000	2.62	2,289.80
91	31	6,200	2.65	2,343.89
92	31	6,200	2.67	2,321.86
93	30	6,000	2.70	2,225.84
94	31	6,200	2.72	2,278.41
95	30	6,000	2.75	2,184.19
96	31	6,200	2.77	2,235.78
97	31	6,200	2.80	2,214.77
98	28	5,600	2.83	1,981.63
99	31	6,200	2.85	2,173.33
100	30	6,000	2.88	2,083.45
101	31	6,200	2.91	2,132.66
102	30	6,000	2.93	2,044.47
103	31	6,200	2.96	2,092.76
104	31	6,200	2.99	2,073.09
105	30	6,000	3.02	1,987.36
106	31	6,200	3.05	2,034.30
107	30	6,000	3.08	1,950.17
108	31	6,200	3.11	1,996.23
109	31	6,200	3.14	1,977.47
110	28	5,600	3.17	1,769.31
111	31	6,200	3.20	1,940.47
112	30	6,000	3.23	1,860.22
113	31	6,200	3.26	1,904.16
114	30	6,000	3.29	1,825.42
115	31	6,200	3.32	1,868.53
116	31	6,200	3.35	1,850.97
117	30	6,000	3.38	1,774.42
118	31	6,200	3.41	1,816.34
119	30	6,000	3.45	1,741.22
120	31	6,200	3.48	1,782.35
121	31	6,200	3.51	1,765.60
122	29	5,800	3.54	1,636.16
123	31	6,200	3.58	1,732.56
124	30	6,000	3.61	1,660.91
125	31	6,200	3.65	1,700.14

126	30	6,000	3.68	1,629.84
127	31	6,200	3.72	1,668.33
128	31	6,200	3.75	1,652.65
129	30	6,000	3.79	1,584.31
130	31	6,200	3.82	1,621.73
131	30	6,000	3.86	1,554.66
132	31	6,200	3.90	1,591.39
133	31	6,200	3.93	1,576.43
134	28	5,600	3.97	1,410.49
135	31	6,200	4.01	1,546.93
136	30	6,000	4.05	1,482.96
137	31	6,200	4.08	1,517.99
138	30	6,000	4.12	1,455.21
139	31	6,200	4.16	1,489.58
140	31	6,200	4.20	1,475.58
141	30	6,000	4.24	1,414.56
142	31	6,200	4.28	1,447.97
143	30	6,000	4.32	1,388.09
144	31	6,200	4.36	1,420.88
145	31	6,200	4.40	1,407.52
146	28	5,600	4.45	1,259.36
147	31	6,200	4.49	1,381.19
148	30	6,000	4.53	1,324.07
149	31	6,200	4.57	1,355.35
150	30	6,000	4.62	1,299.30
151	31	6,200	4.66	1,329.99
152	31	6,200	4.71	1,317.48
153	30	6,000	4.75	1,263.00
154	31	6,200	4.80	1,292.83
155	30	6,000	4.84	1,239.37
156	31	6,200	4.89	1,268.64
157	31	6,200	4.93	1,256.72
158	28	5,600	4.98	1,124.43
159	31	6,200	5.03	1,233.20
160	30	6,000	5.08	1,182.21
161	31	6,200	5.12	1,210.13
162	30	6,000	5.17	1,160.09
163	31	6,200	5.22	1,187.49
164	31	6,200	5.27	1,176.33
165	30	6,000	5.32	1,127.68
166	31	6,200	5.37	1,154.32
167	30	6,000	5.42	1,106.58
168	31	6,200	5.47	1,132.72
169	31	6,200	5.53	1,122.07
170	29	5,800	5.58	1,039.81
171	31	6,200	5.63	1,101.07
172	30	6,000	5.68	1,055.54
173	31	6,200	5.74	1,080.47
174	30	6,000	5.79	1,035.79
175	31	6,200	5.85	1,060.26

176	31	6,200	5.90	1,050.29
177	30	6,000	5.96	1,006.86
178	31	6,200	6.02	1,030.64
179	30	6,000	6.07	988.02
180	31	6,200	6.13	1,011.35
181	31	6,200	6.19	1,001.85
182	28	5,600	6.25	896.39
183	31	6,200	6.31	983.10
184	30	6,000	6.37	942.45
185	31	6,200	6.43	964.71
186	30	6,000	6.49	924.81
187	31	6,200	6.55	946.66
188	31	6,200	6.61	937.76
189	30	6,000	6.67	898.98
190	31	6,200	6.74	920.21
191	30	6,000	6.80	882.16
192	31	6,200	6.87	902.99
193	31	6,200	6.93	894.51
194	28	5,600	7.00	800.35
195	31	6,200	7.06	877.77
196	30	6,000	7.13	841.47
197	31	6,200	7.20	861.35
198	30	6,000	7.27	825.73
199	31	6,200	7.34	845.23
200	31	6,200	7.40	837.28
201	30	6,000	7.48	802.66
202	31	6,200	7.55	821.62
203	30	6,000	7.62	787.64
204	31	6,200	7.69	806.25
205	31	6,200	7.76	798.67
206	28	5,600	7.84	714.60
207	31	6,200	7.91	783.72
208	30	6,000	7.99	751.31
209	31	6,200	8.06	769.06
210	30	6,000	8.14	737.26
211	31	6,200	8.22	754.67
212	31	6,200	8.29	747.58
213	30	6,000	8.37	716.66
214	31	6,200	8.45	733.59
215	30	6,000	8.53	703.25
216	31	6,200	8.61	719.86
217	31	6,200	8.69	713.10
218	29	5,800	8.78	660.82
219	31	6,200	8.86	699.75
220	30	6,000	8.94	670.82
221	31	6,200	9.03	686.66
222	30	6,000	9.11	658.26
223	31	6,200	9.20	673.81
224	31	6,200	9.29	667.48
225	30	6,000	9.38	639.88

226	31	6,200	9.47	654.99
227	30	6,000	9.56	627.90
228	31	6,200	9.65	642.73
229	31	6,200	9.74	636.69
230	28	5,600	9.83	569.67
231	31	6,200	9.92	624.78
232	30	6,000	10.02	598.94
233	31	6,200	10.11	613.09
234	30	6,000	10.21	587.74
235	31	6,200	10.31	601.62
236	31	6,200	10.40	595.96
237	30	6,000	10.50	571.32
238	31	6,200	10.60	584.81
239	30	6,000	10.70	560.63
240	31	6,200	10.80	573.87
241	31	6,200	10.91	568.48
242	28	5,600	11.01	508.64
243	31	6,200	11.11	557.84
244	30	6,000	11.22	534.77
245	31	6,200	11.33	547.40
246	30	6,000	11.43	524.76
247	31	6,200	11.54	537.16
248	31	6,200	11.65	532.11
249	30	6,000	11.76	510.10
250	31	6,200	11.87	522.15
251	30	6,000	11.99	500.56
252	31	6,200	12.10	512.38
253	31	6,200	12.22	507.57
254	28	5,600	12.33	454.14
255	31	6,200	12.45	498.07
256	30	6,000	12.57	477.47
257	31	6,200	12.69	488.75
258	30	6,000	12.81	468.54
259	31	6,200	12.93	479.61
260	31	6,200	13.05	475.10
261	30	6,000	13.17	455.45
262	31	6,200	13.30	466.21
263	30	6,000	13.42	446.93
264	31	6,200	13.55	457.49
265	31	6,200	13.68	453.19
266	29	5,800	13.81	419.96
267	31	6,200	13.94	444.71
268	30	6,000	14.07	426.32
269	31	6,200	14.21	436.38
270	30	6,000	14.34	418.34
271	31	6,200	14.48	428.22
272	31	6,200	14.62	424.19
273	30	6,000	14.75	406.65
274	31	6,200	14.89	416.26
275	30	6,000	15.04	399.04

276	31	6,200	15.18	408.47
277	31	6,200	15.32	404.63
278	28	5,600	15.47	362.04
279	31	6,200	15.61	397.06
280	30	6,000	15.76	380.64
281	31	6,200	15.91	389.63
282	30	6,000	16.06	373.52
283	31	6,200	16.22	382.34
284	31	6,200	16.37	378.75
285	30	6,000	16.53	363.08
286	31	6,200	16.68	371.66
287	30	6,000	16.84	356.29
288	31	6,200	17.00	364.70
289	31	6,200	17.16	361.28
290	28	5,600	17.32	323.25
291	31	6,200	17.49	354.52
292	30	6,000	17.65	339.86
293	31	6,200	17.82	347.88
294	30	6,000	17.99	333.50
295	31	6,200	18.16	341.37
296	31	6,200	18.33	338.17
297	30	6,000	18.51	324.18
298	31	6,200	18.68	331.84
299	30	6,000	18.86	318.12
300	31	6,200	19.04	325.63
CGT (MMPC)				538,970.60

Cálculo de CS₀

Item	Inversión	CO&M (10% Inv)	CS ₀
Anual	1,419,610	141,961	1,561,571
Total 25 años	35,490,250	3,549,025	39,039,275

Longitud de Ductos (km)

Derivación Principal	20
Ducto Propuesto	280

Cálculos por km de Ducto

Inversión por km	1,774,513
CO&M por km	177,451

CO&M e inversión por 280 km

Inversión	496,863,500
CO&M 10%	49,686,350
CS ₀	546,549,850

Cálculo de TR_0	
CS_0	546,549,850
CGT (MMPC)	538,970.60
$TB_0 = \frac{CS_0}{CGT}$	
TB ₀	
TBo (US\$/PC)	0.0010141
TBo (US\$/MPC)	1.0141
TBo (US\$/MMBTU)	1.0141
$TR_0 = TB_0 \times \frac{\sum Cap.Garantizada_actualizada}{\sum Cap.Contratada_actualizada}$	
TR₀ (US\$/MMBTU)	1.0141