



PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NOMBRE DE LA TESIS

“Optimización de generación de potencia en los esquemas cogeneración (IGCC), ciclo combinado, y ciclo convencional con “lavado de gases”; con empleo de combustibles fósiles; en contribución a la sustentabilidad y el control climático”.

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA
EN SISTEMAS DE ENERGÍA**

P R E S E N T A :

NOMBRE DEL ALUMNO

Jaime Luís Bárcena López

TUTOR:

Ing. Augusto Sánchez Cifuentes

2012

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. José Luís Fernández Zayas

Secretario: Ing. Augusto Sánchez Cifuentes.

Vocal: Dr. Arturo Guillermo Reinking Cejudo

1er. Vocal: Dr. Gabriel León de Los Santos.

2º. Vocal: Dr. Pablo Álvarez Watkins

Lugar donde se realizo la tesis: México, Distrito Federal

TUTOR DE TESIS

Ing. Augusto Sánchez Cifuentes

FIRMA

Índice	Pág.
1. Agradecimiento, y dedicatoria.	v
<i>A Dios sobre todas las cosas, Sus Divinas Advocaciones, Honorables Nombres</i>	vii
<i>¡Bondad de bondades Eterna!</i>	viii
2. Abstracts	xii
Introducción	1
Objetivos del estudio	1
Optimización	1
A. Sistemas de Generación ciclo combinado CC, Gasificación IGCC	2
B. Evaluación “aislada” <stand alone> y de manera global	3
C. Disponibilidad de combustibles Limpios	3
D. Uso de “residuales” para gasificación	3
E. Refinerías de petróleo crudo con disponibilidad de “residuales”	4
F. Sustentabilidad.	5
G. Control climático.	6
H. Premisas para el “estudio de optimización”.	8
I. Protocolo:	10
Optimización Generación Energía eléctrica en la industria	10
I.1 Balance de masa y energía.	10
I.1.1 Balance de masa	10
I.1.1.1. Balance Estequiométrico de Reacción de Combustión	10
I.1.1.2. Masa teórica combustible	11
I.1.1.3. Masa real de combustible.	11
I.1.1.4. Masa Aire de combustión	11
I.1.1.5. Eficiencia Termodinámica	11
I.1.1.6. Masa de Agua	11
I.2. Balance de Energía.	12
I.2.1. Capacidad de Consumo combustible RV, GN, Coque	12
I.2.2. Potencia servicios propios.	12
I.2.3. Ahorro de consumo de energía	13
I.3. Modelo teórico de cálculo	13
I. 4. Análisis de Factibilidad Económica Financiera:	13
I.4.1. Balance Económico.	14
I.4.2. Balance Financiero de Factibilidad	14
I.4.3 Método de flujo de Efectivo.	14
I.4.3.1. Tasa Interna de Retorno (TIR)	14
I.4.3.2 Valor Presente Neto (VPN)	14
I.4.3.3. Pagos Uniformes (Anualidades) en función VPN	14
I.5. Precios.	15
I.5.1. precios de combustibles	15
I.5.2 Precios de Servicios	15
I.6. Inversión de Capital.	15
I.7. Costos fijos.	15
I.8. Costos Variables.	15

II.1. Cogeneración Energía y Vapor en la Industria Petrolera.	16
II.1.1. Diagnostico Situación Actual.	16
II.1.2. Antecedentes.	17
II.1.3. Inversión de Capital	17
II.1.4. Beneficios para Pemex por aplicación sistema de Cogeneración	17
II.1.5. Beneficios del Proyecto de Cogeneración.	20
II.1.6. Análisis de Factibilidad	22
Cuadros del capítulo (ver índice de figuras y cuadros tesis)	23
II.1. 7. Conclusiones del Capítulo	34
II.2. Cogeneración Vapor y Potencia en Nueva Refinería.	35
Objetivos del sub capítulo	35
II.2.1. Descripción Proyecto Refinería Bicentenario mas cogeneración (IGCC)	36
Opciones de proceso que se analizan:	37
II.2.2 Precios: del proyecto cogeneración con nueva Refinería	37
II.2.3. Premisas para el proyecto:	37
II.2.4. Balance Económico en función del proceso de refinación	37
II.2.5. Determinación de consumo de vapor de proceso	37
II.2.6. Balance Refinería y, balance coquizadora, producción destilados y coque	38
II.2.7. Factibilidad financiera para determinación de viabilidad del Proyecto:	40
II.2.8. Viabilidad financiera Refinería aislada; por si sola o (“stand alone”)	40
II.2.9. Viabilidad financiera Refinería agregada a cogeneración (IGCC):	40
II.2.10. Cogeneración energía y vapor proceso IGCC Coque y Residuo Vacío	40
II.2.11. Balance de materia y energía	40
Ciclo combinado /CC), Ciclo Brayton, Ciclo Rankine	41
II.2.12. Balance Económico	42
II.2.13. Insumos	42
II.2.14.. Productos	42
II.2.15. Beneficio o Ganancia Bruta	43
II.2.16. Análisis de Factibilidad Financiera.	43
Cuadros del capítulo (ver índice de cuadros)	44
II.2.17. Conclusiones del capítulo	54
III. Cogeneración Vapor y Potencia en Refinería Salamanca.	55
III.1. Análisis de Viabilidad de Cogeneración En Refinería Salamanca	55
III.2. Esquema de Proceso cogeneración Refinería Salamanca Caso Base	56
III.2.1 Incremento de Proceso + Cogeneración con Coque. Alternativa 1	57
III.3. . Cogeneración IGCC con Residuales. Alternativa 2	58
Figuras del capítulo (ver índice de figuras)	
III.4.. Cogeneración con IGCC con Coque	61
III.5. Balance Económico Nueva Refinería.	63
III.5.1. Calculo de TIR en varias opciones	63
III.5.2. Cálculo de VPN en varias opciones.	63
Cuadros del capítulo (ver índice de cuadros)	64
III.6. Conclusiones del capítulo	70
IV. Terminal de Gas Natural Líquido (GNL) de CFE	71

Resumen Introdutorio del capitulo	71
<i>IV.1. Introducción General:</i>	72
<i>IV.1.1 Precios</i>	73
<i>IV.1.2 Precio de Equilibrio:</i>	73
<i>IV.2. Análisis de pre-factibilidad “agregada”:</i>	74
<i>IV.2.1 Costo (Precio) del gas “producido del GNL</i>	75
<i>IV.3. Alcance de proyectos:</i>	75
<i>IV.4. . Consideraciones Económicas</i>	75
<i>IV.4.1. Costo de Equilibrio:</i>	75
<i>IV.4.2. “Costo del GNL”:</i>	76
<i>IV.4.3. Costo de equilibrio del GN “producido” del GNL</i>	76
<i>IV.4.4. Análisis de Sensibilidad del costo del GN “producido”:</i>	76
<i>IV.4.5 Análisis de Sensibilidad del costo de equilibrio del MW:</i>	77
<i>Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Neto (VPN)</i>	77
<i>Cuadros del capitulo (ver índice de cuadros)</i>	78
<i>IV.5. Sinergia Terminal Gas Natural Líquido y Repotenciación CT Manzanillo.:</i>	86
<i>IV.6. Proceso de regasificación de Gas Natural Líquido (GNL)</i>	86
<i>IV.6.1. Optimización de Los Vaporizadores del GNL (ORV</i>	87
<i>IV.6.2. Vaporizador de "gas natural líquido" (GNL:)</i>	88
<i>IV.6.3. Vaporizadores de combustión sumergida</i>	88
<i>IV.6.4. Estándares Internacionales:</i>	88
<i>IV.6.5. Metodología de Cálculo:</i>	89
<i>IV.6.6. Transferencia de Calor:</i>	90
<i>IV.6.7. Predicción de Funcionamiento:</i>	91
<i>Transferencia calor Evaporador Cuadros capitulo (ver índice cuadros)</i>	93
<i>IV.7. Conclusiones del capitulo IV</i>	95
<i>V. Repotenciación Occidente en CFE</i>	96
<i>V. Resumen Introdutorio Proyecto Repotenciación Occidente</i>	97
<i>V.1. V.1 Análisis de viabilidad del proyecto Repotenciación Occidente.</i>	97
<i>V.2. Evaluación proyectos que integran la Repotenciación Occidente.</i>	97
<i>Cálculo de TIR y, VPN. Cuadros del capitulo (ver índice de cuadros)</i>	99
<i>V.3 Conclusiones del capitulo</i>	103
<i>VI. Generación de Potencia Convencional con Lavado gases calderas</i>	104
<i>Resumen Introdutorio del capitulo</i>	105
<i>VI.1.Introducción capitulo</i>	106
<i>VI.2. Viabilidad Técnica General del proyecto</i>	
<i>VI.3. Evaluación Económica Sistema Neutralización Gases Ácidos</i>	110
<i>Cálculo de TIR, y, VPN</i>	
<i>VI.4. Análisis de los dibujos del tecnólogo.</i>	120
<i>VII.1. Sustentabilidad.</i>	123
<i>VII.2. Control Cambio Climático</i>	141
<i>VII.2.1 Conclusiones del capítulo</i>	145
<i>VIII. Comparación opciones generación energía diversos esquemas.</i>	146

VIII.1. Objetivos que se cumplen:	146
Cuadros y figuras del capítulo (ver índice de figuras y cuadros)	
1.- Optimización de los esquemas de generación de electricidad	151
2.- Solución al problema de “fondo de barril”	151
3. Disminución de “emisiones contaminantes a la atmósfera”	152
VIII.2.2. Resumen Análisis de Sensibilidad de casos estudiados	152
IX. Conclusiones del Estudio Optimización generación de energía ...	153
Índice de Figuras.	156
Índice de Cuadros	157
Bibliografía	I
Anexos	
	a -
A- 1 Definiciones	dd
A-2 Prospectivas Sector Energético 2003 2012, 2004-2013	
A.-2.1Industria del Petróleo <<PEMEX>>	-1-
	-
A-2.2 Industria Eléctrica << CFE>>	12-
A-3. Marco Jurídico:	
A-3.1 Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica GSPEE	
A-3.2 Ley General Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (LGEEPA).	
Requisitos cumplimiento:	
Capítulo II Articulados 4º, y 5º,	
Estudios, MIA	
Artículo segundo: Autorización Diagrama. Proceso	
Art. 17 R. LGEEPA	
Regulaciones ambientales internacionales EPA, OSHA	
Sistemas de neutralización de gases ácidos <“lavado de gases”>	
Tecnologías FGD	
Apéndices	
Apéndice 1. Agradecimiento Familia y Amigos	

Agradecimiento:

A Dios sobre todas las cosas, a Sus Honorables Nombres, Divinas Advocaciones.

¡¡Bondad de bondades Eterna!! surge al explorar los conceptos universales, que se desagregan para estructurar este estudio. De inicio, su inexplicable acomodo en el que se encuentran actúan y complementan que; como impronta, despierta mi necesidad de hacerlo con enfoque fideista al apreciar en ellos la Bondad del ¡Responsable de las perfecciones maravillas existentes en el universo conocido!; donde se encuentran todas las cosas por Él Creadas; de las que centro mi interés en sus propiedades específicas, agregadas en Natura; donde emergen según el uso que se busca de ellas; Si este argumento lo refiero bajo los términos de la Propiedad de la Materia; de la que, Henry Poncaire declaró: “los descubrimientos científicos que el hombre hace, solo amplían las fronteras de su conocimiento de ésta”; pero no la rebasa, resultándole el límite natural que le está negado rebasar; solo puede conocerla y usarla; pero no conferirla; la cual es bis a bis con la Ley Natural, el principio causal con que cada cosa funciona, significando “la forma inexorable como la cosa funciona, conocida por sus efectos, conforme se les identifica en la naturaleza. El argumento anterior, se vislumbró al inicio de éste estudio de optimización de generación de energía, para conversión de energía primaria en energía secundaria que al llevar a cabo la optimización se precisó el uso de propiedades específicas de las sustancias de trabajo; apreciándose la medular relevancia del concepto, que se emplea como “propiedades específicas” cuyos valores determinan el comportamiento termodinámico de cada ciclo en cuestión. Es la cualidad de la cosa que, el hombre ha conocido empíricamente empleando conceptos convencionales entre ellos las unidades de medida, experimentos y pruebas de laboratorio en medición del comportamiento investigado para su uso intencional. Derivado de la estadística, de la aplicación, y reproducibilidad; de valores “post hoc, se ha llamado “propiedad específica” de cada cosa y para cada empleo utilitario obtenido de ellas. En brevísimo recuento a las cosas de La Creación, cito, por su utilidad en esto, en primera instancia las “propiedades termodinámicas” de sustancias de trabajo; la tabla periódica de elementos, cuyo modelo, nos muestra que no falta elemento químico alguno en la naturaleza conocida. Y, como epítome de ejemplos de propiedad de la materia tenemos al agua, sustancia de trabajo, que teniendo en cuenta los “gases raros” y los hidrocarburos ligeros (C1,C2,C3,C4), dado su peso molecular 18.u.m.a, el agua, debiera ser un gas, sin embargo es un líquido a condiciones atmosféricas. Lo cual se explica al saber que, la molécula de agua de manera inexorable; forma

“puente de hidrógeno” e igual “puente de oxígeno” produciendo “polímeros” que la hacen líquida. Esa propiedad hace que el agua se constituya como el “líquido vital”, que se encuentra hasta en 80% en la masa crítica de todos los seres vivos, permitiendo así la vida misma, al mismo tiempo esa cualidad funciona como solvente de sales inorgánicas formando los electrolitos que permiten todos los procesos fisiológicos vitales en todos los seres vivos. Y, aun más, la bondad del Creador permite el uso de la electricidad; ya que, no se conoce bien la naturaleza de la electricidad que, no es flujo de electrones sino flujo de carga movida por una fuerza que hace el trabajo eléctrico conocido como tensión. De ser flujo de electrones la electricidad, sería necesario que éstos, fuesen producidos en el generador de energía, significando creación de materia, que es imposible. En aclaración de esa imposibilidad: al fluir los electrones, las nubes electrónicas de los átomos del conductor los rechazarían por ser del mismo signo, en lugar de conducirlos. Igual, la masa relativizada del electrón, aumenta a 1.66 veces por su velocidad de 240,000Km/seg. (0.8C); fenómeno que algunos entendidos, aceptan que ya no sería electrón sino otra cosa. Empero, “cargas eléctricas no electrones”; con los principios de la electrotecnia, ¡por gracia!, permite su manejo, aun sin conocer su naturaleza.

Podrían desagregarse sinnúmero de ejemplos de propiedad de la materia (PM); baste afirmar que es la bondad conferida por el Creador para que las cosas sean y funcionen como lo hacen para confort y seguridad de los seres vivos incluido el hombre. Al final, la estadística de valores de sustancias de trabajo; han permitido la certeza de su empleo para éste estudio de investigación aplicada de tecnología. Valga la expresión lo antes desagregado, constituye prueba plena termodinámica fideista de la Bondad de Bondades Eterna, del Divino Creador.

Válgaseme la irreverencia hacia la “ciencia oficial”; pero, nada raro sería para mí que “dado el ejercicio “creador matemático”” las hiperesferas tetradimensionales de la continuidad topológica concebida por matemáticos universales del siglo XIX se tratase de “continuidad de las variedades” de las Esferas “separadas” Divina, Humana e Inferior, concebidas en ese dominio como “otros universos” revelados en la profunda abstracción matemática y sus conjeturas reveladas por serendipia del tropiezo con algunos números; cito con El Señor Pitágoras la ¡unidad! Es la base del Universo, en La Creación ¡¡Bondad de Bondades Eterna!!.

Agradecimiento y Dedicatoria entrañable a mis amados Padres:

Quienes juntos nos dieron sin igual ejemplo de conducta para la vida. Mi Padre, *Fortino Bárcena Santillán Hijo de Valente Bárcena y Petra Santillán;*, mi madre *Josefina López Vargas hija de Delfina Vargas y José López (Hijo de Concepción González “Conchita”).* A quienes Dios permitió que sean la fuerza de mi vida. Mi Padre estableció las costumbres de la familia. Como hábil Carpintero, al igual que a mis hermanos, labró y barnizó mi madera; él no solo construyó el porvenir alimentario, y educacional de sus hijos sino los valores morales patrimonio de nuestra vida. En semejante forma mi Madre, criada por “Conchita” de ella heredó sus habilidades culinarias que, forjaron alimentaron en modo exquisito nuestra vida y costumbres, en disciplinadas formas, día a día. Mis padres al unísono formaron un modelo de pareja; sin expresión de diferencias ante sus hijos.

A mis Hermanos

Raymundo, Blanca Rosa, Raúl, Manuel, Crescencio, Consuelo, María Luisa, Silvia, y Yolanda; que juntos al reflejo de nuestros Padres han sido y son fortaleza de mi vida que, en conjunto formamos verdadera Familia. A todos por igual, agradezco y dedico este trabajo por su callada ayuda que marco mi vida

Raymundo, con Micaela son padres de Luís Raymundo, Raúl Miguel, Roberto José, Rogelio Arturo, y Rubí Michel cinco amados hijos y, amables sobrinos. Al Momento Raúl Miguel con Rosaura procrearon a Rafael, Gabriel y Uriel....

Raúl con Francis, en Culiacán, Sin., son padres de Rocío, Raúl, y Nancy sus amados hijos agradables sobrinos convertidos en profesionales de la contaduría y, el derecho. Rocío con Cesar A. crearon Cesar y Gabrielito pronto voló al cielo. Nancy con Luís Alberto procrearon a Luís Raúl y a José como mi abuelo.

Blanca Rosa “Pody” profesión contable, al partir mi Padre, eligió ser la compañía de mi madre en la labor hogareña aprendiendo de ella, lo que le adorna al momento de la preparación de platillos exquisitos “al mero estilo de mi mamá”: Mole “Mancha mantel” con frutas, “Mole Poblano al estilo tradicional, Mole verde Pierna al horno salada con adobo y, Pierna dulce con frutas. Tamales de hoja de maíz, “Tortas de carne, papa, pollo”; “Chiles rellenos poblanos o cuaresmeños”, “chalupas y pambazos al mero estilo tradicional .Al igual Chelo las prepara con mayor frecuencia. Así, todo tipo de sopas de pasta y arroz blanco o “rojo”. El bacalao estilo tradicional lo prepara mi Quid con la “receta de mi mamá” cuyo consumo con vino resulta “bocatto delicatesen”, valga la expresión mezclada. Los pastes y albondigón al horno han sido parte de su propio cuño.

Manuel y, Crescencio (“Chenchano”): entre gracia y vida a temprana Hora volaron a la Vida Celestial dejando enorme hueco en mis padres que en mi Madre nunca cicatrizó. Su llanto perduro por sus ausentes hijos hasta su final que “El altísimo le compenso a Ella en su regreso al Espíritu adornándole su brazo en que carga a uno de ellos, el otro volvió a nacer haciendo la felicidad de otra familia.

Ana Consuelo: Chelo gran entrega a los doce años, fue sostén económico familiar ¡su gran merito!. Contemplación del cielo en deleite embelezo en busca de Dios, su mayor satisfacción. Chelo con Manuel Santos vive feliz matrimonio.

María Luisa: “Mariposa” epíteto recibido al mas Alto Nivel. Su formación contador la llevó a laborar en varias empresas, su belleza “ábrete sésamo” en sus mejores momentos de juventud, el baile, las fiestas, reuniones que tanto amó.

Silvia con Antonio procrearon a Patricia quien con denuedo en el estudio aspira a convertirse en maestra en “químico farmacéutica” que estudia en Montreal Canada y, posiblemente doctorarse en lo mismo. Ella es el orgullo de ambos.

Yola: “Campanita epíteto recibido desde el más Alto Linaje al igual labora en lo secretarial en varias dependencias oficiales. Grandes habilidades de diseño y decoración asiduidad gratuita adorna su persona cosa grave en La Navidad.

A mi Esposa

Sarasvati Magdalena Rosa mi Quid; cuya suavidad y docilidad en el trato, no revela ni menoscaba su disciplinada conducta en la vida y en el hogar constituye el fortín de nuestro núcleo y, de otros más. Formada como contador administrador se refleja en el cuidado del patrimonio del hogar, que el trabajo nos ha permitido. Ella es ¡¡La Puerta!! donde entran y salen inefables expresiones espirituales de Advocaciones de Dios Niño y Su Divina Madre: Al igual que las Magistrales de Avatar Adulto; cuya interminable relato ocuparía varios volúmenes de verdadero escriba ...

A mi hijo Ángel Israel por sus logros personales son grandes satisfacciones filiales que nos ha brindado. Por su empeño y buena conducta en la vida; él ha logrado avanzar como abogado a insospechados vuelos, mas lo que le espera, desde la plataforma en que está y, gracia, protección que goza. Es un hecho que pronto iniciará su etapa como padre de familia procreando “israelitas” al gusto.

Mi Hija Brenda su sorprendente elección de estudiar ingeniería química; pero mayor aun, es su ferviente dedicación a Dios; al estudio de la Biblia en general y su practica de la religión es intensa. Por su parte su dedicación disciplinada, le ha permitido a su vez alcanzar pleno desarrollo creyente, humano. Ella con la gracia de voz de “soprano coloratura” alegremente hace sus repiqueteos que le ofrece Al Altísimo en el coro de la “iglesia”, casi todos los domingos y días de festividad religiosa.

En lo profesional, recién iniciará su carrera como ingeniero químico en lo que busca tanto emplearse en la ingeniería de proyecto, el área de finanzas o mejor aun en la protección ambiental. Sus estudios los hizo en la Facultad de Química de la UNAM con buenos resultados en promedio sin llegar a lo excelente. De manera incidental por las peripecias del estudio se “especializó” un tanto en la área de matemáticas y; por su preferencia en el dominio ambiental sustentable.

En lo personal Brenda, tiene gran relación con sus primas del lado materno; entre sus planes, a sus 26 años, no esta el matrimoniarse en el corto plazo. Gusta de manera intensa el cuidado de sus mascotas que ha tenido de manera normal un perrito, dos o tres gatos y de forma incidental un colibrí

A mis Maestros de la vida escolar y profesional:

En especial a los ingenieros: Carlos Escurdia y Vertiz, y Jesús Cruz Wilson. Que en términos epicúreos, en ambos, su imitable labor magisterial y profesional son acabado modelo, cuya influencia, orienta mi vida profesional laboral y personal;

El ingeniero Carlos Escurdia y Vertiz maestro de: matemáticas de la Vocacional Única, Escuela de Estudios Técnicos No,15 Pachuca, Hgo. Por su disciplina forjó durante más de cuarenta años, generaciones de estudiantes de ingeniería, en su clase “solo se escuchaba el ruido del gis. Por esa ardua labor el Maestro Escurdia en mi opinión” merece que las nuevas generaciones sepan de él ...

El ingeniero Jesús Cruz Wilson cuya preparación académica alcanzó niveles de erudición en varios dominios. Fue él, foco de enseñanza fortuita de múltiples ingenieros de todas las especialidades proyectado en ingeniería dee proceso, e dirección de proyecto, en la subdirección de Proyectos y Construcción de Obras (de Pemex. J, Cruz Wilson es ejemplo personal y profesional por su sencilla y honesta manera de ser. Detallo de sus hazañas profesionales en Apéndice Uno.

Por igual agradezco todo lo aprendido de mis maestros y compañeros de estudio en todos los niveles recorridos desde la escuela primaria hasta el nivel de maestría en Sistemas de Energía MSE FI UNAM. Y, por lo aprendido de todos mis compañeros de trabajo, quienes en sus diferentes trincheras han contribuido a mi desarrollo y desempeño laboral.

La Familia Vega Arellano: Toño y Celina quienes forman amoroso sólido matrimonio del que fructificaron cuatro nobles hijos: Antonio, Juan, Luís, y Carlos; quienes nos honran con su amistad que trasciende hasta sus amadas esposas e hijos, quienes nos miran como familiares; Su apoyo ¡es invaluable!

A mis amigos:

Nestor Arteaga Montiel, amigo desde la infancia. Practicó bien todo deporte; al jugar tenis no pudo contestar un revés perdiendo el punto y, la Vida”. Sócrates López Flores: como en la amistad, su callada labor personal; cumplido puntual es eficiente profesional de la ingeniería química, le identifica y adorna. Manuel Hidalgo Manzano amigo, compañero de estudios; muchas vivencias hubo en nuestra amistad. Ahora él, es padre de 2 amados hijos con Sonia Y.

En igual atención menciono otros amigos: BBO, SGV, SCC, SDL, JECC, HMC; JAMR VTT, MAGG, LANA, JLLC, JBFL, SPE, VAB, AELS, JAGB, MHS; detallo en Apéndice 1.

Excelsos Maestros Amigos cuyos Protagonistas Epopéyicos siempre esperan que llegue a consultar y reflexionar las Enseñanzas de sus crípticos simbólicos contenidos. Dictados en El Ramayana, Bahavad Gita, Los Evangelios, Eclesiastés, Cantar de los Cantares, El Apocalipsis; en una Palabra La Biblia; Los Vedas, Zend Avesta, Dhama Phada, El Libro de Los Muertos, El Tao Te King, El Popol Vuh, Al igual, la relectura disfrute de J. El Hijo del Hombre, Grandes Iniciados, El Quijote, La Divina Comedia, La Iliada, La Odisea, El Principito, Así Hablaba Saratustra, El Tercer Ojo, El Retorno de Los Brujos; ingeniosos autores me producen reflexión, al igual que otros más que, me acompañan ...

Agradecimiento: mención aparte hago a los anteriores y actuales funcionarios de la Coordinación de Proyectos Termoeléctricos perteneciente a la Subdirección Proyectos y Construcción en la DPIF de la Comisión Federal de Electricidad por las facilidades otorgadas, su incondicional apoyo y, confianza para el logro de los estudios de Maestría en Sistemas de Energía de la Facultad de Ingeniería de la UNAM; a cuyos maestros, extendiendo este especial reconocimiento.

Abstracts

Inside the panorama of the known plans to global level for the optimum conversion of primary energy of fossil fuels, in secondary energy; the employment of resources of non-renewable energy, obliges to focus their consequence on the conventional political concepts "sustainability" and "climatic change" that tends to think about circumstances that center the interest for decision of optimum generation of secondary energy leaving from by-products of the petroleum that by consequence they imply the definition of the optimum process to transform the residue of the traditional refining of crude oil considering the possible solution to the operational problem of crude oil refining processes that is the "barrel bottom" in the obtaining of the optimum yield performance of products. Regarding the power generation with different cycle pattern like traditional open cycle, combined cycle and cogeneration cycle (IGCC); employing fossil fuels that impact equally to the sustainability in their ecological dimension, as to the climatic change by the production of carbon dioxide CO₂, oxides of sulfur (SO_x) and of oxides of nitrogen (NO_x) that contribute to the phenomenon of the "greenhouse effect." Therefore, in function of the prospective tendency of its consumption in the last decade and of conformity to that rhythm, reflects an average of 63 years for the "raw". And of 75 years for the natural gas to global level; of the time of reserve of those energy. Which is critical in the function with the consumption of the world's average of crude oil, and also given the current capacity of eighty million barrels per day; which is processed in more than 650 refineries in the world, and of the consumption of natural gas of more than sixty billion standard cubic feet per day. Consumption that causes the time of reserve to be one of the main motives to justify the interest of the elaboration of the present study of technological options applied for the optimization of the known plans of the generation of power for their application inside the national context; analysis that by have not specific algorithm that relate to the variables of process, operation, consumption, and costs for the generation of electricity. Because of it, employing premises of the deductive inductive methods and of the "heuristic syllogism" whose inferences, analogies, indices and costs of technology applied, they carry to a solution "not subjective," "final" and "self-sufficient," in which the decision of economic viability of the options analyzed has done itself employing the financial method of "discounted cash flow" <flow of granted cash> in the decision of the "internal rate of return" and of the "net present value" doing the comparison among the values obtained for the different technologies involved.

Abstracts

Dentro del panorama de los esquemas conocidos a nivel global para la conversión óptima de energía primaria de combustibles fósiles, en energía secundaria; el empleo de recursos de energía no renovable, obliga a enfocar su consecuencia sobre los conceptos político convencionales “sustentabilidad” y “cambio climático” que lleva a pensar en circunstancias que centran el interés para determinación de generación óptima de energía secundaria partiendo de derivados del petróleo que por ende implican la definición del proceso óptimo para transformar el residuo de la refinación tradicional de crudo considerando la posible solución al problema operacional de procesos de refinación de crudo que es el “fondo de barril” en la obtención del rendimiento óptimo de productos. En cuanto, la generación de potencia eléctrica tanto con ciclo abierto tradicional, ciclo combinado y cogeneración; empleando combustibles fósiles que impactan por igual a la sustentabilidad en su dimensión ecológica, como al cambio climático por la producción de bióxido de carbono CO₂, óxidos de azufre (SO_x) y de óxidos de nitrógeno (NO_x) que contribuyen al fenómeno de “efecto invernadero”. Por lo tanto, en función de la tendencia prospectiva de su consumo en la última década y de conformidad a ese ritmo, refleja un promedio de 63 años para el “crudo” . Y de 75 años para el gas natural a nivel global; del tiempo de reserva de esos energéticos. Lo cual es crítico en función del consumo mundial promedio, dada la capacidad actual de ochenta millones de barriles por día; procesados en más de 650 refinerías en el mundo y del consumo de gas natural de más de sesenta mil millones de pies cúbicos estándar por día. Consumo que ocasiona que el tiempo de reserva sea uno de los principales motivos para justificar el interés de la elaboración del presente estudio de opciones tecnológica aplicada para la optimización de los esquemas conocidos de la generación de potencia para su aplicación dentro del contexto nacional; análisis que por no disponerse de algoritmo específico que relacione las variables de proceso, operación, consumos, y costos para generación de electricidad. Por ello, empleando premisas de los métodos inductivo deductivo y del “silogismo heurístico” cuyas inferencias, analogías, índices y costos de tecnología aplicada, llevan a una solución “no subjetiva”, “definitiva” y “auto suficiente”, en la que la determinación de viabilidad económica de las opciones analizadas se ha hecho empleando el método financiero de “flujo de efectivo descontado” en la determinación de la “tasa interna de retorno” y del “valor presente neto” haciendo la comparación entre los valores obtenidos para las distintas tecnologías involucradas.

Introducción:

Objetivos del Estudio:

En el considerando que un objetivo debe ser: claro, real, flexible, medible, coherente y motivante; criterios que rigen el estudio de optimización de generación de energía que igual cumpla cualidades como: liderazgo, oportunidad, garantía de suministro, servicio a cliente, financiable, competitivo, y sustentable; que cual valores estratégicos se cumplen en el estudio:

1. Obtención de tasa viable de rendimiento TIR de Optimización esquema gasificación (IGCC) en Central Termoeléctrica para cogeneración de energía y vapor; mayor que LIBOR.
2. Sustitución del uso de combustóleo; con aprovechamiento de los residuales para solución del problema de “fondo de barril” en refinerías del petróleo en sinergia al “objetivo No.1”.
3. Optimización sinergia de nueva refinería de crudo y cogeneración por gasificación IGCC con residuales en términos de mayor tasa de descuento (TIR) y valor agregado (VPN), después de amortización de capital.
- 4 Obtención de “precio competitivo” de gas natural producido de su líquido (GNL) en términos de aceptable TIR para Justificar la inversión de Terminal Criogénica de “gas natural líquido”.
5. Disminución de “emisiones contaminantes a la atmósfera”:
Reducción de emisiones atmosféricas de SO_x, y NO_x que produce mejoría ambiental, que afecta a la Sustentabilidad y al Cambio Climático”; en sinergia de producción de PEMEX y CFE.
6. Contribución a la sustentabilidad y al control del cambio climático.

En el ámbito nacional de generación de energía eléctrica y, dadas las tendencias de “aumento de precios de combustibles” así como “agotamiento de recursos no renovables”, se hace un estudio de investigación aplicada para *“Optimización de generación de energía en los esquemas cogeneración, ciclo combinado, y ciclo convencional con “lavado de gases”; con empleo de combustibles fósiles; en contribución a la sustentabilidad y el control climático”*; para transformación de energía primaria en energía secundaria limpia empleando tecnología de esquemas de procesos convencionales que, en búsqueda de su optimización por separado o de la combinación de ellos, fundamente la toma de decisión, para su elección económica y; sea además, amigablemente ambiental que contribuya a la sustentabilidad y el control del “cambio climático”. La información que se usa para esta “investigación aplicada”; se emplean datos de proyectos reales, unos, en su fase de planeación y, otros, en plena construcción.

El concepto optimización entre otras definiciones se entiende como la búsqueda de esquemas de operación que ofrezca no solo los mejores frutos de un proceso sino resuelva, a la vez, sus problemas operacionales, en términos de las combinaciones de esquemas proceso que lleven a la toma de decisión de una opción por medio de estudios de factibilidad económica, que no solo se hace en forma aislada en el ejercicio simple de la evaluación de costos financieros de inversión de capital y, costos de operación del proyecto. Sino que, mejor aun, sea la recomendación para “toma de decisión”, con base, en análisis de factibilidad con el nuevo activo integrado en la cadena de producción, cuidando que su entrada en operación, produzca ¡creación de valor!, mayor en referencia de otras opciones que se evalúan dentro del estudio para los proyectos reales que a continuación se describen.

A. Análisis de Sistemas Generación Energía: Cogeneración con Residuales (coque del petróleo<Pet-coque> y/o residuo de vacío) con “gas de síntesis” proceso IGCC integrado a nueva refinería de petróleo, Ciclo combinado (CC) con gas natural “producido” de gas natural líquido (GNL) de nueva terminal criogénica

Por lo anticipado podemos desagregar en este estudio de “optimización” de un activo de generación de energía eléctrica y vapor de agua conocido como “ciclo combinado”(CC), “gasificación integrada a ciclo combinado” (IGCC) para “cogeneración” de potencia y vapor de “exportación”, “ciclo rankine convencional con lavado gases de chimenea, los cuales podrán ser integrados al panorama energético nacional”, por lo que, se evalúa su producción de manera integrada en el centro de trabajo, considerando las condiciones operacionales que el nuevo recurso de producción entraña dentro del sitio y su efecto en el panorama nacional. Definiendo sí el nuevo recurso complementa o sustituye recursos de producción existentes, y de que manera lo hace, es decir, la manera en que mejora el esquema actual respecto del escenario futuro con los nuevos activos.

Bajo tales proposiciones de optimización de “multiobjetivo”, debe hacerse la toma de decisión para elegir los nuevos recursos que vengán a optimizar la producción de energía eléctrica, y térmica, como ejemplo, vía la cogeneración entre las opciones de proceso mencionadas. Lo cual en este debido caso de estudio “la cogeneración” se

analiza para hacerse mediante la gasificación integrada a un ciclo combinado conocida por sus siglas en inglés como "IGCC" para lo cual puede emplearse directamente residuo de vacío, o coque del petróleo conocido como "petcoque" en el mercado de combustibles.

B. Evaluación "aislada" <stand alone> y de manera global

Para llevar a efecto el estudio se evalúan inicialmente de "manera aislada" <"stand alone"> los nuevos recursos de producción, para luego articularlos a los recursos existentes ó varios de ellos entre sí, determinando, cual de las opciones trabaja mejor en términos de mayor valor creado, agregable a los recursos existentes de producción tanto para destilados como para energía. Por lo que, en primer término en el estudio, se analiza la disponibilidad de combustible dentro del panorama nacional en la industria petrolera, definido en función del balance del mercado "oferta/demanda" de destilados. El sitio probable, donde puede integrarse el nuevo recurso considerando la infraestructura actual, así como la integración de producción de electricidad a la red nacional de transmisión, y distribución eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad quien resulta ser el receptor o usuario de esa energía secundaria para ser llevada al consumidor final. Entre los conceptos principales que se identifican con proyectos reales de esta investigación aplicada que, unos están en la fase de planeación, y otros en plena construcción; los cuales son evaluados en este estudio de conformidad a los conceptos que aquí descritos:

C. Disponibilidad de combustibles Limpios

Disponibilidad de combustibles fósiles para la optimización energética, definida en función de ¿Cual es la oferta/demanda de combustibles en consideración a las formas convencionales de generación de energía?, y al uso de combustibles no contaminantes, bajo la observancia de premisas de sustentabilidad y mejoramiento ambiental, de conformidad a:

¿Cuáles combustibles Limpios hay disponibles? En términos del balance de oferta/demanda y, su precio en el mercado nacional, analizando la conveniencia de emplear GN mediante la red general de gas natural que produce Pemex y/o emplear Gas Natural producido (de su líquido) a partir del "Gas Natural Líquido GNL, de importación, en Terminal Crigénica nueva.

D. Uso de "residuales" para gasificación

Uso de Residuales para eliminación de producción de combustóleo que, por su baja demanda local y nacional, obstruye la producción de destilados en las refinerías "ahogándolas en COPE", calificativo operacional, con el que se conoce a ese fenómeno de baja demanda del producto que, además por su contenido de azufre resulta contaminante.

Sustitución de combustible limpio, gas natural, como una de las opciones más limpias; pero más caras dado el precio del energético primario en U.S. dólares por millón de BTU, y su limitada disponibilidad respecto del combustóleo, combustible del que se

aprovecha “el residual” liberando el diluyente de mayor valor comercial que por esta “disponibilidad fortuita” crea valor agregado a la cadena de producción de combustibles.

E. Refinerías de petróleo crudo con disponibilidad de “residuales”

1. Definición del sitio para instalación del nuevo activo de cogeneración en función del balance de “oferta/demanda” y de la infraestructura actual.
2. ¿Cuáles son las refinerías de petróleo con disponibilidad de residuales?
3. ¿Cuál es la refinería con mayores posibilidades de integración del activo a corto, o mediano plazo?,
4. ¿Cuáles son las refinerías con disponibilidad de petcoque?.

Para llevar a efecto este estudio de factibilidad de las opciones desagregadas, se debe establecer el protocolo de análisis por medio de una regularidad necesaria y la coherencia para establecer las condiciones de evaluación integrada mediante la planeación de estudio de las opciones que se evalúan de manera sistemática, y metodológica, con objeto de que la repetitibilidad del ejercicio garantice congruencia en los resultados del estudio de “optimización del esquema de generación de potencia en México, en uso de combustibles fósiles, y reducción emisiones contaminantes en los “ciclos convencionales”, antes desagregados; estudio en el que se revisen la combinación de varias opciones identificadas con proyectos reales, que nos lleven a la optimización no solo del nuevo activo de manera aislada <stand alone>, sino de su optimización de manera global e integrada en el marco energético nacional, con lo que se contribuya a “la destrucción” de COPE dentro del marco de la optimización del tratamiento del “fondo de barril”.

Disponibilidad de combustibles Fósiles en la industria petrolera:

En primer término se hace el “Diagnóstico de Capacidad de Cogeneración en Organismos de Petróleos Mexicanos en función de la capacidad de producción, y del balance de consumo de vapor y energía eléctrica en “complejos gaseros”, “complejos petroquímicos” y “refinerías de petróleo” reflejada por la capacidad instalada de esos servicios; teniendo su demanda como premisa para solucionar el problema del “fondo de barril” cuyo objetivo es resolver la disminución del consumo de combustibles en el mercado nacional, en función del balance oferta/demanda de derivados del petróleo que se hace dentro del marco del balance nacional de combustibles editado por Petróleos Mexicanos y, publicado por la Secretaría de Energía. En el que el balance “oferta /demanda” de combustibles como Gasolinas (Magna, y Premium) con déficit de más de 250,000 Barriles por día (BPD), destilados intermedios: Turbosina en exceso de 20,000 BPD, Diesel en balance, Querosina en exceso de 10,000BPD, y residuales como combustibles en exceso de más de 50,000 BPD, residuo de vacío, asfaltos, coque, residuo largo; al igual, otros productos como propileno con déficit, azufre en exceso; por lo que, el balance de venta de productos de la totalidad de los petrolíferos, sus déficits y excedentes, impactan los estados financieros de Petróleos Mexicanos, y Pemex Refinación, principalmente.

En cuanto el gas natural (GN) su tendencia es deficitaria en términos del balance , oferta contra demanda del combustible que, en la prospectiva para el energético de Pemex Gas y Petroquímica Básica, reflejada por la declinación natural de los yacimientos petrolíferos, cuyo deficit se ha acentuado por el crecimiento de demanda derivado del desarrollo del país, por lo que es necesario buscar el aprovechamiento de todos los productos del petróleo que, como el combustóleo tiende a disminuir su demanda por las restricciones ambientalistas impuestas por las medida dictadas por la autoridad. El cumplimiento del ordenamiento ha propiciado la reducción de la demanda de combustóleo, lo cual afecta la producción de las refinerías del petróleo conocido operacionalmente como “inundación de la refinería”. Del que el residuo de vacío empleado para formación del combustóleo constituye el problema conocido como “fondo de barril.

F. Sustentabilidad

La Sustenbalidad focaliza desde hace varias décadas la atención de su estudio en varias disciplinas como: antropología social, biología, geografía, sociología, e ingeniería en las que se intenta definir con precisión su significado. En este estudio se observan premisas relativas al concepto, “sustentable”.

En Juno de 1972, en la Conferencia de la ONU sobre el Medio Ambiente, llevada en Estocolmo Suecia, el tema de “la defensa del ambiente” fue uno de los tópicos importantes en las agendas políticas, propiciando la convicción: que se atravesaba una crisis ambiental mundial. De esa reunión los 103 estados miembros y más de 400 organizaciones gubernamentales reconocieron que el ambiente es fundamental para el desarrollo humano, dando inicio a programas para construir vías para enfrentar los problemas ambientales que mejoran el uso de recursos naturales en la generación presente y la futura. En ese enfoque, en 1987 la **Comisión** del Medio Ambiente de la ONU emitió el documento “**Nuestro futuro común**”, conocido como “**Informe Brundtland**” que considera la existencia de límites para desarrollo humano, Luego, en 1990, se precisó, que las políticas de los modelos de desarrollo en el mundo, deben adecuarse para que las generaciones futuras tengan una calidad de vida, al menos igual a la de las generaciones presentes”, a ese enfoque se denominó **Desarrollo Sustentable**.

El concepto sustentabilidad se funda en el estudio de los límites y potenciales de la naturaleza, así como la complejidad ambiental que inspira nueva comprensión del mundo a enfrentar desafíos de la humanidad en el tercer milenio. Tal concepción implica alianza “natura-cultura” para refundar la economía global reorientando los potenciales de la ciencia y la tecnología aplicada; construyendo nueva cultura política fundada en creencias, saberes y sentimientos; valores éticos de la sustentabilidad que, renueven el sentido existencial, el modo de vida y las formas de habitar el planeta Tierra.

La sustentabilidad es una forma de pensar en la que cultura y natura son inseparables; al igual, hace referencia a los seres humanos. La clave es mantener las condiciones planetarias favorables para desarrollo de la vida humana a nivel global. Ese objetivo precisa: “**equilibrio de las necesidades humanas con la capacidad de carga del planeta para proteger las generaciones futuras**”. Las actividades humanas deben mantenerse dentro de límites que no destruyan la biodiversidad, ni alteren el funcionamiento de los sistemas ecológicos que soportan la vida, en lo que, la

Comentario [SdC1]:

supervivencia de los seres humanos no es en sí misma el objetivo. La meta es “vivir una vida segura, sana y productiva en armonía con Natura, los valores culturales y espirituales”. Significa, buscar un camino hacia la igualdad entre individuos y comunidades, naciones y generaciones propiciando la distribución de la riqueza y acceso a recursos y oportunidades en aumento de la prosperidad de todos.

Energía, Impulso a la sustentabilidad: los gobiernos de los estados son los responsables sociales promotores del crecimiento económico; interacción global que dirige la transferencia de tecnologías a países en vías de desarrollo; ellos usan el “**Mecanismo Desarrollo Limpio**”, con el que las empresas del mundo desarrollado “intentan compensar sus emisiones” con “inversión solidaria” mediante proyectos “verdes” en países en desarrollo, abarcando programas de tecnologías sostenibles de alta eficiencia, como la hidráulica, la nuclear, la captura de CO₂ (CCS) de combustible fósiles.

"Sustentabilidad y Sustentable, términos referidos al aspecto superestructural de los sistemas, que propician la supervivencia y, persistencia, que hacen no solo factible la expansión espacio temporal del sistema. En lo contrario, el término Sostenibilidad hace referencia a lo endoestructural de los sistemas.

Hay “metáforas sustentables” del ámbito de Derechos Humanos; señalan, que no solo se deja inexplorada, sino que afecta a la humanidad misma; los seres humanos quedan como enemigos de sí mismos”, círculo vicioso donde “la salida” esta en el pensamiento humano. Se justifican los Derechos Humanos; sin exigir **Responsabilidad Humana** vía su conducta, involucrando al destino y la ética.”⁽¹⁾. Valga la metáfora “Quien no está preso de la necesidad, está preso del miedo”; unos no duermen por ansiedad de obtener las cosas que no tienen, y otros no lo consiguen por el pánico de perder las cosas que tienen. El mundo al revés, “espanta pájaros”que, entrena a ver al prójimo como amenaza y no como promesa, condenandonos a “morirnos de hambre, de miedo o aburrimiento”; “sí alguna bala perdida, antes nos abrevie la existencia”.⁽²⁾.

Debemos superar la inercia destructiva; reconsiderar nuestra visión del mundo, reestructurar sistemas de energía, gobierno, transporte y alimentación; así como generación, distribución y uso de recursos y servicios. El tiempo para modificar nuestros pensamientos y acciones a fin de evitar el colapso, es cada día más escaso. Frente a la insustentabilidad global, se hace necesario mirar de frente las consecuencias de nuestros pensamientos y acciones. Modificarlos para no llegar al punto crítico, donde no hay retorno.

G. Control Cambio Climático

El fenómeno del “calentamiento global” se considera producto de la alteración de la composición atmosférica debida a la mayor producción de bióxido de carbono y de otros óxidos contaminantes como el SO_x y el NO_x, los cuales son producidos por el consumo de combustibles fósiles, como, los derivados del petróleo crudo y del carbón mineral en sus diversas modalidades, con lo que se produce en primer término el “CO₂ fósil” que altera la producción de “CO₂ contemporáneo” producto de la respiración de la masa

¹ Jonas Hnas “Imperativos Viejos y Nuevos” La Etica de la Responsabilidad.

² Galeano Eduardo, *la escuela del mundo al reves* . .

crítica de seres vivos del mundo. Debido al aumento de la concentración de CO₂ atmosférico, se considera técnicamente que:

1. La presencia de mayor concentración de CO₂ atmosférico produce el fenómeno de efecto invernadero
2. Debido a que el CO₂ filtra los rayos ultravioleta de la luz solar, esa barrera impide el paso de rayos ultravioleta y, produce un mayor aislamiento térmico por la misma barrera pero de adentro hacia afuera de la atmósfera, que impide parte de la salida de radiación solar reflejada en la superficie terráquea, ocasionando calentamiento global .
3. La suma de los efectos antes descritos produce el “efecto invernadero” y contribuye al calentamiento global responsable del cambio climático

Así mismo, la presencia de los gases ácidos contaminantes en la atmósfera, producidos los primeros por la quema de combustibles que contienen azufre dan lugar al SO_x. Además la temperatura alta de combustión produce la ionización del nitrógeno atmosférico, efecto químico que da lugar a la formación de NO_x. Esos gases ácidos al precipitarse junto con el agua de lluvia producen el fenómeno conocido como “lluvia ácida”, lo cual al caer en el suelo y filtrarse al subsuelo produce:

A.- deterioro superficial de los suelos que al infiltrarse al subsuelo da origen a sulfatos de sodio calcio, fierro, magnesio etcétera que en su mayoría tiene efecto fertilizante

B. La precipitación de los NO_x da lugar también al fenómeno conocido como “lluvia ácida” que al infiltrarse en el subsuelo por igual producen nitritos y nitratos produciendo inclusive el efecto notable de nitrificación en los ríos y lagos con sus consecuencias indeseables, en algunos casos.

C. Por igual la presencia de CO₂ en la atmósfera, durante las precipitaciones pluviales da lugar a “lluvia carbonatada” que en sus escurrimientos e infiltraciones da lugar a formación de carbonatos, y calizas.

Conviene hacer notar que en el “ABC” de conceptos anterior tienen aceptación de la ciencia oficial en general; pero, esto hace surgir la hipótesis de que: “si ese fuera el mecanismo de formación de los yacimientos de esas sales así formadas fortuitamente y, al haber una mayor actividad industrial que produce esos gases que dan lugar a la formación de los sulfatos, nitratos, y carbonatos al depositarse en el suelo y al infiltrarse en el subsuelo estarían aumentando sus respectivos yacimientos naturales”; pero al precipitarse juntos estarían formando una mezcla de esas sales en “sus yacimientos”, lo cual no sucede, pues no se observa en las afloraciones que se reconocen como producto de tales fenómenos.

Además los depósitos naturales de rocas sedimentarias de esas sales no se han aumentado, ni tampoco se encuentran mezcladas, dando lugar a la hipótesis de que la formación natural de esas sales es de origen distinto al descrito en el “ABC” y comentario anterior, por lo que debe investigarse en mayor detalle esos procesos geológicos para determinar su verdadero grado de contribución al calentamiento global que produce el cambio climático. Ya que la formación de CO₂ en mayor grado es producida por respiración biológica de la masa crítica de los seres vivos que se

considera da lugar a la formación posterior de carbonatos en calizas. Conviene definir en términos sustentables y ambientales:

- 1). Sí el origen de la formación de óxidos de azufre (SOx) y de nitrógeno (NOx) se derivan de manera concomitante de una combustión primitiva producida por la oxidación por combustión, que sea responsable de la existencia de toda la masa crítica de sulfatos y nitratos como se argumenta en el “ABC” anterior.
- 2).- Sí el origen geológico de formación de rocas sedimentarias que dan lugar a los sulfatos y nitratos, resulta ser o no diferente al de combustión primitiva.
- 3) Sí hay procesos geológicos que por oxidación “anaerobia” puedan dar lugar a la formación por desplazamiento químico de unas sales en otras, o para la “síntesis” de sulfatos y nitratos ya que sus respectivos óxidos son gaseosos.

Investigar, sí el cambio climático vendría ser el efecto sinérgico de los procesos geológicos y/o químicos antes citados, que darían lugar al aumento regional de temperatura que produzca mayor evaporación en los océanos originando mayor actividad meteorológica produciendo un mayor número de huracanes. O si trata de un efecto producto de actividades de naturaleza nuclear o de otra naturaleza no denunciada oficialmente.

H. Premisas para el “estudio de optimización”.

A fin de centrar la objetividad del estudio de optimización que en los precios de insumos tiene uno de los parámetros más importantes en las evaluaciones técnico económicas, ya que, se sabe, que los precios definen y hasta voltean la decisión de un estudio de factibilidad, por lo que en relación a esos conceptos se desagregan algunas premisas en el sentido del efecto de los precios de combustibles que se emplean en las opciones estudiadas en esta “investigación aplicada”, así como, consideraciones de naturaleza operacional y de construcción, en los que se salvaguardan conceptos de “sustentabilidad”, y “cambio climático” para el estudio de “optimización en uso de combustibles fósiles para generación de energía eléctrica. Para lo cual se establecen las siguientes premisas que se observan en el estudio que nos ocupar:

H.1. El gas natural (GN) es combustible limpio además de ser más costoso que el combustóleo y el carbón mineral por millón de BTU, lo cual repercute en la “rentabilidad” de su aplicación. Sin embargo, en abono a la sencillez de construcción de plantas de Ciclo Combinado (CC) que consumen gas natural; aunada al más corto tiempo para iniciar la generación de energía y, las ganancias, eso, hace un atractivo viable que se incluye en la optimización.

H.2. El gas natural producido de su líquido (GNL) es el combustible de más alto precio comparado al propio gas natural (GN) debido al costo de licuación, para transporte, luego, agregándole el costo de regasificación. Lo cual se maneja en un sobreprecio publicado en la revista Hydrocarbon Processing de julio 2005 para licuación de gas natural, más otro costo determinado como una banda de utilidad para el pago del financiamiento viable de la Terminal de Gas Natural Líquido del orden de 0.5 a 0.7 USD/MM BTU, lo cual se analiza en el capítulo IIII: Sin embargo el

gas natural “producido” ofrece la ventaja del menor tiempo de construcción para el CC, aunandole el concepto estratégico de seguridad que implica tener combustible limpio y seguro en caso de baja de producción de GN en los sistemas nacionales de gas natural de PEMEX.

H.3. El combustóleo pesado (COPE) es el producto de más bajo precio en el mercado por millón de BTU, empleado en el comparativo entre GN y COPE para incorporar un sistema de “lavado de gases de caldera” FGD en sistemas de generación convencional con ciclo Rankine, que permite continuar con el quemado de COPE; comparado al costo de consumo de gas natural en el mismo sistema. Aquí una limitante es el espacio disponible en el arreglo actual de las unidades para integración del nuevo sistema.; por lo que, este estudio debe arrojar luces sobre la conveniencia de esta aplicación en términos de más bajos costos para “su optimización”.

H.4. En la aplicación de residuales (RV) o coque del petróleo (Petcoke) que son los combustibles de más bajo precio. Por anticipado, se conocen sus ventajas operacionales de costo que repercuten en las más altas tasas internas de retorno (TIR) y generación de “valor presente neto” (VPN); empero el proceso de “Gasificación integrada a un ciclo combinado” (IGCC) para “cogeneración” de potencia y vapor es de los esquemas de proceso de más alto índice de costo para la inversión de capital de esa planta, teniendo además los tiempos más largos de construcción. Asimismo, estos sistemas requieren bastante área por lo que esto, es una limitante para su aplicación en la mayoría de recursos existentes.

H5. La planta de generación con caldera hipercrítica usando carbón mineral no se analiza en este estudio, empero se anticipa que, en función de sus condiciones de operación, produce mayor eficiencia térmica que, se refleja en mayor “rentabilidad, en comparación a los sistemas convencionales de ciclo Rankine que usan COPE. Solo que, las plantas “carboneras” requieren mucho mayor área para el almacenamiento del combustible y, más tiempo de construcción, lo cual significa un sobre costo de capital respecto de las primeras que las que emplean (RV) residuales o COPE.

I. Protocolo:

Para: “Optimización Generación de Energía Eléctrica en PEMEX y/o CFE.”

Protocolo: *“es el conjunto de premisas, inferencias inductivo deductivas, analogías, y reglas para optimización de nuevos recursos de producción de energía eléctrica en el mercado nacional”*. En consideración de los balances de Oferta/Demanda de combustibles fósiles y de la capacidad instalada de generación de energía eléctrica nacional para ubicación del sitio óptimo para integración de otro recurso de producción del “sector energético”

I.1 Balance de masa y energía.

En aplicación de “La Ley de conservación de la materia y la energía”, se efectúa de manera apriorística o deductiva el balance de masa y energía del sistema de generación de potencia y vapor. Este cálculo a priori, se efectúa en primer término por la determinación de la masa de combustible y la masa de aire de combustión necesarios para la liberación de energía térmica de la generación de vapor y potencia definidos para el estudio, lo cual se hace a partir del balance estequiométrico de la reacción de oxidación del combustible que libera la energía química, que, es “el calor que entra en el sistema para convertirse en trabajo útil”, lo cual, es la base teórica del balance termodinámico del sistema que se este analizando. Ese sistema, puede ser: integrado indistintamente por:

- 1). un ciclo de “cogeneración” de potencia y vapor, usando uno de varios combustibles a saber gas natural, “gas de síntesis” de la “gasificación directa” de residuales o coque del petróleo,
- 2). “un ciclo combinado” (CC) con gas natural, ó, “gas de síntesis” que se conoce como (IGCC), y con “gas producido” del GNL
- 3.). “un ciclo Rankine convencional” con gas natural o residuales del petróleo con lavado de gases de chimenea para control de contaminación ambiental

I.1.1 Balance de masa

En aplicación de “La Ley de Conservación de la materia”, se determina en cada caso el balance de masa del sistema en función de la eficiencia termodinámica calculada del ciclo aplicado para generación de energía y, generación de vapor. El procedimiento seguido es conforme el orden que se precisa a continuación:

I.1.1. Balance Estequiométrico de Reacción de Combustión

El Balance estequiométrico que relaciona la cantidad de unidades molares de los reactivos que entran en la reacción química como son: combustible y oxígeno y, con ellos se determina la cantidad de productos de la reacción de oxidación como “bióxido de carbono” (CO₂) y agua (H₂O) más algún otro compuesto oxidado presente en el combustible. Lo importante de la reacción de combustión, es la determinación del calor liberado por unidad molar, cantidad conocida como “poder calorífico molar ” y en función de su masa se conoce como “poder calorífico”, concepto que aplicado al balance de masa resulta en la cantidad de calor total o energía química total, denominada también como “energía primaria” , la cual, es liberada durante la reacción de oxidación, definiendo con ese valor la cantidad de calor teórico que debe liberarse para transformarse en energía secundaria (eléctrica), cual “trabajo útil”.

I.1.1.2. Masa teórica combustible

La masa de combustible se obtiene: mediante la conjunción de los reactivos “combustible y oxígeno del aire” en las proporciones molares necesarias definidas por el análisis estequiométrico y, empleando el “peso molecular” del combustible, se calcula la masa necesaria del combustible para liberación de energía térmica teórica involucrada en la “generación de potencia” del caso, como “balance teórico de energía” que debe convertirse en “trabajo útil”,

I.1.1.3. Masa real de combustible.

La masa real de combustible: se obtiene dividiendo la masa teórica del paso anterior entre la eficiencia térmica del ciclo escogido que es un valor fraccionario se calcula la cantidad de masa real que libere la energía térmica real necesaria definida en el paso anterior, determinando así la cantidad de energía térmica neta del ciclo estudiado que debe convertirse en “trabajo útil”.

I.1.1.4. Masa Aire de combustión

La masa de aire de combustión: con la masa de combustible neto necesario se determina la cantidad de oxígeno requerido para la reacción de “oxidación” del combustible neto que debe quemarse. Y, mediante la relación de oxígeno y nitrógeno en el aire se calcula la cantidad de masa de aire que debe entrar en la reacción, masa con la cual se define el volumen de gases que pasan tanto por la turbina de gas, primero, y luego por la caldereta de recuperación del ciclo combinado (CC), después. Lo mismo sucede con “el volumen de gases” que entra a la caldera convencional en el ciclo Rankine.

I.1.1.5. Eficiencia Térmica (termodinámica)

En función del ciclo termodinámico que se estudie y, a partir de las propiedades termodinámicas de las condiciones iniciales y finales de operación del ciclo, condiciones que son escogidas en relación a la experiencia operativa y, los rangos disponibles de la tecnología de fabricantes,; que son esos los parámetros, con los que se calcula la eficiencia termodinámica tanto de ciclo combinado, como la de los ciclos Brayton, y Rankine por separado. Eficiencia aplicable para definición de la masa de combustible y, con esta, se calcula la masa de gases de combustión, y/o la masa del vapor necesarios en la generación de potencia del CC y, por otra parte la masa de generación de vapor en ciclo cogeneración, y la del ciclo Rankine convencional. Con lo cual se determina el “balance de materia” del ciclo. Conviene mencionar que la eficiencia termodinámica calculada siempre será menor a la “eficiencia de Carnot, la cual se” determina en función de las temperaturas absolutas de entrada y salida del ciclo en estudio.

I.1.1.6. Masa de Agua

La masa de agua: calculada en relación la cantidad de vapor especificado para un ciclo de cogeneración, en el cual, la cantidad de combustible necesario para generación de

vapor, normalmente, es diferente de la cantidad de calor que puede recuperarse en una caldereta de un ciclo combinado en el cual en términos del calor aprovechable determinado por la eficiencia del ciclo se aplica la inferencia que aplica “dos tercios” para el ciclo Brayton, y “un tercio” en el ciclo Rankine. Lo cual es diferente en el “ciclo de cogeneración” cuya relación de calor aprovechable entre el ciclo Braytón y la caldera, puede ser de “uno a uno”, siendo este uno de los casos en el que debe inyectarse combustible a la caldereta de recuperación de calor para que tenga la capacidad térmica requerida para generación de vapor que debe producirse para su exportación.

1.2. Balance de Energía.

La demanda de combustible para la aportación del calor que será convertido en “trabajo útil” se obtiene en función de la capacidad de potencia especificada para el caso de estudio que en combinación del poder calorífico del combustible y, de la eficiencia termodinámica permite calcular la energía térmica total que debe desplegarse para hacer la transformación de energía primaria del combustible en energía secundaria ó energía eléctrica al servicio público.

1.2.1. Capacidad de Consumo combustible RV, GN, Coque

En función de la eficiencia termodinámica del ciclo termodinámico empleando “gas de síntesis” obtenido del proceso “gas to liquids” (G/T) o “gasificación”; a partir de residuo de vacío o coque del petróleo (Petcoke), se determina la capacidad de consumo de ambos combustibles. Por lo que, en función de la premisa anterior se hacen las siguientes inferencias inductivo deductivas:

A El volumen de “gas de síntesis” por millón de BTU es mayor que el volumen de gas natural por millón de BTU, lo cual se demuestra en la transformación del “residuo de vacío” y el “coque del petróleo” en “gas de síntesis”

B. La eficiencia mecánica de la turbina de gas es menor cuando se usa gas de síntesis en comparación al gas natural; dada la relación volumétrica entre esos combustibles que produce mayor velocidad dentro de la turbina de gas.

C. Con base en la eficiencia de la turbina de gas, se determina la eficiencia termodinámica del ciclo Brayton, aunado al poder calorífico del “gas de síntesis” se determina el consumo del residuo de vacío, y/o del coque del petróleo.

En aplicación del “ABC” anterior se hace la determinación del consumo del residuo de vacío y/o del coque del petróleo, en los casos analizados.

1.2.2. Potencia servicios propios.

La potencia necesaria para servicios propios, es definida, a partir del balance de masa de combustible y de agua para generación de vapor y, aire de combustión; se calcula el consumo de potencia de esos servicios, considerando la longitud de recorrido de cada circuito, y la diferencia de niveles entre la altura de toma del líquido y, la altura de descarga del mismo; así como, la cantidad de flujo que debe manejarse. Con esos valores, de manera análoga se determina la capacidad de de potencia. El mismo procedimiento se aplica para el manejo del aire de combustión dentro de la turbina y en la caldera de recuperación de calor.

I.2.3. Ahorro de consumo de energía

El ahorro de energía se obtiene por alta eficiencia termodinámica que puede lograrse, lo cual produce beneficios que se reflejan en la "optimización" del esquema energético. Así mismo, por la presión de los gases de escape de la turbina de gas del "ciclo combinado", produce ahorro de consumo de potencia porque no es necesario el empleo de un ventilador de tiro forzado como sucede en el "ciclo Rankine" convencional, lo cual es del orden de 1000 KWH o más, en función de la potencia generada.

I.3.4 Balance de masa:

En el Balance de masa: se emplea la **capacidad de potencia** que debe generarse, el poder calorífico del combustible usado, y la eficiencia termodinámica calculada para determinación de la masa total de combustible que debe emplearse en cada opción que se analiza, lo cual se resuelve en el modelo aplicado que, según la precisión de los datos empleados en el estudio entrega resultados aproximados, o valores más precisos cual modelo riguroso., mediante una hoja de cálculo específica para el balance de masa y energía, donde se determina la cantidad de aire necesario para la combustión y la cantidad de agua y vapor de cada ciclo. En el caso de ciclo combinado, se determina el ahorro de potencia atribuible al ventilador de tiro forzado que no se emplea, a diferencia de lo que si sucede con la caldera del ciclo Rankine convencional.

Los volúmenes de "residuo de vacío" se calculan en barriles/día debido a que son las unidades típicas relacionadas con el poder calorífico del combustible. Y en el lado del consumo de Coke, se calculan primero las toneladas por hora que producen la carga térmica requerida para luego convertirse, ese régimen de consumo en Ton/D, producto del requerimiento del balance económico diario de cada caso analizado, debido a que el poder calorífico de ese combustible se reporta en esos términos para el citado "balance económico" de cada corriente.

I.3. Modelo teórico de cálculo

El modelo teórico desarrollado en aplicación de "la Ley de conservación de materia y energía", permite el cálculo automático de los balances de masa y energía para cualquier cambio en las condiciones de operación reflejada en los valores de las propiedades termodinámicas que afectan la eficiencia termodinámica calculada. Lo cual puede hacerse, con sólo cambiar el valor de la eficiencia termodinámica o el poder calorífico u otra variable, el balance se ejecuta automáticamente actualizándose las otras hojas de cálculo que están enlazadas ejecutándose el "cálculo automático" de cada problema. Los resultados de los balances de "masa y energía" son aplicados al balance económico; que al aplicar los precios de productos y servicios se obtiene la "ganancia; con ésta, se hace el análisis de viabilidad, con el modelo financiero.

I. 4. Análisis de Factibilidad Económica Financiera:

I.4.1. Balance Económico.

El balance económico determina la utilidad ó ganancia de cada caso estudiado se determina mediante "el balance" de cada opción de "ciclo de generación", calculando en cada corriente: su volumen de flujo, el precio y condiciones de generación de potencia y vapor (V, P, T) del Proyecto. El balance económico así determinado se lleva a la

condición de “balance diario”, el cual, “se anualiza”; empleando un factor de (0.92) que incluye los tiempos (días) anuales de paros de mantenimiento programado.

I.4.2. Balance Financiero de Factibilidad

El Balance Financiero de Factibilidad permite la “toma de decisión” del esquema óptimo de “generación de energía térmica convertida en potencia y vapor de alta presión mediante comparación de opciones que concurren en el estudio donde se conjugan las ventajas tecnológicas, de consumo de combustibles, servicios y, la ubicación del sitio donde ha de construirse el nuevo activo del caso estudiado.

I.4.3 Método de flujo de Efectivo.

Aplicación método "**Flujo de Efectivo Descontado**" <discounted Cash flow>

El método de “flujo de Efectivo descontado” permite involucrar el cambio del valor del dinero en el tiempo, con lo que se incluyen los conceptos que puedan provocar cambio del valor de la inversión de capital como serían:

- 1). Tasa de interés bancario,
- 2). Tiempo de amortización de la inversión.
- 3). Depreciación en línea recta en diez años,
- 4). Impuesto sobre la renta (ISR).

El modelo <riguroso> aplicado, permite el cálculo automatizado de “tasa interna de retorno” (TIR), “valor presente neto” (VPN), y pagos uniformes del flujo de efectivo, o “anualidades” ligadas al VPN.

I.4.3.1. Tasa Interna de Retorno (TIR)

El cálculo de TIR emplea un modelo riguroso de evaluación en el que el “valor presente neto es igual a cero”, ese cálculo se confirma vía las funciones de "Excel" . Lo cual, se logra para cada condición del balance económico, con sólo:

- a) Cambiar la opción de proceso
- b) Cambiar el precio del combustible
- c) Modificar el precio del MW, ó La Ton/Hr de vapor

I.4.3.2 Valor Presente Neto (VPN)

En la determinación del Valor Presente Neto VPN, aplican los mismos conceptos del concepto (5. TIR), pero calculados para “tasa de interés” de 10% a 20 años. En el caso de “anualidades” están calculadas para 7 % anual.

I.4.3.3. Pagos Uniformes (Anualidades) en función VPN

Apartir del valor presente neto obtenido del flujo de efectivo descontado, se calcula la “anualidad” que se obtiene para tener noción de recuperación de capital en valor “real”, durante el ejercicio escogido en términos de tiempo.

I.5. Precios.

El concepto "precios" es de primordial importancia en los análisis de factibilidad financiera ya que cualquier variación en ellos modifica sensiblemente el resultado final

de la evaluación, inclusive cambiarlo hacia otra opción según repercuta el cambio del precio en la "toma de decisión".

Los precios están relacionados a los empleados en la Costa del Golfo de México, e "indexados" por la Dirección Corporativa de Finanzas (DCF) de Pemex, Para los costos de servicios auxiliares, se emplean "índices de costo" determinados por el "Instituto Mexicano del Petróleo" (IMP), "índices de costo" que fueron obtenidos mediante un modelo riguroso desarrollado por esa institución.

I.6. Inversión de Capital.

El capital, incluye costos de "bienes de capital" y costos de construcción para la instalación de una Planta de Generación de Potencia y, Vapor en las diferentes modalidades de ciclos termodinámicos que puedan aplicarse, de conformidad a los requerimientos definidos en los casos evaluados para nueva Refinería u otro activo cercano. Valor de la inversión que se detalla su estructura con el modelo aplicado en el análisis del "proyecto de investigación".

I.7. Costos fijos.

Los costos fijos son determinados en función del costo de mantenimiento en relación de 2.5 a 3.0% del costo del capital es decir que en 20 años de operación acumularía el 87% De la inversión de capital

I.8. Costos Variables

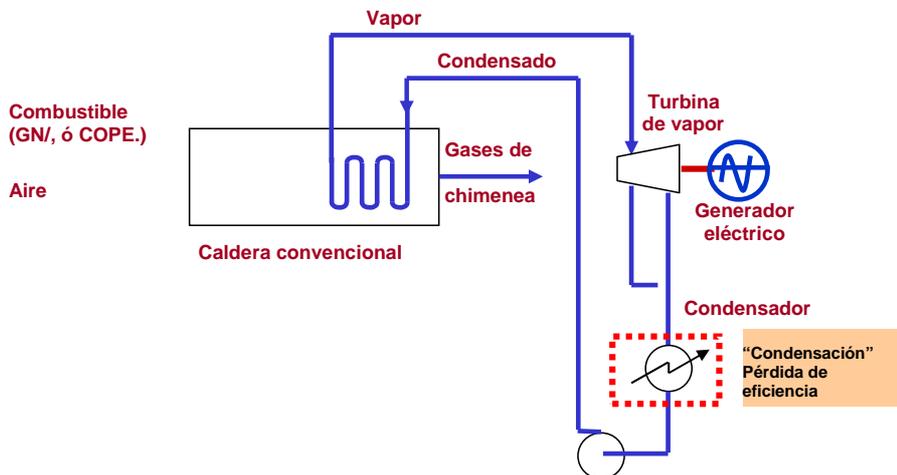
En los "costos variables" ó "costos de operación", estan incluidos todos los insumos para la generación de potencia definidos en los casos evaluados, es decir se determina el valor del costo del consumo de energía propia, el mantenimiento operacional programado, la administración a gregada al mantenimiento, el consumo de energía, eléctrica o de otro tipo para efectuar la operación del nuevo activo.

II.1. Cogeneración en la Industria Petrolera en México.

II.1.1 Diagnóstico:

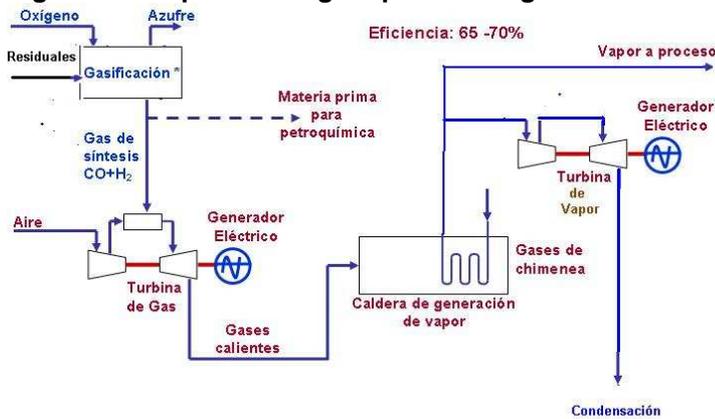
El Balance de la Situación Nacional actual de la industria Petrolera en términos del consumo de Energía eléctrica, en el sector

1. En la actualidad Pemex genera 1,300 MW de energía eléctrica mediante sistemas convencionales de baja eficiencia en sus instalaciones de proceso y vapor de alta tanto para generación como para proceso.
- E. Con el fin de mejorar la eficiencia energética de las instalaciones se decidió analizar el potencial de cogeneración en PEMEX, dando aprovechamiento a los residuales que se emplean para la formulación de combustibles como una solución al problema del “fondo de barril”
- F. Cogeneración es el sistema mediante el cual se genera energía eléctrica con una turbina de gas y utilizando los gases de escape de dicha turbina, se produce vapor que se emplea para generación eléctrica y/o exporta.
- G. En función del residuo de vacío disponible en cuatro refinерías, que es la muestra de estudio, se determinó un potencial de cogeneración del orden de 4,040 MW y 6,860 T/h de vapor, de los cuales:
- H. El autoabastecimiento de 1300 MW-H, de las instalaciones de Pemex en sustituirían la generación actual de cada centro de trabajo, manteniéndola como respaldo.
- I. La exportación de venta de energía eléctrica a CFE, sería de 2400 MW-H.



; (Referencia: Datos propios)

Fig. II.1.2. Esquema arreglo típico de Cogeneración con Residuales



Notas de la aplicación

- a) Tecnologías de mayor aplicación de gasificación: Chevron Texaco, Lurgi, Shell y Snamprogetti
 - b) Inversión estimada en gasificación: 1,500-1,700 USD/kW
 - c) Alternativas Tecnologías: calderas combustibles líquidos pesados, calderas de lecho fluidizado y, motores de combustión interna
- ; (Referencia: Datos propios)

II.1.2. Antecedentes.

.Los antecedentes que prefiguran la situación actual de la industria petrolera como receptor de un proyecto de cogeneración se desagregan a continuación:
 Evaluación del proyecto con residuales.
 Auto abastecimiento como primera regla
 Venta de excedentes como solución.
 Se propone utilizar tecnologías de cogeneración empleando residuo del petróleo para resolver de paso el problema del "fondo del barril" en las refinerías

II.1.3. Inversión de Capital

Aún cuando las inversiones de capital mediante el esquema de "cogeneración" son superiores a las de "ciclos combinados" con gas natural que utiliza la industria eléctrica en general (CFE), cuyas inversiones son del orden de 650 a 800 USD/kW instalado. La mayor eficiencia energética de la cogeneración y las tendencias de los precios del gas natural, la hacen competitiva con el esquema de Ciclo Combinado (CC).

- Asimismo, "la cogeneración" por su contribución a la diversificación de combustibles, tiene un valor estratégico muy importante.

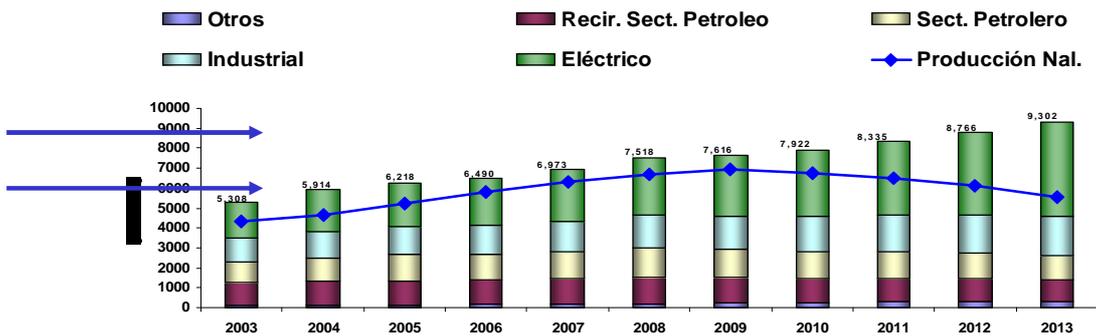
II.1.4. Beneficios para Pemex por aplicación sistema de Cogeneración

Los beneficios para La Industria Petrolera (PEMEX) que se derivan del proyecto de cogeneración en la industria petrolera son a saber:

1. Proyecto altamente rentable debido a ahorros por
2. Eficiencia energética con valor de 560 MM USD al año
3. Liberación de 325 MM pcd gas natural que estarían comprometidos en su consumo para generación de potencia eléctrica de esa escala

Figura II.1.3, Balance Producción/Demanda Nacional de Gas Natural, 2003-2012

BALANCE DE GAS NATURAL EN MÉXICO



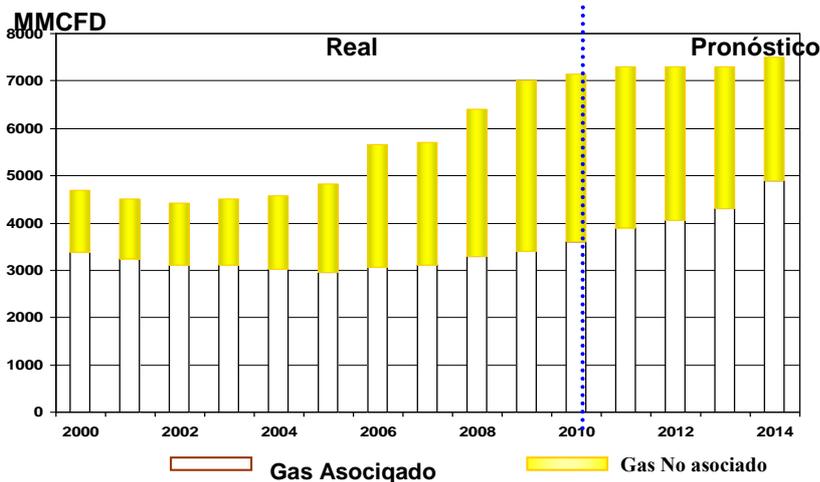
Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
PGPB	4,325	4,629	5,215	5,367	5,385	5,806	5,861	6,099	6,333	6,094	5,518
Importaciones	983	1,285	1,003	1,123	1,588	1,712	1,755	1,823	2,002	2,672	3,784
Exportación			4	443	893	888	1,095	673	141		
DEFICIT	983	1,285	999	680	695	824	660	1,150	1,861	2,672	3,784

En el 2009 empieza a decrecer producción nacional, por lo que se requiere GNL de importación.

Fuente: Producción y Demanda: SENER, Prospectiva de Gas Natural, 2004 - 2013.

Fuente: PEMEX Producción, DCPE, Consejo de Admon. (Ago,14, 2003).
SENER, Prospectivas de Gas Natural, 2003-2012, (pág. 91).

Figura II.1. 4, Producción Real de Gas natural en Mexico



Fuente: PEMEX Producción, La tendencia producción / demanda nacional de gas natural se mantuvo,); y SENER, Prospectivas Gas Natural, 2000-2014, (pág. 91).

Cuadro II.1.1 Comparativo de proyecciones de producción

Ciclo Concepto		2006			2012		
		PN2002	PFP+CIA	PFP+MP	PN(2002	PFP+CIA	PFP+MP
Petróleo Crudo	M BPD	3,968	3,155	4,003	4,024	2,290	3,887
	MM						
Gas Natural	PCD	6,896	5,212	7,052	8,725	3,522	8,716
Proceso de Crudo	MBPD	1,577	1,545	1,545	1,578	1,691	1,724
Proceso Gas	(MM						
Humedo	PCD)	6,127	-	-	6,163	-	-
	MM						
Proceso Gas Seco	PCD		3,362	4,205		2,394	5,082
Petroliferos							
Gasolinas	M BPD	646	506	506	649	577	627
Destilados							
Intermedios	M BPD	505	421	421	505	473	473
Combustoleo	M BPD	310	-	-	303	-	-
Residuales	M BPD		534	534	-	551	524
Petroquímica (Tm							
/Año)	Tm/Año	12,403	5,142	5,408	13,435	5,314	6,214
Nomenclatura		Siglas					
Miles de barriles por							
día	MBPD						
Millones pies cubicos	MM						
por dia	PCD						
Tonelada metrica por							
año	Tm/Año						
Plan Nacional	PN						
Plan Futuro mas							
Compañía	PF+CIA						
Plan Futuro+ Medios							
Propios	PF+MP						

Cuadro II.1.2. Potencial de cogeneración PEMEX en función del vapor de proceso

Concepto	Vapor de proceso	Potencial de cogeneración	Consumo Interno	Excedente a CFE
Unidad	Ton/Hr	MW-H	MW-H	MW-H
Organismo				
Tula	828	480	80	400
Salamanca	755	440	85	355
Cadereyta	643	375	100	275
Madero	531	310	125	185
Minatitlán	814	475	110	365
Salina Cruz	934	565	130	435
PR Total	4505	2645	630	2015
Nuevo Pemex	610	750	50	700
Cactus	350	200	35	165
PGPB total	960	950	85	865
Cangrejera	700	430	110	320
Morelos	520	310	70	240
Pajaritos	180	140	30	110
Escolin	60	65	20	45
Independencia	350	265	10	255
PPQ Total	1810	1210	240	970
Atasta	0	63	30	33
PEP Total		63	30	33
Otros Pemex			182	
Respaldo				
CFE			133	
PEMEX				
Totales	7275	4868	1300	3568

; (Referencia: PEMEX Refinación y (Datos propios –Tesis-)

II.1.5. Beneficios del Proyecto de Cogeneración Nacional.

El proyecto de cogeneración global satisface los requerimientos que se desagregan:

- 1) 100% demanda de energía eléctrica de Pemex: 1,300 MW de autoconsumo
- 2) Generación de 2,400 T/H del vapor requerido, típico, en esas refineries
- 3) Energía eléctrica a porteo por CFE a instalaciones Pemex (800-850 MW),
- 4) Exportándose (3) a costo promedio de porteo de 5 USD/MWH
- 5) Tasa Interna de Retorno TIR, obtenible de 25%

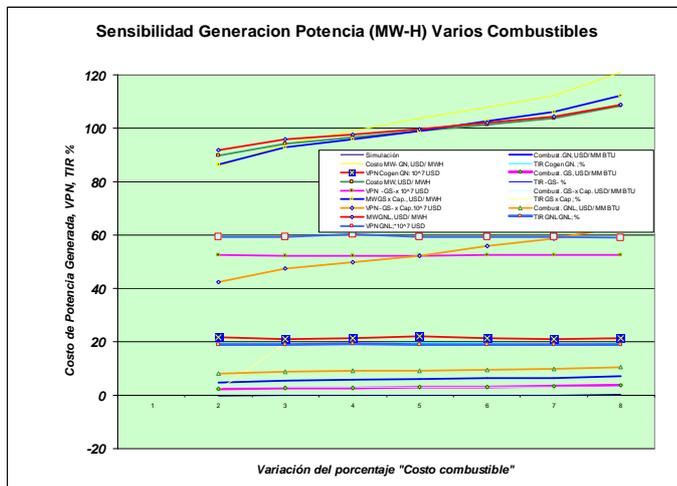
Cuadro II.1.3. Potencial de cogeneración PEMEX en función energía eléctrica.

Diagnóstico del potencial de generación de energía eléctrica					
Instalaciones	Capacidad Cogeneración función de consumo vapor MW	Consumo Interno MW	Capacidad Disponible MW	Combustible propuesto	Eliminación emisiones SO _x
PGPB	950	85	865		
Nuevo Pemex	750	50	700	GN	No, (2)
Cactus	200	35	165	GN	No, (2)
PPQ	1210	240	970		
Cangrejera	430	110	320	GN	No, (2)
Morelos	310	70	240	GN	No, (2)
Pajaritos	140	30	110	GN	No, (2)
Escolín	65	20	45	GN	No, (2)
Independencia	265	10	255	GN	No, (2)
PR	2645	630	2015		
Tula	480	80	400	RV	Si
Salamanca	440	85	355	RV	Si
Cadereyta	375	100	275	GN	No, (2)
Madero	310	125	185	RV (1)	Si
Minatitlán	475	110	365	RV, C	Si
Salina Cruz	565	130	435	RV	Si
PEP	63	30	33		
Atasta	63	30	33	GN	
Total	4868	1300	3568		

(1) Al entrar capacidad ociosa
 (2) El gas natural no contiene compuestos de azufre

GN: Gas natural
 RV: Residuo de vacío
 C: Coque

Fig. II.1.5. Comparación costos generación potencia en función costo combustible USD/MM BTU

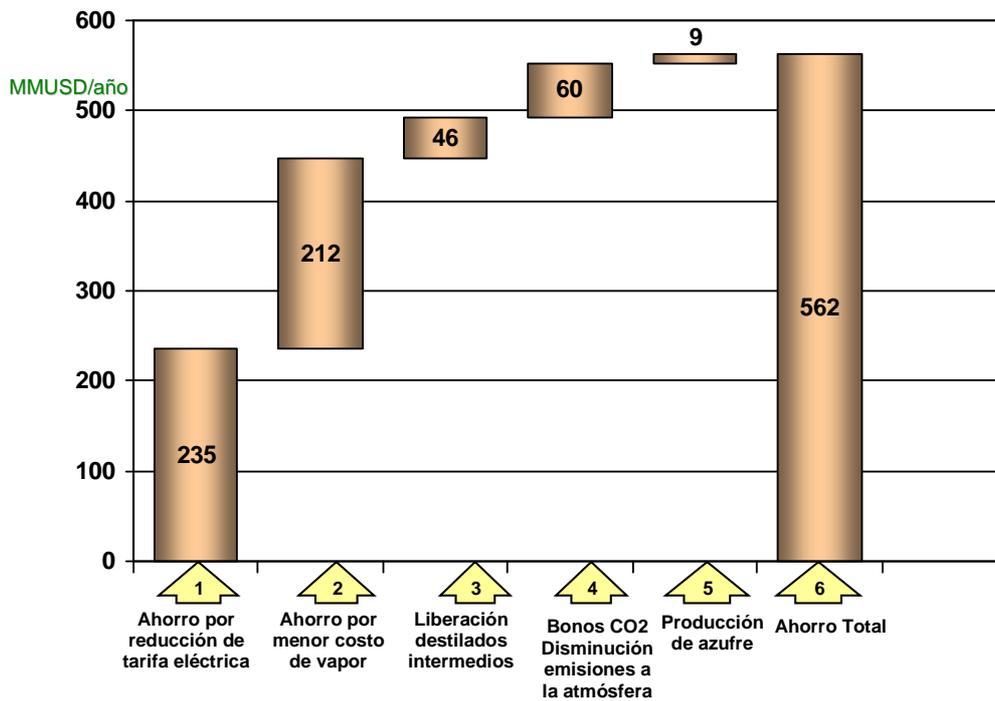


- A) El menor costo de cogeneración es con GN USD/MWH en f(Precio MMBTU).
- B) El ciclo combinado (CC) con "gas natural" del GNL, es el más costoso.
- C) El costo de generación de potencia aumenta con el precio del MMBTU

II.1.6. Análisis de Factibilidad

Sinergia autoabastecimiento energía eléctrica por cambio de esquema en PEMEX al incluir los rubros que cambian

Fig II.1.6. Sinergia Cogeneración consumo PEMEX. Beneficios económicos/Año
Beneficios derivados del autoabastecimiento (1,300 MW)



1. Al pasar de: 110 a 87 USD/MW-H empleando Gas de Síntesis de IGCC con Coque o Residuo de vacío..
 2. Al bajar de 16 USD/Ton a 12 USD/Ton y 80% de capacidad suministrable por cogeneración.
 3. Al liberar 31 MBD de diesel por la diferencia de diluyente en COPE a producto a venta a 22.46 USD/BI.
 4. Por bonos de carbono según Protocolo de Kyoto.
 5. Por 536 TPD de azufre a 50.2 USD/Ton.
 6. Por la sumatoria de todos los rubros producto de la SINERGIA.
- ; (Referencia: Datos propios).

Cuadro II.1.4. Resumen Financiero de “Casos” IGCC Cogeneración R. Salamanca, y Tula; (Referencia: Datos propios)

Generación de Vapor en CT casos analizados					
1. Datos generales del proyecto					
Para realizarse el proyecto en Central Termoeléctrica CFE, u Otus					
Caso analizado	No.	1	2	3	4
Concepto	Unidades	CT Salamanca	CT Salamanca	CT Tula 1	CT Tula 2
Lugar		Salamanca	Salamanca	Tula, Hgo	Tula, Hgo
Pot. Nominal ISO	MW	420	630	460	460
Pot. Neta	MW	353	529	380	380
Combustible	Sn	Coque Pet	Coque Pet	RV	RV
Inversión Por Unidad MMUSD	MM USD	533.6	800.4	528.8	528.8
Inversión Todas las Unidades (CC)	MM USD	533.6	800.4	528.8	528.8
TIR %	%	17.82%	20.07%	17.66%	17.79%
VPN MMUSD	MM USD	442.3	910.4	436.0	445.2
2. Costos de insumos y productos					
Pormenorizados en la hoja de cálculo "Hoja de Precios",					
3. Balance Térmico de generación de potencia					
En la "Hoja de B.consumos" se indican capacidades y eficiencias...					
Con sólo cambiar el valor de la eficiencia o el poder calorífico u otra variable el balance se equilibra automáticamente,					
actualizándose las otras hojas de cálculo que están enlazadas					
4. Balance de Masa y energía del proceso Termodinámico en CT					
El balance de la unidad de Generación está obtenido para el centro de trabajo CT					
En la Hoja "Balance Económico", se aplican los precios y condiciones del proyecto de Generación potencia					
5. Tasa Interna de Retorno TIR					
El cálculo de la TIR (IRR) se hace para cada condición del balance, con sólo:					
a) Cambiar la opción de proceso					
b) Cambiar el precio del combustible					
c) Modificar el precio del MW					
6. Valor Presente Neto VPN					
Aplican los mismos conceptos del concepto (5 TIR)					
En el caso CT, el VPN es negativo cuando la TIR es menor de 10%, valor de tasa de rendimiento empleada para VPN.					
(A) Annuity: Cuando al VPN se calculan los pagos uniformes para ese valor de recuperación pagable a diferentes periodo 1C, 20-30 años					
7. Precios					
Los precios están en relación al mercado del Golfo de México en USA y CCPAR, los servicios auxiliares determinados por IMP					
8. Capital					
Incluye todos los gastos para la instalación de una planta de Generación de Potencia a los requerimientos definidos en los casos (1, 2, 3, 4)					
9. Costos Variables					
Incluye todos los insumos y servicios para generación potencia definidos en los casos (1, 2, 3, 4)					
10. Costos fijos					
Aplica el costo de mantenimiento en relación de 0.5% de costo de capital,					
los de operación en 20 años de operación acumulará el 25% de la inversión de capital,					
más los gastos de administración y mano de obra respectivos, según se desagrega					

Cuadro II.1.5. Gas de Síntesis GS Análisis, y Balance; (Referencia: Datos propios)

Análisis de combustión de Gas de síntesis [GS]						
Reacción Estequiométrica de combustión con Gas de Síntesis (CO, H2):						
1.0 CO + 0.5 O2 = 1.0 CO2						
1.0 H2 + 0.5 O2 = 1.0 H2O						
<i>Balance estequiométrico</i>	<i>Fórmula</i>	<i>UNDA</i>	<i>Moles Req</i>			
"GS" Gas de Síntesis	G. Síntesis	10.54	1	N2	0.73	
Monóxido de Carbono	CO	28	1	O2	0.13	
Hidrógeno	H2	2	1	Ar	0.003	
Oxígeno = 0.5 + 0.5	O2	32	1	CO2	0.005	
Dióxido de Carbono	CO2	44	1	H2O	0.005	
Agua	H2O	18	1			
Reacción Molar de combustión con G Síntesis "GS" / mol						
1.0* 0.4154*CO + 0.5*0.4154 O2 = 0.4154 CO2						
1.0*0.4398 H2 + 0.5*0.4398 O2 = 0.4398 H2O						
			<i>Moles Req</i>			
	CO	28	0.4154			
	H2	2	0.4398			
	O2	32	0.42745	0.42745		
	CO2	44	0.4154			
	H2O	18	0.43958			
Caso combustión de 1.0 MMB BTU de "GS" BTL 1,000,000						
G.S. Poder Calorífico	BTL/SCF	316.26				
G.S. requerido MMBTU	SCF / MMBTU	3,161.89				
Densidad del "GS" @ 70°F	lb/pie3	0.043940		0.043940867		
Gravedad Específica "GS"	Adim	0.506				
Masa de "GS" involucrada	lb "GS" MMBTU	138.938				
Moles de "GS" en combustión / 1.0 MMBTU	mol	6.232		3.202		
Moles de Oxígeno requerido en combustión	mol			7.977		
Moles de aire requerido O2 = 21% en su	mol					
Concentración mol de oxígeno en aire	% mol	0.206				
Moles de aire requeridos en combustión	moles			35.892		
Peso Molecular de Aire (Promedio)	lb/lb-mol	28.97				
Masa de Aire involucrada en combustión	lbs			1113.974		
Densidad estándar del Aire @ 70°F	lb/pie3	0.075				
Densidad estándar del Aire @ 70°F @ Altitud	lb/pie3	0.057				
Volumen Aire M Req. Combustión / 1.0 MMB	pie3 StdMM BTU			14,919.65		
Volumen Aire Actual Req. Combustión / 1.0 MMBTU de "GS"				19,631.12		
Relación Aire Requerido x GS/GN				1.5610		
BALANCE DE MASA Y ENERGÍA APARTIR DE COQUE O RESIDUO DE VACÍO DISPONIBLES						
		Coque	coque	Residuo Vacío	Coque	
Coque disponible	TPD	0,000.0	0,000.0			
Poder Calorífico coque	BTL/TM	75,459,328.0	75,459,328.0			
Residuo de Vacío Equivalente a coque	DPC			21,000.00	21,000	
Poder Calorífico Residuo de Vacío (RV)	BTL/lb	5,885,000.0	5,885,000.0	5,885,000.0	5,885,000	
Eficiencia estimada del CC	%	0.40	0.40	0.40	0.40	
Eficiencia Caldera	%	0.93	0.93	0.93	0.93	
Vapor Requerido PROCESO Refinería	T.Hr	550.0	-	630.0	-	
Calor (liberable) para trabajo; 0 para W	BTL/Hr	5,153,109,333.3	5,153,109,333.3	5,149,375,000.0	5,149,375,000.0	
Calor necesario para vapor Exaurición	BTL/Hr	1,665,726,403.1	-	1,912,597,989.1	-	
Calor disponible para Generación Potencia	BTL/Hr	1,602,355,277.9	2,370,438,293.3	1,488,917,425.0	2,368,712,500.0	
	KVAH	469,520.25	694,560.70	436,260.54	634,077	
	MW	469.52	694.58	436.28	694.08	

Cuadro II.1.6. Balance de Materia y Energía [³]; (Referencia: Datos propios)

BALANCE DE MASA Y ENERGÍA A PARTIR DE COQUE O RESIDUO DE VACÍO COMO IGCC				
Residuo de Vacío	BPD		21,075.23	21,075.23
Coque o Petoque disponible	TPD	8000	8000	8000
Poder Calorífico del'	BTU/Ton	75,459,326.0	75,459,326.0	75,459,326.0
Eficiencia IGCC mec. Total	%	0.482494447	0.464531334	0.465279322
Potencia obtenible P _W coque disponible	MW	720.5312744	741.4220265	702.5522574
	Case	1	2	3
Modelo CC Gen. Potencia (SD)	MWH	210	210	230
Arreglo Generación de Potencia		IGCC	IGCC	IGCC
		Salamanca	Salamanca	Tula
				Tula
Potencia Nota Efic. de generación	MW	176.4	176.4	174.8
Potencia Nota Gen Cogeneración Refine	MW	352.800	352.800	349.50
Capacidad de Vapor Exportación a Refi	T/H	550.0	-	630.0
Equivalencia de calor a potencia	BTL/MW	34.27	341.27	34.27
Calor Total por liberar (2100%)	BTL/Hr	1,204,000,560	1,204,000,560	1,193,079,920
Eficiencia Termodinámica CC	%	46.00%	46.00%	46.00%
Pot. Q x CC (Tg + Tv)	BTU/Hr	2,677,392,522	2,677,392,522	2,593,652,000
Vapoc. Qv (Cogeneración) Ww*HwE*CE	BTU/Hr	1,887,840,215	-	2,752,458,065
QT: por GS @ nt % Q ce @ v	BTU/Hr	4,565,232,737	2,617,392,522	4,756,110,065
GS LHY-GH poder calorífico Inerente	BTL / pie3	319	319	318
GS Req para Gen Pot @ Ef mec	SCFH pie3 / H	14,123,049	8,204,992	14,909,436
GS Req para Gen Pot @ Ef mec	Lb GS / H	620,667	386,627	665,121
	Kj/GS .H	282,1176	185,816	297,162
	Kg GS / s	78.35	46.52	87.72
GS Req para Gen Pot @ Ef mec	MM SCFD	338,943	196,920	357,826
Generación Equivalente CC sin Exportación	KW-H Eq.	544,460	322,422	585,333
Generación Equivalente TG	KW-H Eq.	390,762	222,417	404,169
Generación Equivalente C. Rankine	KW-H Eq.	463,658	95,403	472,843
Vol. Aire Req. combustión @ 100% Exteq. Pie3/H		86,443,772	57,382,355	93,347,743
	pie3/min	1,474,053	856,373	1,556,130
	m3/H	2,505,472	1,456,581	2,674,980
Vol. Aire Requerido combustión @ 10% Exceso	m3/H	2,756,020	1,601,150	2,909,476
Vol. Aire Real pa combustión @ X % Exceso.	pie3/min	1,621,458	942,010	1,711,743
				933,466
W _a Aire Real pa combustión @ X % Exce	Kg/s	698.19	465.62	737.67
Aire requerido para Gen potencia, mediante				
QT - Qs - mcp (T3-T1) - Ws*cp (T3-T1)	Kcal/Air	1,107,090,005.0	600,857,707.5	1,201,007,095.1
T3 Temperatura Alim Tg	°C	1,326.65		
T1 Temperatura Entrada Ciclo	°C	27.00		
W _{gs} Req Gen Pot - Qs / cp (T3-T1) - W _{gs}	Kg/s	1,073.02	500.53	1,069.42
Cada de presión en Caldera	Pulg C.A.	4.2	4.2	4.2
Eficiencia de Ventiladores Turbulencia	%	62%	62%	62%
Potencia Requerida Ventiladores Tipo Forzad BHP		13,063.61	7,569.61	13,797.22
				7,520.77
Tc: Temp. Comb. - QT / cp * W _{gs} + ZT	°C	1,592.2	1,592.2	1,592.2
W _{gs} : Gases de combustión	Kg/s	1,073.02	508.53	1,069.42
T comb: T de reacción de temperaturas	adim	1.20	1.20	1.20
w _{gs} requerido por temp diseño	Kg/s	1,215.64	716.24	1,283.52
				599.84
Balance Masa y energía Aire / Agua				
Concepto		Unidades		
Oto = m _{aire} *(h1-h2) = m _w *(h1-hcond)				
Sustancia de trabajo: Aire		CT Ref IGCC	CT Ref IGCC	CT Ref IGCC
T1A = T1 Tg Temp. ciclo	K	855.8	855.8	994
P4	Koa	115	115	115
H1 = h _{aire} (h2)	KJ/Kg	936.4	953.464	953.464
W _{gs} Gasln más cr. < flujn pas. Comb.	Kj/s	1,013,018	508,577	1,069,474
				583,189
I2A Temp. salida ("gases de combustión")	K	420	420	420
	°C	146.85	146.85	146.85
P salida	KPa	115	115	115
H2A	KJ/Kg	421.5	421.5	421.5
Sustancia de Trabajo Agua		Agua	Agua	Agua
w1 Entrada de Agua	°C	92	92	92
Presión Entrada Agua	Koa	10	10	10
hw1	KJ/Kg	384.9	384.9	384.9
w2 Temp. Salida de agua como vapor seco	K	793.15	793.15	793.15
	°C	520	520	520
P2 agua	MPa	15	15	15
hs 2		3366	3366	3366
calor eSpecifico del air.	KJ/Kg°C	1,0056288		
calor eSpecifico de agua	KJ/Kg°C	4,18042		
m _w - m _{aire} *(h1-h2) / (hw2 - hw1)	Kg / s	174.970	105.020	150.034
R (MVA)		0.1727	0.1784	0.1754
				0.1807

³ A-1 Definiciones de balance de Materia y Energía, Bibliografía a) Sección I Caps 3, 4

Cuadro II.1.7. Análisis Ciclos termodinámicos plantas IGCC, Cogeneración c/ coque, residuo vacío; (Referencia: Datos propios)

Análisis de planta IGCC o Cogeneración con Pet coque, y Residuo de Vacío (RV), Incluye "Parámetros de desempeño del ciclo PARÁMETROS DE DESEMPEÑO Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN serie de ciclos Rankine diferentes condiciones de operación"

Ciclo Brayton Ideal, a varias condiciones: "P", y T3	unidades	CT		CT		CT Tula IGCC RV 1	CT Tula IGCC RV 2	CT Salamanca 1	CT Tula 2
		Salamanca IGCC Betcoke 1	Salamanca IGCC Betcoke 2	CT Tula IGCC RV 1	CT Tula IGCC RV 2				
a) las temperaturas salida compresor y turbina se determinan de manera isentrópica								TC e/ Gas Síntesis	TC e/ Gas Síntesis
Presión 1	bar	0.77040	0.77040	0.77040	0.77040	0.77040	0.77040	0.77040	0.77040
P2 = Presión 3	bar	12.328	12.328	12.328	12.328	12.328	12.328	10.787	9.246
T3 Temperatura entrada Turbina	°K	600	600	600	600	600	600	1573	1473
	°C	1326.85	1326.85	1326.85	1326.85	1326.85	1326.85	1300	1200
$P2/P1 = (T2/T1)^{1/\gamma}$; $\gamma = 1.386$; $T2 = 540$ °K	Adim	16	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	14	12
Reacción de presiones P2/P1		1.381	1.381	1.381	1.381	1.381	1.381	1.381	1.381
coeficiente especial reactivación		22.096	22.10	22.10	22.10	22.10	22.10	19.334	16.572
Presión Relativa P1		1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Coeficiente Adiabático K		300	300.15	300.15	300.15	300.15	300.15	300	300
Temperatura entrada T1	°K	300.19	300.19	300.19	300.19	300.19	300.19	300.19	300.19
#1 Entalpia de entrada @ 300°K	KJ/Kg	682.45	682.45	682.45	682.45	682.45	682.45	637.86	610.48
$T2 = T1 * (P2/P1)^{(\gamma-1)/\gamma}$	°K	692.82	692.99	692.99	692.99	692.99	692.99	686.95	664.76
T2 y h2 @ 11.81 nos da	°K								
#2 Entalpia h2 @ 11.81 y T2=540°K =salida compres	KJ/Kg	673	673.900	673.900	673.900	673.900	673.900	647.6	618
Expansión isentrópica T3 a T4									
T3 a T2: °K	KJ/Kg	1758	1758	1758	1758	1758	1758	1745	1603
P3 con esos valores nos da:	Kpa							0	-
P4: edículo presión relativa 4: $P4 = P3 * (T4/T3)^{\gamma}$								0	-
$T4 = T3 * (P4/P3)^{1/\gamma}$; f Ley Graf. Gases		724.58	724.58	724.58	724.58	724.58	724.58	728.6905	715.0485
$f = T3 / p^{1/\gamma}$; f (Adiabático)	°K	704.58	724.58	724.58	724.58	724.58	724.58	855.40	800.00
#4: @ T4 = 821 °K nos da h4 de tablas	KJ/Kg	718	739.60	739.60	739.60	739.60	739.60	859.00	800.00
	KJ/Kg								
b) Relación trabajo retroceso = Wcompresor: Wfrac adin									
Wcompresor = entrada trabajo - Compresor = h2-h1	KJ/Kg	372.81	373.71	372.81	372.81	372.81	372.81	347.41	317.81
Wturbina = salida trabajo - Turbina = h3-h4	KJ/Kg	1040.00	1018.40	1018.40	1018.40	1018.40	1018.40	886.00	803.00
f retroceso = Wcompresor / Wturbina	Adim	0.35847	0.36676	0.36607	0.36607	0.36607	0.36607	39.21%	39.58%
c) Eficiencia Térmica de ciclo Ideal = (Wneto / qent)									
q ent calor de entrada = (h3-h2)	KJ/Kg	1085	1084.1	1085	1085	1085	1085	1097.4	985
Wneto = Wsalida - Wentrada	KJ/Kg	667.19	644.69	645.59	645.59	645.59	645.59	538.59	485.19
Eficiencia Térmica = Wneto / q Ent		0.614922	0.5946776	0.5950138	0.5950138	0.5950138	0.5950138	49.070%	43.258%
Eficiencia Térmica = 1 - q salida / q ent									
q salida = h4-h1		477.41	435.41	435.41	435.41	435.41	435.41	556.81	499.81
Eficiencia Térmica = 1 - q salida / q ent		0.614922	0.5946776	0.5950138	0.5950138	0.5950138	0.5950138	49.070%	43.258%
Ciclo-Real Operación de la Turbina de Gas									
η comp, Eficiencia compresor	%	00.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80%	80%
η turb, Eficiencia Turbina	%	79.00%	79.00%	79.00%	79.00%	79.00%	79.00%	79%	79%
Determinación valores reales: Rel.Trabajo; "n" C° Ef. Térmica; T4a Temp salida del ciclo Brayton Ent a Rankine									
a comp = Wcompresor / Wcompresor									
Wturb = Wcomp real = Wcomp / η comp,	KJ/Kg	486.01	461.14	461.14	461.14	461.14	461.14	434.2625	397.2625
Wsal = Wturb real = η turb * Wturb	KJ/Kg	821.6	804.536	804.536	804.536	804.536	804.536	699.94	634.37
f brayton = Wcomp real / Wturb real	%	56.4%	58.1%	57.9%	57.9%	57.9%	57.9%	62.0%	62.6%
								434.26	397.26
b) "n term" Eficiencia Térmica, Cálculo								699.94	634.37
h2a - h1 - Wcomp	KJ/Kg	766.20	767.33	766.20	766.20	766.20	766.20	731.75	697.45
T2a Con entalpia h2a nos da Temp entablas	°K	749	749	749	749	749	749	749	749
q ent = h3 - h2a	KJ/Kg	991.80	990.67	991.80	991.80	991.80	991.80	1,010.55	905.55
Wneto = Wsal - Went	KJ/Kg	355.59	337.40	338.52	338.52	338.52	338.52	265.68	227.11
η term = Wneto / q Ent	%	35.85%	34.06%	34.13%	34.13%	34.13%	34.13%	26.29%	26.10%
T4 calculada: Wsalida / η turb = h3-h4a									
h4a - h3 Wturb salida	KJ/Kg	936.1	963.161	963.161	963.161	963.161	963.161	1013.9	1014.9
T4a conforme a tablas	°K	956	968	968	968	968	968	1013.9	1014.9
	°C	683	693	693	693	693	693	740.9	741.9
Q Salida TG = Q Ent CR = h4a - h1		636.27	653.274	653.274	653.274	653.274	653.274	744.87	668.44
Potencia Generada en C. Brayton	MW	368.216	188.668	188.668	188.668	188.668	188.668	269.436	138.279
Potencia Diseño @ Temp. Alimentación	MW	432.265	236.265	236.265	236.265	236.265	236.265	322.967.2	165.936.3
Wn / H2: Trabajo Neto / Calor Entrada		0.242268	0.1919278	0.192562	0.192562	0.192562	0.192562	0.152251	0.147975

G

Cuadro II.1.7 ... Análisis Ciclos de Plantas IGCC Cogeneración (Contn ...)

Análisis del ciclo ideal de Rankine bajo otras condiciones		Salamnca 1	Salamnca 2	Tula 1	Tula 2
Estado 1					
T1 de tablas @P2	°C	91.78	92	92	92
P1	Kpa	10	10	10	10
h1	KJ/Kg	384.9	384.9	384.9	384.9
v1=vf		0.00101	0.00101	0.00101	0.00101
Estado 2					
P2=P3	Mpa	15	15	15	15
s2=s1	KJ/Kg *K				
W bomba =vi(P2-P1); KJ/ Kg=KJ/Kpa m3	KJ/ Kg=KJ/Kpa	15.1399	15.1399	15.1399	15.1399
n de la bomba					
h2 = h1 + Wbomba	KJ/Kg	400.0399	400.0399	400.0399	400.0399
Ef Bomba Estimado		0.8	0.8	0.8	0.8
h2a		403.8249	403.82488	403.82486	403.8249
Estado 3					
T3	°C	520	520	520	520
	*K	793.15	793.15	793.15	793.15
P3	Mpa	15	15	15	15
	Kpa	15000	15000	15000	15000
h3	KJ/Kg	3366	3366	3366	3366
s3 (mezcla saturada)		6.6764	6.6764	6.6764	6.6764
u3 energía interna específica	KJ/Kg	3041	3041	3041	3041
v3 volumen específico	m3/Kg	0.022	0.022	0.022	0.022
Estado 4					
T4		91.78	91.78	91.78	91.78
P4 = P1	Kpa	10	10	10	10
S4 = s3 @ P3, T3	KJ/Kg *K	6.6764	6.6764	6.6764	6.6764
determinación porcentaje vapor en (4)					
x = (s4-sf) / s fg	Frac				
"st" es la entropía del líquido punto (4)	KJ/Kg *K	0.6514	0.6514	0.6514	0.6514
S fg entropía vapor saturado @ Ts	KJ/Kg *K	7.509	7.509	7.509	7.509
x = (s4-sf)/s fg. Humedad en vapor		0.8024	0.8024	0.8024	0.8024
s4 calculada		6.6764			
h fg entalpia vap .sat @P4 (calor latente)	KJ/Kg	2392	2392	2392	2392
h4 = hf +x4* hfg		2304.17	2304.1702	2304.1702	2304.17
u4 energía interna específica	KJ/Kg	2438	2438	2438	2438
v4 volumen específico	m3/Kg	2.217	2.217	2.217	2.217
Calculo de calor de entrada Q Ent					
Q Ent = (h3-h2)	KJ/Kg	2965.96	2965.9601	2965.9601	2965.96
Q Sal = (h4-h1)	KJ/Kg	1919.27	1919.2702	1919.2702	1919.27
Eficiencia ciclo Rankine =1- (Qsal/Q Ent)	Frac	0.3529	0.3529	0.3529	0.3529
La Eficiencia del ciclo se determina tambien:					
N = Wneto / Q entrada					
W neto = Q ent - Q salida		1046.69	1046.6899	1046.6899	1046.69
Eficiencia del ciclo = W neto / Q Ent		35.29%	35.29%	35.29%	35.29%
Análisis del Ciclo Rankine Real					
η turb : Eficiencia adiabática de la turbina Vap		0.78	0.78	0.78	0.78
h3-h4 Calor aprovechado	KJ/Kg	1061.83	1061.8298	1061.8298	1061.83
n*(h3 - h4) Calor neto aprovechado	KJ/Kg	828.2272	828.22724	828.22724	828.2272
Q Entrada (neto real)= (h3-h2A)*N Turb	KJ/Kg	2962.175	2962.1751	2962.1751	2962.175
Q Salida =(h4-h1)	KJ/Kg	1919.27	1919.27	1919.27	1919.27
iv) W neto Real = Q ent - Q salida	KJ/Kg	1,042.90	1,042.90	1,042.90	1,042.90
Eficiencia Real ciclo Rankine = 1 - (Qsal/Q Ent)		0.352074	0.352074	0.352074	0.352074
Relación de retroceso "γ" =W ent/ W sal		0.014465	0.0144646	0.0144646	0.014465
Eficiencia ciclo Carnot mismas T,P n=1-T1/T3	%	53.99%	53.96%	53.96%	53.96%
W/a Masa crítica de aire	Kg/s	1,013.02	588.53	1,069.42	583.19
Ww Masa crítica de vapor	Kg/s	174.9699	105.0201	190.8339	105.3966
Q Alim(CR) =W/a*(h4)=W/a*Q Salida TG	KJ / s	#####	561,139.7	1,079,657	560,072
Balance Ciclo de Vapor	Ton/H	629.89	378.07	687.00	379.43
ηC Recuperador calor (Eficiencia caldera)	%	0.85	0.85	0.85	0.85
Q Real Alim. Ciclo Rankine = mair*(h4 TG)*N caldera KJ/s		806,301	476,969	866,708	476,010
H escape Salida Recuperador de calora calor 500°K KJ/Kg					
Calor cedido al C Rankine del Recuperador calor	KJ / s	283,878	167,928	305,145	167,597
Fracción Útil Calor de gases de Tg aprovechado		0.352074	0.352074	0.352074	0.352074
Potencia generada en el Ciclo Rankine	KW	142,849	85,740	155,800	86,048
Ciclo Combinado (CC)					
Porcentaje Calor Aprovechado en C Rankine aplicable eficiencia Total CC					
Eficiencia proporcional real del C.Rankine del CC		12.40%	12.40%	12.40%	12.40%
		48.25%	46.45%	46.53%	47.97%
Potencia Teórica del CC	KW	503,065	284,309	517,825	298,025
Potencia de Diseño		575,114	324,025	590,236	340,424

Cuadro II.1.8. Ganancia IGCC, Cogeneración c/ residuales (RV o Coque) Refinerías Salamanca y Tula

Concepto	INSUMOS EN CADA OPCIÓN PROCESO						BALANCE ECONÓMICO			
	Unidad	Precio	CT Salamanca	CT Salamanca	CT Tula IGCC	CT Tula IGCC	CT Salamanca	CT Salamanca	CT Tula IGCC	CT Tula IGCC
			IGCC Coke 1	IGCC Coke 2	RV 1	RV 2	IGCC Petcoke 1	IGCC Petcoke 2	RV 1	RV 2
		USD / Unr					USD / D	USD / D	USD / D	USD / D
combustible										
Consumo GS	MMBTU	3.60	4,505	2,617	4,756	2,594	389,253.84	226,142.7	410,927.9	224,091.5
Consumo equivalente										
Gas Natural		\$0.00						-	-	-
Total Combustible										
Otros Insumos										
Capacidad de producción	T / H							-	-	-
Agua Desmineralizada (15%) de Producción	T / H	0.73	0	0	0	0	0	-	-	-
Agua de Reposición (20%) de Producción	T / H	0.29	0	0	0	0	0	-	-	-
Agua Vapor de generacion		0.73	630	378	687	379		461.1	276.7	502.9
Agua vapor de exportacion		0.73	550	0	630	0		402.6	-	461.2
Vapor (para CC)	T / H	0.00	630	378	687	379	0	0.0	0.0	0.0
Oxígeno (O2)	TPD							0.0	0.0	0.0
Total otros Insumos	USD / D						0	864	277	964
Total Combustible + Otros Insumos	USD / D						389,254	227,006	411,205	225,056
Productos										
Energía Electrica	MW	\$87.10	353	529	350	350	737,493	1,106,240	730,804	730,804
Vapor Exportación	Ton	\$12.00	550	0	630	0	158,400	0	181,440	0
Nitrogeno (N2)	TPD	\$6.07								
Bioxido de Carbono CO2	TPD	\$6.07					0			
Total Productos							895,893	1,106,240	912,244	730,804
Valor de la Producción USD / Día							506,639	879,233	501,039	505,748
días calendario por año		365								
Factor de operación		0.92								
Beneficio anualizado M USD / Año							170,129	295,247	168,249	169,830

Referencia
Datos propios –Tesis-

Cuadro II.1.9. Capital, Inversión física de opciones IGCC Cogeneración c/ residuales en refinерías

Inversión Física para IGCC refinерía con "pet coke" en MM USD					
Pet coque para IGCC Refinería					
Concepto	Unit	CT Ref IGCC 1	CT Ref IGCC 2	CT Ref IGCC 3	CT Ref IGCC 4
Potencia Real	MW-H	176.40	176.40	174.80	174.80
Potencia Total Arreglo Refinería IGCC	MW-H	352.80	529.20	349.60	349.60
Obra Civil	MM USD	82.22	123.33	81.47	81.47
tratamiento de Gas	MM USD	-4.16	6.25	4.13	4.13
Planta de H2	MM USD	0.00	0.00	0.00	0.00
Planta Separación de Aire	MM USD	48.02	72.03	47.58	47.58
Reactor Gasificador <3 Reactores>	MM USD	107.59	161.39	106.62	106.62
Tratamiento de Agua	MM USD	17.50	26.25	17.34	17.34
Tanquería Balance	MM USD	18.53	27.79	18.36	18.36
Subtotal Costo Directo	MM USD	278.02	417.02	275.49	275.49
Cambio quemadores C Rankine a GN	MM USD				
Miscelaneos	MM USD	12.17	18.26	12.06	12.06
Planta Generación de Potencia	MM USD	243.43	365.15	241.22	241.22
Ducto		0.00	0.00		
Inversión por Unidad (IGCC)	MM USD	533.62	800.43	528.78	528.78
Inversión Todas las unidades (CC)		533.62	800.43	528.78	528.78
	MM USD				
Índice Costo MMUSD / MW		1.51	1.51	1.51	1.51
Costos Variables					
Central Termoeléctrica "cogeneración"					
Concepto	Unit	IGCC Petcoke 1	IGCC Petcoke 2	IGCC Petcoke 3	IGCC Petcoke 4
Caldera Capacidad Gen Vapor	T/H	54,780	197,21	295,6	417,6
Agua Cruda - 7% -	USD / Y	68,958	68,958	68,958	68,958
Agua Desmineralizada @ 10%	USD / Y	98,512	98,512	98,512	98,512
Energía Eléctrica	USD / Y	226,354	56,198	84,241	118,998
Op. Ductos	USD / Y	0		21,060	29,749
Total	USD / Y	393,824	223,668	272,771	316,217
Gasto Agua desmineralizada Alim Calc gpm		241.21	868.37	1,301.69	1,838.75
Consumo E. Elec. Bombeo Alim Agua IBHP		459.14	113.99	170.88	241.38
Costos Fijos					
Refinería + IGCC					
Concepto	Unit	IGCC c/Petcoke 1	IGCC c/Petcoke 2	IGCC c/Petcoke 3	IGCC c/Petcoke 4
Mantenimiento	USD / Y	0	0	0	0
Administración = 30% Mantto.	USD / Y	0	0	0	0
Mano de Obra	USD / Y	265,846	265,846	398,769	398,769
Costos Fijos Totales	USD / Y	265,846	265,846	398,769	398,769
Rel. Costos Fijos / Costos Variables		13.975	37.669	16.033	11.350
		13.975411	37.668774	16.0331137	11.3502224
Costo Mano de obra mensual USD		22,153.85	22,153.85	33,230.77	33,230.77
Mano de obra mensual por turno USD		7,384.62	7,384.62	11,076.92	11,076.92
N° de trabajadores @ 3,000 USD/mes		8.00	8.00	12.00	12.00

Referencia
Datos propios

Cuadro II.1.10. "Tasa Interna de Retorno (TIR) Cogeneración Salamanca con coque

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR): Generación de Potencia en "Proyecto Cogeneración Salamanca"		IGCC e/Peteleco 2		En miles de U.S. dólares																	
Tas de Interés (i)			90.0%																		
Impuesto			32%																		
año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019				
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
Costo de Capital	80043	32072	32072	80043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Utilidad Bruta (COC) ECF/Año	0	C	C	0	264820	294820	294820	264820	294820	294820	294820	294820	264820	294820	294820	264820	294820				
Costos Fijos	0	C	C	0	5068	5068	5068	5068	5068	5068	5068	5068	5068	5068	5068	5068	5068				
Costos Variables	0	C	C	0	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135				
Costos Totales	0	C	C	0	5203	5203	5203	5203	5203	5203	5203	5203	5203	5203	5203	5203	5203				
Beneficio (Utilidad) de Operación	0	C	C	0	269817	289817	289817	269817	289817	289817	289817	289817	269817	289817	289817	269817	289817				
Depreciación	0	C	C	0	80043	80043	80043	80043	80043	80043	80043	80043	80043	80043	80043	80043	80043				
Utilidad Gravable	0	C	C	0	209874	209874	209874	209874	209874	209874	209874	209874	209874	209874	209874	209874	209874				
Impuesto 32%	0	C	C	0	67064	67064	67064	67064	67064	67064	67064	67064	67064	67064	67064	67064	67064				
Flujo Neto de Efectivo (Net Cash Flow)	-80,043	-320,172	-320,172	-30,043	222,653	222,653	222,653	222,653	222,653	222,653	222,653	222,653	222,653	222,653	222,653	222,653	196,810				
Factor de descuento	1.733	1.44	1.210	1.000	0.830	0.690	0.570	0.465	0.381	0.314	0.260	0.219	0.182	0.149	0.120	0.096	0.075				
Flujo de Efectivo descontado	135,471	451,306	384,351	30,043	85,591	154,434	128,847	107,165	86,271	74,381	61,947	51,603	42,988	36,888	30,538	25,338	20,259				
Flujo de Efectivo Descontado Acumul	-133,471	-539,886	-864,216	-1,034,261	-878,670	-724,435	-595,788	-488,623	-393,352	-324,988	-263,041	-211,438	-168,452	-132,614	-98,374	-72,114	-50,855				
Utilidad Bruta del Proyecto (\$'000)es	\$800,430.21																				
Variable a recalcular TIR																					
NPV	0																				
IRR	20.05%																				
Costo de Capital(1000's)	\$800,430.21																				
Calcular TIR	Aplicación función Excel (TIR)																				
	20.05%		20 Años																		
	17.94%		40 Años																		
	7.00%		5 Años																		
Consideraciones:																					
"Flujo de efectivo" discrecional al final del año																					
Depreciación lineal en diez años																					
Costo de capital repartido en cuatro años construcción de la curva S																					
Año 1: 10%																					
Año 2: 40%																					
Año 3: 40%																					
Año 4: 10%																					
dación de costos y otras ganancias																					

Reerencia: Datos propios –Tesis-

Cuadro II.1.11.. Tasa Interna de Retorno (TIR) Cogeneración Tula con Resido de Vacío (RV)

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)		En Miles de dólares USA															
4) Generación de Potencia con "Proyecto Cogeneración Tula"																	
Tas de Interés (i)		17.8%															
Impuesto		32%															
año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2026		
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20		
Costo Capital	52,676	211,512	211,512	52,878	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Utilidad Bruta 1030 USD / Año	0	0	0	169549	169549	169549	169549	169549	169549	169549	169549	169549	169549	169549	169549		
Costos Fijos	0	0	0	5068	5068	5038	5068	5068	5068	5068	5068	5068	5068	5068	5068		
Costos Variables	0	0	0	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135		
Costos Totales	0	0	0	5203	5203	5203	5203	5203	5203	5203	5203	5203	5203	5203	5203		
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	164346	164346	164346	164346	164346	164346	164346	164346	164346	164346	164346	164346		
Depreciación	0	0	0	52878	52878	52878	52878	52878	52878	52878	52878	52878	52878	52878	52878		
Utilidad Bravable	0	0	0	111468	111468	111468	111468	111468	111468	111468	111468	111468	111468	111468	111468		
Impuesto 32%	0	0	0	35670	35670	35670	35670	35670	35670	35670	35670	35670	35670	35670	35670		
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Fl)	-52,676	-211,512	-211,512	-52,878	128676	128676	128676	128676	128676	128676	128676	128676	128676	128676	128676		
Factor de descuento	1.633	1.387	1.178	1.000	0.8491	0.7210	0.6122	0.5198	0.4414	0.3748	0.3182	0.2702	0.2295	0.1948	0.0980		
Flujo de Efectivo descontado	-86,572	-253,300	-249,097	-52,878	109201	92773	73777	60890	50798	46228	40551	34772	29526	25071	4242		
Flujo de Efectivo Descontado Acum	-86,572	-379,133	-628,830	-681,708	-572447	-479672	-403895	-334005	-277207	-228979	-188026	-153256	-123131	-98680	0		
Utilidad Bruta del Proyecto (\$1000s)	\$169,549																
Variable a recalcular TIR																	
NPV	0																
TIR	17.77%																
costo de Capital(1000's)	528,780.05																
Calcular TIR	Aplicación función Excel (TIR) 17.77% 20 Años 15.38% 10 Años 4.49% 5 años																
Consideraciones	"Flujo de efectivo" discrecional al final del año Depreciación lineal en diez años Costo de capital repartido en cuatro años construcción de la curva S Año 1: 10% Año 2: 40% Año 3: 40% Año 4: 10%																
Asignación de costos y otras ganancias																	

Fuente : Datos propios -tesis-

Cuadro II.1.12. Cálculo Valor Presente Neto (VPN) Cogeneración Salamanca con Coque 1; (Referencia: Datos propios)

VALOR PRESENTE		IGCC		en Miles de Dolares																
Generación: de Potencia con "Proyecto Cogeneración Salamanca"		e/Petcoke 1																		
Tasa de Interés (i)		10.0%																		
Impuesto		0																		
año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2025	2026				
Costo Capital	53,362	213,448	213,448	53,362	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	169,845	169,845	169,845	169,845	169,845	169,845	169,845	169,845	169,845	169,845	169,845	169,845				
Costos Fijos	0	0	0	0	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068				
Costos Variables	0	0	0	0	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135				
Costos Totales	0	0	0	0	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203				
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	164,642	164,642	164,642	164,642	164,642	164,642	164,642	164,642	164,642	164,642	164,642	164,642				
Depreciación	0	0	0	0	53,362	53,362	53,362	53,362	53,362	53,362	53,362	53,362	53,362	53,362	53,362	53,362				
Utilidad Gravable	0	0	0	0	111,280	111,280	111,280	111,280	111,280	111,280	111,280	111,280	111,280	111,280	111,280	111,280				
Impuesto 32% -	0	0	0	0	35,610	35,610	35,610	35,610	35,610	35,610	35,610	35,610	35,610	35,610	35,610	35,610				
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)	-53,362	-213,448	-213,448	-53,362	129,033	129,033	129,033	129,033	129,033	129,033	129,033	129,033	129,033	129,033	129,033	129,033				
Factor de descuento	1.3310	1.2100	1.1000	1.0000	0.9091	0.8264	0.7513	0.6830	0.6209	0.5645	0.5132	0.4665	0.4241	0.3855	0.3505	0.3186				
Flujo de Efectivo descontado	-71,025	-258,272	-234,793	-53,362	117,302	106,638	96,944	88,131	80,119	72,835	66,214	60,195	54,722	49,748	45,306	41,842				
Flujo de Efectivo Descontado Acumulado	-71,025	-329,297	-564,090	-617,452	-500,150	-393,511	-296,567	-208,436	-128,317	-55,482	10,732	70,927	125,649	175,397	223,980	278,822				
NPV (000's)	440,622																			
Costo de Capital (000's)	533,620																			
Determinación de Anualidades (A) a partir del VPN del proyecto																				
Ejemplo 1																				
Número de Años (n)	25																			
Tasa de Interés (i)	0																			
VPN USD (000)	440,622 USD																			
A= ((i)*VPN/(1+i)^n)/((1+i)^n - 1)	37,610 USD/Año																			
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	23	24	25			
Anualidades	37,610	37,610	37,610	37,610	37,610	37,610	37,610	37,610	37,610	37,610	37,610	37,610	37,610	37,610	37,610	37,610	37,610			
Anualidades a Valor presente	35,336	33,025	30,864	28,845	26,958	25,194	23,546	22,006	20,566	19,221	17,963	16,788	15,690	14,663	7,976	7,454	6,966			

Cuadro II.1.13. Cálculo de Valor Presente neto (VPN) Cogeneración Salamanca con Coque 2; (Referencia: Datos propios)

VALOR PRESENTE NETO (VPN 2)		IGCC		En Miles de Dolares USA																
Generación: de Potencia con "Proyecto Cogeneración Salamanca"		e/Petcoke 1																		
Tasa de Interés (i)		11.0000																		
Impuesto		0																		
año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2025	2026				
Costo Capital	80,043	320,172	320,172	80,043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	294,820	294,820	294,820	294,820	294,820	294,820	294,820	294,820	294,820	294,820	294,820	294,820				
Costos Fijos	0	0	0	0	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068				
Costos Variables	0	0	0	0	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135				
Costos Totales	0	0	0	0	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203				
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	289,617	289,617	289,617	289,617	289,617	289,617	289,617	289,617	289,617	289,617	289,617	289,617				
Depreciación	0	0	0	0	80,043	80,043	80,043	80,043	80,043	80,043	80,043	80,043	80,043	80,043	80,043	80,043				
Utilidad Gravable	0	0	0	0	209,574	209,574	209,574	209,574	209,574	209,574	209,574	209,574	209,574	209,574	209,574	209,574				
Impuesto 32% -	0	0	0	0	67,064	67,064	67,064	67,064	67,064	67,064	67,064	67,064	67,064	67,064	67,064	67,064				
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)	-80,043	-320,172	-320,172	-80,043	222,553	222,553	222,553	222,553	222,553	222,553	222,553	222,553	222,553	222,553	222,553	222,553				
Factor de descuento	1.3310	1.2100	1.1000	1.0000	0.9091	0.8264	0.7513	0.6830	0.6209	0.5645	0.5132	0.4665	0.4241	0.3855	0.3505	0.3186				
Flujo de Efectivo descontado	-106,537	-387,408	-352,189	-80,043	202,321	183,828	167,206	152,007	138,188	125,628	114,205	103,523	94,384	85,834	78,592	72,274				
Flujo de Efectivo Descontado Acumulado	-106,537	-493,945	-846,135	-926,178	-723,857	-539,828	-372,721	-220,714	-82,525	43,100	157,305	281,128	385,512	441,316	478,592	507,866				
NPV (000's)	807,866																			
Costo de Capital (000's)	800,430																			
Determinación de Anualidades (A) a partir del VPN del proyecto																				
Ejemplo 1																				
Número de Años (n)	25																			
Tasa de Interés (i)	0																			
VPN USD (000)	807,866 USD																			
A= ((i)*VPN/(1+i)^n)/((1+i)^n - 1)	77,904 USD/Año																			
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	23	24	25			
Anualidades	77,904	77,904	77,904	77,904	77,904	77,904	77,904	77,904	77,904	77,904	77,904	77,904	77,904	77,904	77,904	77,904	77,904			
Anualidades a Valor presente	72,808	68,045	63,593	59,433	55,545	51,911	48,511	45,341	42,375	39,603	37,012	34,590	32,328	30,213	16,434	15,359	14,354			
Suma Anualidades a Valor Presente	325,320 USD																			

Cuadro II.1.14. Valor Presente Neto (VPN) Cogeneración Tula con Residuo de Vacío (RV) ; (Referencia: Datos propios)

VALOR PRESENTE NETO (VPN 3) Generación de Potencia con "Proyecto Cogeneración Tula"	IGCC c/Petcoke 1	En Miles de dólares USA																			
Tasa de Interés (i)	0.10000																				
Impuesto	0																				
año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2025						
Costo Capital	52,878	211,512	211,512	52,873	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	167,067	167,667	167,937	167,967	137,967	167,367	167,967	167,967	167,967	167,967	167,967						
Costos Fijos	0	0	0	0	5,068	5,068	5,038	5,068	5,068	5,363	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068						
Costos Variables	0	0	0	0	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135						
Costos Totales	0	0	0	0	5,203	5,203	5,233	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203						
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	162,764	162,764	162,734	162,764	132,764	162,764	162,764	162,764	162,764	162,764	162,764						
Depreciación	0	0	0	0	52,070	52,070	52,070	52,070	52,070	52,373	52,070	52,070	52,070	52,070	52,070						
Utilidad Gravable	0	0	0	0	110,694	110,694	110,664	110,694	80,694	110,694	110,694	110,694	110,694	110,694	110,694						
Impuesto 32% -	0	0	0	0	35,822	35,822	35,800	35,822	25,822	35,822	35,822	35,822	35,822	35,822	35,822						
Flujo Neto de Efectivo (NetCash)	52,878	211,512	211,512	52,873	127,601	127,601	127,601	127,601	127,601	127,601	127,601	127,601	127,601	127,601	127,601						
Factor de descuento	1.3310	1.2100	1.1000	1.0000	0.9090	0.8264	0.7513	0.6800	0.6209	0.5645	0.5132	0.4665	0.4241	0.3855	0.1406						
Flujo de Efectivo descontado	-70,381	-255,930	-232,863	-52,873	116,000	105,455	95,838	87,153	79,230	72,327	65,479	59,527	54,115	49,198	16,452						
Flujo de Efectivo Descontado Acumulado	-70,381	-326,310	-558,973	-611,851	-465,850	-390,396	-294,528	-207,375	-128,145	-56,117	9,362	68,889	123,004	172,199	434,399						
NPV (000's)	434,399																				
Costo de Capital (000's)	528,780																				
Determinación de Anualidades (A) a partir del VPN del proyecto																					
Ejemplo 1																					
Número de Años (n)	25																				
Tasa de Interés (i)	0																				
VPN USD (000)	434,399 USD																				
$A = \frac{VPN}{i} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	37,276 USD/año																				
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	24	25					
Anualidades	37,276	37,276	37,276	37,276	37,276	37,276	37,276	37,276	37,276	37,276	37,276	37,276	37,276	37,276	37,276	37,276					
Anualidades a Valor presente	34,837	32,568	30,428	28,433	26,577	24,830	23,214	21,895	20,726	19,693	17,710	16,561	15,468	14,456	7,349	6,888					

Cuadro II.1.15. Valor Presente neto (VPN) Cogeneración Tula c/ Residuo de Vacío; (Referencia: Datos propios)

VALOR PRESENTE NETO (4) Generación de Potencia con "Proyecto Cogeneración Tula"	IGCC c/Petcoke 1	En Miles de dólares USA																			
Tasa de Interés (i)	0.10000																				
Impuesto	0																				
año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2026						
Costo Capital	52,878	211,512	211,512	52,878	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	169,510	169,510	169,510	169,510	169,510	139,510	169,510	169,510	169,510	169,510	169,510						
Costos Fijos	0	0	0	0	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068	5,068						
Costos Variables	0	0	0	0	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135						
Costos Totales	0	0	0	0	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203	5,203						
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	164,346	164,346	164,346	164,346	164,346	134,346	164,346	164,346	164,346	164,346	164,346						
Depreciación	0	0	0	0	52,070	52,070	52,070	52,070	52,070	52,070	52,070	52,070	52,070	52,070	52,070						
Utilidad Gravable	0	0	0	0	112,276	112,276	112,276	112,276	112,276	82,276	112,276	112,276	112,276	112,276	112,276						
Impuesto 32% -	0	0	0	0	35,929	35,929	35,929	35,929	35,929	26,728	35,929	35,929	35,929	35,929	35,929						
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)	52,878	211,512	211,512	52,878	128,676	128,676	128,676	128,676	128,676	128,676	128,676	128,676	128,676	128,676	128,676						
Factor de descuento	1.3310	1.1100	1.0000	0.9090	0.8264	0.7513	0.6800	0.6209	0.5646	0.5132	0.4666	0.4241	0.3856	0.1406							
Flujo de Efectivo descontado	-70,381	-255,930	-232,863	-52,878	116,314	105,778	96,178	87,887	79,696	72,654	65,631	60,028	54,571	49,310	16,612						
Flujo de Efectivo Descontado Acumulado	-70,381	-326,310	-558,373	-611,851	-434,873	-388,330	-291,353	-203,966	-124,066	-51,424	14,597	74,625	129,196	178,303	443,554						
NPV (000's)	443,554																				
Costo de Capital (000's)	528,780																				
Determinación de Anualidades (A) a partir del VPN del proyecto																					
Ejemplo 1																					
Número de Años (n)	24																				
Tasa de Interés (i)	0																				
VPN USD (000)	443,554 USD																				
$A = \frac{VPN}{i} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	38,673 USD/año																				
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	24	25					
Anualidades	38,673	38,673	38,673	38,673	38,673	38,673	38,673	38,673	38,673	38,673	38,673	38,673	38,673	38,673	38,673	38,673					
Anualidades a Valor presente	36,143	33,778	31,563	29,503	27,573	25,730	24,067	22,508	21,038	19,659	18,373	17,171	16,048	14,993	7,624	7,125					

II.14. Conclusiones:

Los resultados muestran que: las dos opciones evaluadas para el aprovechamiento del residuo de vacío, la coquizadora resultó más atractiva que la planta IGCC de residuo, ya que presenta mayor rentabilidad, incrementa la producción de gasolina y elimina la producción de combustóleo (la IGCC sólo destruye 17 MBPD manteniendo producción de 30 MBPD) de COPE.

1. Adicionalmente, la IGCC de residuo presenta rentabilidad aceptable que debe verificarse en mayor detalle al diseñar. Requiere colocación de 238 MW en Sistema Eléctrico Nacional.
2. Agregar una planta IGCC de coque a la alternativa de coquizadora "es buena decisión" sobre la disminución de producción de combustóleo. Incrementa la rentabilidad por suministro a la refinería electricidad y vapor a menores costos y, venta excedentes eléctricos a terceros.
3. En caso que la planta IGCC sea desarrollada por otro inversionista público, o privado, será necesario revisar el esquema de negocios que se proponga para asegurar mayor beneficio a Pemex.
4. **De los 62.5MW** que demanda la Refinería actualmente, solamente 1 MW proviene de la CFE o del porteo, Para realizarse el proyecto en terreno de la Refinería Salamanca o cercano al Activo que se señale

Planeación siguientes etapas:

1. Se propone analizar y evaluar con mayor detalle la factibilidad técnica y económica de la alternativa con IGCC de coque, así como las diferentes alternativas para destino del gas de síntesis a procesos petroquímicos; tales como producción de "gasolina sintética", amoníaco, generación eléctrica en CFE donde haya desabasto o escases de gas natural y/o las restricciones ambientalistas no permitan emplear combustóleo o residuales.

Otras consideraciones

1. Por la entrada en operación de infraestructura nueva. No considera alguna baja en proceso
2. No se considera curva de aprendizaje para flujos iniciales.
3. La inversión IGCC residuo de vacío e, IGCC coque; f(valores publicados por CFE en COPAR (1) 2006).
4. Los costos de operación del caso base y de reconfiguración coquizadora son f(datos propios)
5. No se consideran costos adicionales por la utilización del vapor y energía eléctrica de las IGCC's.
6. Las calderas de menor eficiencia que han concluido vida útil serán sustituidas por IGCC: f(GN/COPE)
7. Para definición de las IGCC' implica estudio detallado y diseño adecuado al balance de Salamanca.
8. La tarifa de energía eléctrica se calculó en función de TIR >LIBOR y recuperación de capital.

II.2. Cogeneración Energía y Vapor En Nueva Refinería.

Objetivos del Sub capítulo:

1. El primer objetivo del estudio es determinar la capacidad de proceso de crudo que produzca 8,000 Ton/D de coque para confirmar su respectiva demanda de vapor de proceso
2. El segundo objetivo es la determinación del esquema óptimo de cogeneración de vapor y potencia que satisfaga el requerimiento del primer objetivo
3. Determinación del esquema óptimo de viabilidad agregada de la Refinería Bicentenario más Cogeneración de vapor y potencia.

Contenido

Optimización

1. Descripción de proyecto: opciones de análisis, precios, y premisas
2. Balance Económico de productos de refinación
3. Determinación de consumo de vapor de proceso (T/Hr)
4. Balance Refinería y, balance coquizadora, producción destilados y coke
5. Factibilidad financiera de Proyecto
6. Viabilidad Refinería aislada (por si sola
7. Refinería agregada a cogeneración (IGCC)
8. Cogeneración de vapor y potencia proceso IGCC usando coke y Residuo de Vacío
- 8.1 Balance de materia y energía de vapor
- 8.2 Ciclo combinado /CC)
9. Balance Económico
- 9.3 Beneficio o Ganancia Bruta
- 9.4. Análisis de Factibilidad Financiera

10. Conclusiones

II.2. Cogeneración energía y vapor en Nueva Refinería (Bicentenario).

El Ejecutivo Federal, ante la necesidad de resolver el déficit de gasolinas que se tiene en el País de conformidad al dictamen del balance de oferta demanda del combustible; ha decidido resolver esa situación mediante el desarrollo de un proyecto de una refinería de petróleo coloquialmente nombrada "Refinería Bicentenario, con lo cual se busca resolver el problema del tratamiento de "fondo de barril" mediante la generación potencia con residuales y, reducción de contaminantes atmosféricos, los cuales son problemas urgentes encontrados en esa misma sinergia que de paso sirve de apoyo a la sustentabilidad y a la solución al problema del control climático.

Para la materialización de la propuesta del Ejecutivo Federal antes descrita se efectuó un análisis de factibilidad de la inversión agregada del proyecto en su conjunto de una refinería de petróleo y una planta de generación de potencia mediante el análisis de la combinación de varios esquemas de proceso en cuya probada tecnología a esa escala, se tienen los procesos más ventajosos de Refinación tradicional del petróleo integrada a una planta coquizadora para mayor rendimiento de gasolinas. Además, en aprovechamiento del coque producido y/o residuales, se integran a un proceso de gasificación para alimentación de una planta de cogeneración de vapor y electricidad con ciclo combinado, resolviendo el problema de "fondo de barril" y la reducción de contaminantes atmosféricos producto de la recuperación de azufre elemental.

La viabilidad del proyecto se ha analizado incluyendo los bienes de capital involucrados al considerar su inversión y costos de operación, los que, se descuentan de la utilidad producida por la venta de los productos de su operación comercial con lo que se obtiene la tasa interna de retorno y/o el valor presente neto que ese proyecto reditúa tanto de manera agregada de sus componente como de manera aislada para cada uno de ellos.

II.2.1. Descripción Proyecto Refinería Bicentenario mas cogeneración (IGCC)

Desarrollo de una nueva refinería de petróleo crudo de 330,000 Barriles/D (BPD) en dos módulos de 165,000 BPD, que incluirían el proceso de coquización que, estaría integrado al fraccionamiento primario convencional y sus plantas de tratamiento. Las "2 plantas de coquización retardada", necesarias, cada una será alimentada con residuo de vacío a razón de 60,500 a 72.000 Bl/D para la producción total de 15,800 BPD de gasolinas, 67,600 BPD de gasóleos, mas 7,716 BPD de ligeros, y 8,000 Ton/D de coque. Nótese la pérdida de volumen de líquidos de 30,000 a 40,000 BPD de los productos respecto la carga por su conversión en coque.

Para aprovechar este último producto, se plantea una sinergia mediante el proceso de gasificación integrada a un ciclo combinado (IGCC) que permita la cogeneración de 390 Ton/Hr de vapor de alta presión para alimentación al proceso de la refinería, junto a la producción de 325 a 352 MW-Hr de potencia de exportación, de los cuales la nueva refinería consumirá alrededor de 180 MW-H de potencia. Estos últimos datos fueron tomados del balance de masa y energía de las opciones que se desagregan enseguida:

Opciones de proceso que se analizan:

- a Refinería Convencional:330,000 BPD + Cogeneración (IGCC)
- b) Refinería Convencional 330,000 BPD exportación R.V a Cogeneración (IGGC).
- c) Refinería Convencional 330,000BPD + Coker exporta coque a cogeneración (IGCC).

II.2.2 Precios:del proyecto cogeneración con nueva Refineria

En el análisis de factibilidad, los precios de insumos y productos son de suma importancia ya que su efecto es decisivo sobre la rentabilidad y recuperación de capital, los cuales cambian la decisión entre una y otra opción analizada; como es “el caso de cogeneración con pet-coque contra residuo de vacío” donde los precios por millón de BTU’s favorecen a la opción “pet-coque” contra residuales”. Mientras que para la opción de la nueva refinería considerando los combustibles anteriores, resulta lo contrario.

Los precios de los derivados del petróleo están referidos a los del mercado de la Costa del Golfo de México en EUA. En cuanto los costos de servicios, son los de PEMEX obtenidos por el IMP con datos de esa empresa. Debido a la especulación del mercado del petróleo los precios de sus derivados en el periodo de 2002 a 20010, han tenido cambios de 3.7 veces, mientras que los del hierro y el acero que impacta los precios de los bienes de capital han tenido un cambio inflacionario de 1.20449, por lo que la medición de la sensibilidad de esos parámetros de evaluación tiene diferente grado de efecto dada la baja elasticidad entre ambos variables a pesar de la “no elasticidad” que caracteriza a cada una en su propio mercado y en el “mercado común” entre ambos insumos.

II.2.3. Premisas para el proyecto:

- 1). Costo “Petcoke” a IGCC 30 USD/Ton; Incluye manejo producto, cenizas y, escoria
- 2). Costo Residuo de Vacío 32 a 40 USD/Barril.
- 3). Costo Potencia Generada 78 USD / MW-H
- 4). Costo Vapor de Exportación 12 USD /Ton
- 5). Costo (precio) Azufre recuperado 30.2 USD/Ton
- 6) Costo Coque producto DCU 28.0 a 45.0 USD/Ton

II.2.4. Balance Económico en función del proceso de refinación [4]

Mediante la aplicación de resultados de un modelo de refinación, se tiene el balance de derivados del petróleo como productos terminados, del que se obtiene la “ganancia anual” de la nueva refinería, en aplicación de los precios oficiales que están indexados a los del mercado del Golfo de México en E.U.A.

II.2.5. Determinación de consumo de vapor de proceso

En aplicación de los índices publicados por la revista Hydrocarbon Processing Industry de 2004, 2006, y 2008; se emplearon para hacer el balance de consumo de vapor de proceso de la refinería, lo cual se muestra en el cuadro (II.2.) de balance de demanda de servicios de conformidad a la capacidad de las plantas de proceso que integran una

⁴ A-1, A-2.1 Mapa Proceso del Crudo, y Balance Refinería Tipica; , Bibliografía a), e), g) h)

refinería modular de 165,000 Bls/D. Por lo que se obtuvo la cantidad de 184 T/H de demanda de vapor para proceso, cerrándose a 190 T/H I.

II.2.6. Balance Refinería y, balance coquizadora, producción destilados y coque

En función de la composición típica del petróleo crudo, en el cuadro (II.2.), se hace un balance tentativo de la producción de destilados de refinación para un módulo de 165,000 Bls/día. Balance donde se aprecia la gran importancia que tiene la producción de combustoleo producto formado de residuos de vacío, y residuo catalítico ocupando una proporción de 36% a 40% de diluyente compuesto por fracción de diluentes (kerosina y ACL) que tienen la propiedad de disolución de asfaltenos presentes en el residuo para homogenizar el producto final.

El combustoleo es la fracción de destilación del crudo con el menor valor comercial ocupa 30% o más de los destilados por barril. Se tienen problemas por su bajo consumo por restricciones ambientalistas producen baja en su consumo esa condición de bajo consumo, operacionalmente se conoce como “ahogamiento de la refinería” o problema de “fondo de barril”, por lo que la solución de emplear “residuales” para alimentación de una planta coquizadora en obtención de ligeros, gasolina y gasóleos y coque; resulta buena solución al problema del “fondo de barril”.

Existe la opción de emplear los residuales en alimentación de una planta de cogeneración de vapor y potencia para exportación de ambos servicios hacia la nueva refinería con recuperación de azufre, reduciendo las descargas contaminantes de SO_x a la atmósfera en el uso final del combustible. En los cuadros 4A, y 4B, se relacionan rendimientos de la operación de una planta coquizadora similar a la de la Refinería Cadereyta; que emplea la tecnología Foster Wheeler. En aplicación de los valores de esa planta, resulta de primordial interés el uso del coque en la sinergia que se intenta con ese combustible para la cogeneración de 390 T/H de vapor de exportación y, 356 MW-H de generación de potencia.

Fig. II.2.1 Diagrama General de Flujo de Refinería Convencional <Datos propios>

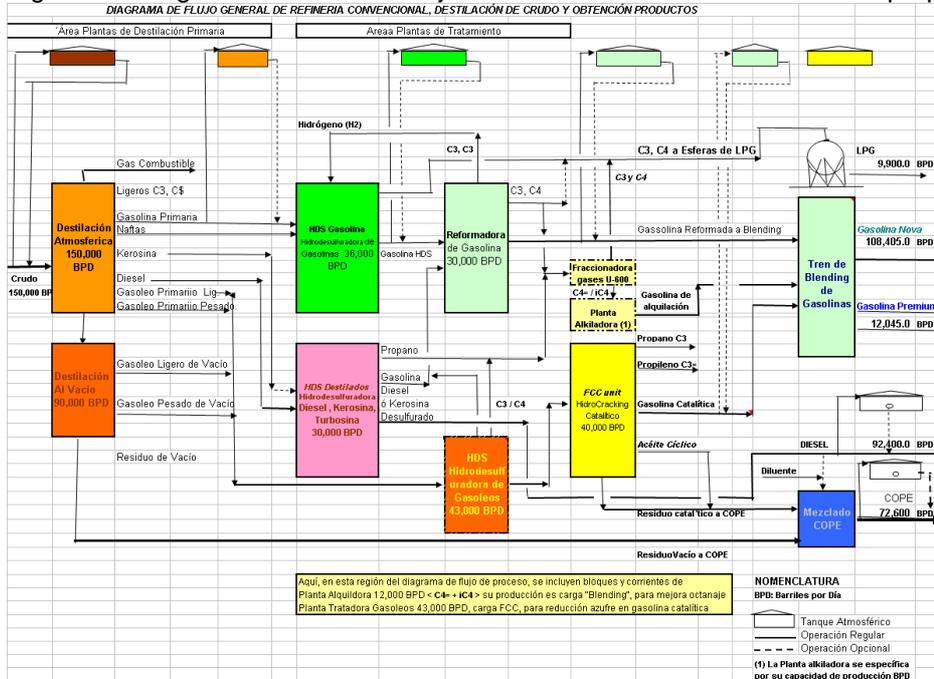
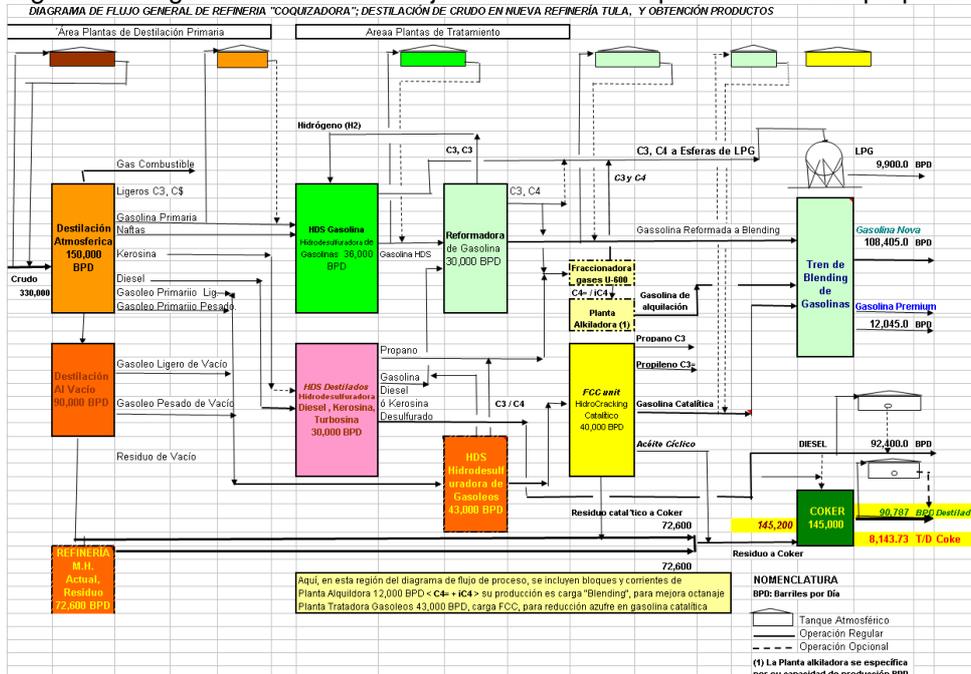


Fig. II.2.2 Diagrama General de Flujo de Refinería Coquizadora <datos propios>



II.2.7. Factibilidad financiera para determinación de viabilidad del Proyecto:

Se calculan los parámetros “Tasa Interna de Retorno” (TIR), “Valor Presente Neto” (VPN) del método de análisis financiero de “flujo de efectivo descontado” en sus diversas fases contables, empleando la información de estructuras de “capital”, y de “Gastos de operación”, y “Gastos fijos” cotejados a los datos de una refinería existente de similar capacidad, mismos que fueron actualizados a 2010 empleando para ello el índice de inflación de los Estados Unidos de América, cuya variación es 1.2043 en el lapso 2002 a 2010.

II.2.8. Viabilidad financiera Refinería aislada (por si sola o “stand alone”)⁵

Con la determinación de la TIR y el VPN para las diferentes combinaciones (opciones) de arreglo de proceso y obtención de productos finales de los casos de producción de residuo de vacío (RV) y coque para cogeneración, con lo que se dará solución al problema de “fondo de barril” que afecta la operación de refinerías junto a, la reducción de contaminantes atmosféricos.

II.2.9. Viabilidad financiera Refinería agregada a cogeneración (IGCC):

En el ejercicio se determina de manera agregada la “tasa interna de retorno” (TiR) y “el valor presente neto” (VPN), parámetros determinados en función de la “ganancia bruta” en cada caso; afectada por el costo de capital, costos de operación y costos fijos de la refinería “aislada” y, de la cogeneración aislada, cuyos resultados por separado se reflejan en el efecto agregado entre ambos procesos de producción. Entre los cuales, tiene mayor efecto el de la refinería dado los volúmenes de producción de ambos procesos que en términos de inversión de capital y ganancia bruta es de más de “4 a 1”, estadística con la que, se genera la serie de flujo de efectivo descontado en sus diversas fases contables que incluyen depreciación en línea recta y 31% de ISR, proyectándose el flujo a veinte años que en términos generales es “el tiempo de vida media” de esos recurso de producción

II.2.10. Cogeneración energía y vapor proceso IGCC Coque y Residuo de Vacío [6]

Se analiza la viabilidad de hacer la gasificación mediante el proceso Fischer Tropch usado para la producción de “gas de síntesis” (GS) que se emplea en el esquema de proceso “Gasificación Integrada a Ciclo Combinado” (IGCC). Opcion en la que se evalúa la obtención de “gas de síntesis” a partir de coque del petróleo, determinándose la cantidad de vapor de exportación necesario hacia la nueva refinería, lo cual, es uno de los objetivos del estudio de viabilidad de este proyecto. Es inevitable cuando se elige la gasificación via coque;, será necesario que la nueva planta, pueda también gasificar residuo de vacío para cuando no se tenga coque por paro de la planta “couizadora” de la refinería.

II. 2. 11. Balance de materia y energía

a) Se determina el consumo modular de “gas de síntesis” (GS) por millón de BTU a partir del poder calorífico inferior del “gas de síntesis para obtener la cantidad necesaria

⁵ A-1; Bibliografía b), i) Valor del dinero en el tiempo; Cálculo de TIR, VPN

⁶ A-2.1; y Balance Disponibilidad de combustibles residuales Capítulo I

del combustible por millón de BTU, que se emplea como “índice” para cálculo del consumo total del “GS” para la capacidad térmica total requerida en cualquiera de los casos, con solo multiplicar “el índice” por la cantidad de millones de BTU en función de los MWH especificados en cada aplicación. Ver fig. II.2.5, Diagrama de Flujo de Refinería convencional, y Fig. II.2.6 Diagrama de flujo Refinería Coquizardota, que muestran el balance general de productos y carga de crudo.

b) Consumo de combustible y aire

Partiendo del balance estequiométrico de la reacción de combustión se calcula el combustible necesario que puede ser como gas de síntesis, coque o residuo de vacío empleando su respectivo poder calorífico inferior para calcular la masa teórica de combustible que la aplicación requiere. Empleando la eficiencia termodinámica del ciclo combinado se obtiene la masa real de combustible que debe usarse en la aplicación.

c) Consumo de agua para generación de vapor

Con el balance termodinámico de aire y agua empleando las entalpías específicas del aire y el agua a la entrada y salida del proceso, se determina la cantidad de agua que puede evaporarse a las condiciones de presión y temperatura que la calidad del vapor necesario requiere en la aplicación.

A). Ciclo combinado /CC) [7

En función de la tecnología disponible de fabricantes, se fijaron las condiciones de operación de relación de presión, y temperatura de alimentación para la turbina de gas y con la presión y temperatura óptimas de vapor para alimentación de la turbina de vapor. Condiciones con las que se logra mas altas eficiencias de ciclos Braytón, y Rankine que forman el ciclo combinado aplicado

B). Ciclo Brayton

Con temperatura de 1325° C y relación de presión de 14 y 16, se determina la eficiencia del ciclo Brayton, cuya aplicación de “gas de síntesis” con poder calorífico tres veces menor que el gas natural, implica el consumo del triple de masa de ese combustible respecto del gas natural, combustible con el que está diseñada la tecnología disponible de turbinas de gas, que al ocupar una masa mayor de gas de alimentación; el volumen de gases de combustión producidos son del triple de aplicaciones normales con gas natural; que la conversión de energía cinética en presión o impulso se hace en rango mayor, que implica mayor reversibilidad reflejada en la menor eficiencia de compresor y turbina, resultando menor eficiencia termodinámica y mecánica del equipo y del ciclo.

C). Ciclo Rankine

Las condiciones del vapor de alimentación del ciclo Rankine son usuales en aplicaciones de CFE 15 MPa y 520°C, calidad de vapor que determinó la eficiencia termodinámica del ciclo Rankine que complementa la recuperación de calor en “un tercio” de la potencia total generable en el ciclo combinado.

⁷ A-1 Definición de Ciclos Temodinámicos.

D). Parámetros de comportamiento

En complemento al análisis del ciclo combinado se obtuvieron sus parámetros de comportamiento, en uso de las propiedades termodinámicas de cada caso dándose mayor referencia de la operabilidad que puede esperarse de los equipos empleados.

II.2.12. Balance Económico

En función del balance de masa y energía de la reacción de combustión, se determina el consumo de combustible que en aplicación del precio calculado mediante su estructura de costo del combustible o de los combustibles coque y residuo de vacío cuyo precio esta definido en el mercado nacional en función del mercado de la costa del Golfo de México en USA, con esos datos se procede a calcular la “ganancia gruesa o bruta” para hacer el análisis económico correspondiente. Los resultados pueden observarse en los cuadros de “ganancia gruesa” y en análisis de flujo de efectivo de la aplicación

II.2.13. Insumos

Los insumos son a saber: combustibles y servicios de agua cruda y agua tratada.

a) Combustible (s)

El consumo de combustible es resultado del balance estequimétrico de masa y energía de la reacción de combustión ilustrado en cuadros de resultados, dividiendo la masa teórica obtenida por la eficiencia total del ciclo combinado. Lo cual se hace para “gas de síntesis”, coque, o residuo de vacío en las alternativas que se analizan

b) Servicios

Los servicios empleados son agua de repuesto, agua desmineralizada y el manejo de combustible como: elevadores de canjilones o bombeo de “residuo de vacío. Mismos que se reflejan en los gastos fijos y gastos variables de cada opción analizada

II.2.14. Productos

La cogeneración tiene como meta la exportación de vapor de alta calida de presión y temperatura hacia la nueva refinería, así como la exportación de potencia hacia la nueva refinería y el remanente hacia la red nacional eléctrica de la CFE. Con esos productos y alguno otro como nitrógeno del aire, se obtiene la ganancia de la operación restándole el costo de los insumos definidos con anterioridad.

a) Vapor

Mediante el balance de servicios de la refinería se establece que deben exportarse 380 Ton/Hr desde la planta de cogeneración a la nueva refinería. Conviene señalar que se trata de vapor alta calidad a 15MPa (150 Bar) y 520°C. Condición con la que podría obtenerse aun más cantidad de vapor atemperándolo a las condiciones normales que se emplean en el proceso (19Kg/cm² man y 272°C) o para activación de turbinas con descarga de vapor a compresión para calentamiento.

b) Potencia.

En función del combustible disponible de 8,000ton/D y los datos del balance de masa y energía satisfaciendo los requerimientote vapor de proceso, se calcula la capacidad de generación de potencia en función de la energía térmica que deja disponible ese primer requerimiento a la cogeneración. De lo cual pueden obtenerse 355 y 325 MW-H. Si para la primera capacidad el vapor se genera en un “recuperador de calor”

directamente sin pasar toda la masa de gases de combustión por la turbina de gas. Y, para 325 MW-H de capacidad que es menor en 30 MW-H que la primera, toda la masa de gases de combustión pasarían por la turbina de gases para luego ser llevados al recuperador de calor

c) Otros

En virtud de que el esquema de proceso de cogeneración implica la producción de “gas de síntesis”, lo cual implica el consumo de consumo de oxígeno desde una planta propia fraccionadora de aire, dejando el nitrógeno separado del aire listo a ser exportado hacia otras aplicaciones, con cuya venta se obtendrían mayores beneficios de la cogeneración. Asimismo, el gas de síntesis obtenido podría llevarse a otros procesos para obtención de amoníaco metanol y petroquímicos

II.2.15. Beneficio o Ganancia Bruta

La Ganancia de cada opción analizada se obtiene multiplicando el consumo de insumos por su precio, restado del valor de la suma obtenida de la cantidad de productos por su precio. Esta operación que se hace en régimen diario se anualiza para ser descontarle los costos de operación: fijos y variables de cada opción vista

II.2.16. Análisis de Factibilidad Financiera. [8]

Con los datos de la ganancia gruesa y los costos de operación se elabora el flujo de efectivo descontado, serie de valores obtenidos aplicando “el interés compuesto” para calcular en cuanto tiempo y a que rendimiento puede recuperarse la inversión de capital.

a) Cálculo de Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno TIR es un parámetro del método de flujo de efectivo descontado empleado en el análisis financiero para inversiones de capital, permite conocer como se refleja el valor del dinero en el tiempo,

b) Cálculo de Valor Presente Neto (VPN)

El parámetro de Valor Presente Neto se calcula a tasa interna de diez por ciento (10%). Interés al que se calcula el valor que puede recuperarse “en el momento presente” de cada opción analizada,.

c) Análisis de Sensibilidad.

Se analiza la sensibilidad de los parámetros de viabilidad del proyecto ante los cambios de precio de insumos (combustible, y crudo), así como capital, que ha permitido observar las variaciones de “tasa interna de retorno” (TIR) y valor presente neto (VPN); que cada opción analizada, tiene por modificación del valor de precio de combustible, y capital dentro de un porcentaje de 0% a +/- 20%. Los resultados de los valores TIR de cada opción son superiores a la tasa de rendimiento interno mínima, por lo que este análisis puede hacerse con mayor libertad. Las variaciones de los valores de las variables escogidas son análogas al comportamiento que tiene baja “elasticidad” tanto en el capital afectado por el precio del acero como la que se tiene por las variaciones del mercado de los derivados del petróleo; cuyos resultados se ilustran en los gráficos de TIR y VPN. Siendo más acentuado para el cambio de precio del combustible que para la inversión de capital, para TIR como para VPN

⁸ A-1: TIR, y VPN definición y cálculo de TIR, y VPN. Además ver capítulo XI de este estudio Gráficos de conclusiones

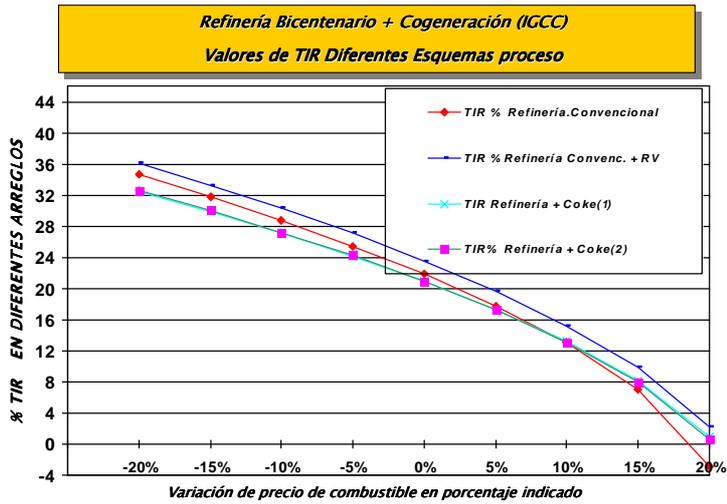
Cuadro II.2.1. Resumen de Optimización Refinería + Cogeneración (RV, Coque)

Refinería Bicentenario + Cogeneración de Vapor y Potencia con IGCC, Tula, Hidalgo					
1. Datos generales del proyecto Refinería Bicentenario más Cogeneración con IGCC					
Para realizarse el proyecto en Tula, Hidalgo					
Caso analizado	No.	1	2	3	4
Concepto	Unidades	Refinería Convencional + cogeneración	Refinería Convencional cogeneración 2 con RV	Refinería Coker + cogeneración 3 con Coke (1)	Refinería Coker + cogeneración 4 con Coke (2)
Lugar		Tula	Tula	Tula	Tula
Proceso					
Capacidad Modular Crudo a Refinación	BPD	164,954.0	164,954.0	164,985.1	164,985.1
Capacidad Total Crudo a Refinación	BPD	329,907.9	329,907.9	329,970.2	329,970.2
Capacidad Modular Productos de Refinación	BPD	164,994.2	164,999.3	143,480.2	143,480.2
Capacidad Total Productos de Refinación	BPD	329,988.3	329,998.6	286,960.4	286,960.4
Capacidad producción de Coke	TPD	-	-	8,000.0	8,000.0
Cogeneración					
Pot. Actual por unidad IGCC	MW	176.3	163.4	176.3	163.4
Pot. Actual Total IGCC	MW	352.6	326.8	352.6	326.8
Capacidad Total Vapor Exportación	T/ Hr	380.0	380.0	380.0	380.0
Combustible		residuo de Mado	Residuo de Vacío	petcoke	petcoke
Finanzas < Capital >					
Inversión Modulo Refinería (165MBPD)	MM USD	1,281.8	1,281.8	1,582.9	1,582.9
Inversión Total Refinería (330 MBPD)	MM USD	2,563.6	2,563.6	3,165.9	3,165.9
Inversión Total Cogeneración IGCC	MM USD	730.4	686.6	730.4	686.6
Inversión Total refinería Bicentenario + IGCC	MM USD	3,293.9	3,250.2	3,896.2	3,852.5
TIR % "Refinería + IGCC cogeneración"	%	22.703%	24.5%	20.9%	20.9%
VPN "Refinería + IGCC cogeneración"	M USD	6,303,608.3	5,774,244.3	5,598,361.8	5,707,841.2

Cuadro II.2.2. Sensibilidad de Sinergia Refinería+ Cogeneración IGCC (Coque ó RV)

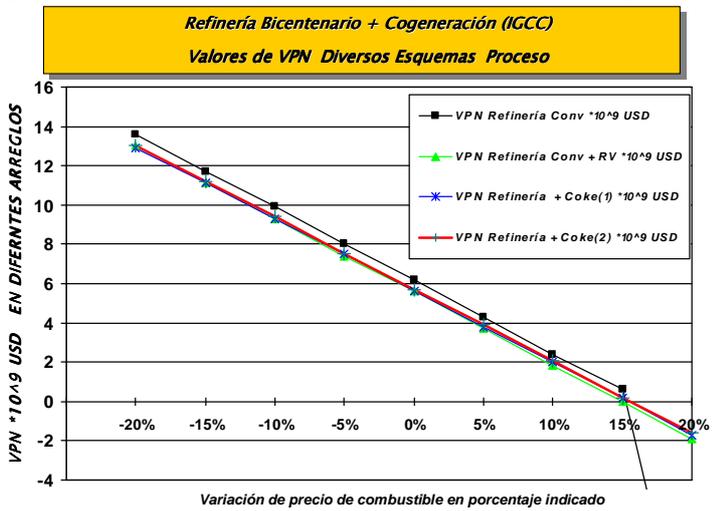
Refinería Bicentenario + Cogeneración Vapor y Potencia con IGCC tula, Hidalgo										
Análisis de Sensibilidad										
Variación de precio de combustible										
No.	Factor de Incremento precio Combustible	Incremento % precio Combustible	TIR % Normal @ incremento precio Comb.	VPN Conv *1000 USD	TIR Conv+RV %	VPN Conv+RV*1000 USD	TIR Conv + Coke(1) %	VPN Conv + Coke(1)*1000 USD	TIR Conv + Coke(2) %	VPN Conv + Coke(2)*1000 USD
1	1.2	20%	-2.87%	-1292930.5	2.30%	-1891196.69	1.04%	-1673883.87	0.62%	-1593048.39
2	1.15	15%	7.11%	569865.15	9.88%	-26401.0393	8.19%	151338.515	8.01%	232174
3	1.1	10%	13.06%	2432660.8	15.24%	1834394.61	13.19%	1976560.9	13.10%	2057396.39
4	1.05	5%	17.76%	4295456.45	19.66%	3697190.26	17.30%	3801783.29	17.26%	3882618.78
5	1	0%	21.81%	6158252.1	23.55%	5599895.91	20.88%	5627005.68	20.89%	5707841.17
6	0.95	-5%	25.43%	8021047.75	27.05%	7422781.56	24.12%	7452228.07	24.16%	7533063.56
7	0.9	-10%	28.74%	9883843.4	30.28%	9285577.21	27.09%	9277450.46	27.16%	9358265.94
8	0.85	-15%	31.81%	11746639	33.28%	11148372.9	29.86%	11102672.8	29.96%	11183508.3
9	0.8	-20%	34.68%	13609434.7	36.10%	13011168.5	32.464%	12927895.2	32.59%	13008730.7
No.	Factor de Incremento precio Combustible	Incremento % precio Combustible	TIR % R.Conv. @ incremento precio Comb.	VPN Conv *10^9 USD	TIR Conv+RV %	VPN Conv+RV *10^9 USD	TIR Conv + Coke(1) %	VPN Conv + Coke(1) *10^9 USD	TIR Conv + Coke(2) %	VPN Conv + Coke(2) *10^9 USD
1	1.2	20%	-2.87%	-1.2929305	2.30%	-1.89119669	1.04%	-1.67388387	0.62%	-1.59304839
2	1.15	15%	7.11%	0.56986515	9.88%	-0.02640104	8.19%	0.15133852	8.01%	0.232174
3	1.1	10%	13.06%	2.4326608	15.24%	1.83439461	13.19%	1.9765609	13.10%	2.05739639
4	1.05	5%	17.76%	4.29545645	19.66%	3.69719026	17.30%	3.80178329	17.26%	3.88261878
5	1	0%	21.81%	6.1582521	23.55%	5.59989591	20.88%	5.62700568	20.89%	5.70784117
6	0.95	-5%	25.43%	8.02104775	27.05%	7.42278156	24.12%	7.45222807	24.16%	7.53306356
7	0.9	-10%	28.74%	9.8838434	30.28%	9.28557721	27.09%	9.27745046	27.16%	9.35826594
8	0.85	-15%	31.81%	11.746639	33.28%	11.1483729	29.86%	11.1026728	29.96%	11.1835083
9	0.8	-20%	34.68%	13.6094347	36.10%	13.0111685	32.464%	12.9278952	32.59%	13.0087307
Incremento % precio		20%	15%	10%	5%	0%	-5%	-10%	-15%	-20%
TIR % R.Conv. @ incremento		-2.866%	7.108%	13.057%	17.764%	21.813%	25.433%	28.742%	31.808%	34.677%
VPN Conv *10^9 USD		(1.2929)	0.5699	2.4327	4.2955	6.1583	8.0210	9.8838	11.7456	13.6094
TIR Conv+RV %		2.30%	9.88%	15.24%	19.66%	23.55%	27.05%	30.28%	33.28%	36.10%
VPN Conv+ RV *10^9 USD		(1.8912)	(0.0284)	1.8344	3.6972	5.5600	7.4228	9.2856	11.1484	13.0112
TIR Ref + Coke(1) %		1.04%	8.19%	13.19%	17.30%	20.88%	24.12%	27.09%	29.86%	32.46%
VPN Ref + Coke(1) *10^9 USD		(1.6739)	0.1513	1.9766	3.8018	5.6270	7.4522	9.2775	11.1027	12.9279
TIR Ref + Coke(2) %		0.62%	8.01%	13.10%	17.26%	20.89%	24.16%	27.16%	29.96%	32.59%
VPN Ref + Coke(2) *10^9 USD		(1.5930)	0.2322	2.0574	3.8826	5.7078	7.5331	9.3583	11.1835	13.0087

A continuación se ilustran los gráficos de sensibilidad de la Optimización estudiada
Fig II.2.3 Sensibilidad de TIR respecto cambio de precio del combustible



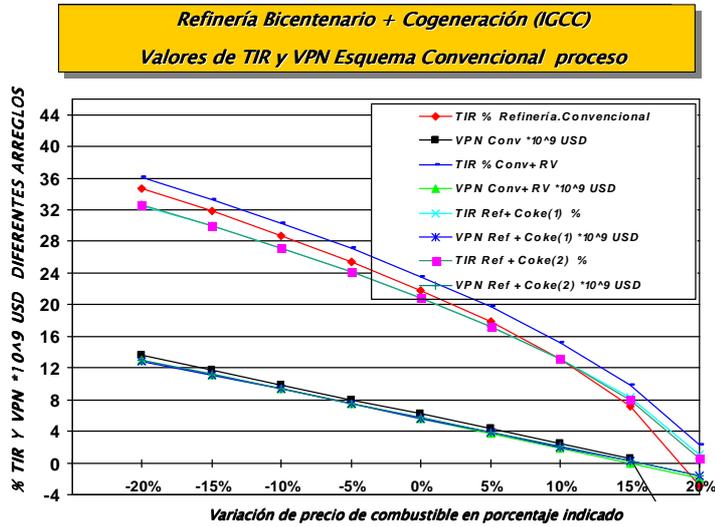
TIR: Tasa Interna de Retorno (máxima tasa de descuento) del proyecto >> LIBOR.

Fig II.2.4 Sensibilidad de VPN respecto cambio de precio del combustible



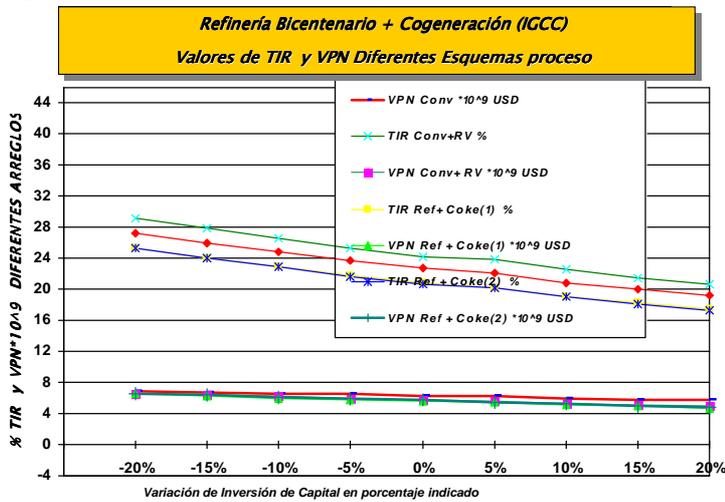
VPN Valor Presente Neto <Creación de valor> del proyecto después de amortización Capital

Fig II.2.5. Sensibilidad de TIR y VPN respecto cambio de precio del combustible



Sensibilidad de TIR y VPN que muestran la ventaja de la sinergia Refinería + Cogeneración IGCC

Fig II.2.6. Sensibilidad de TIR y VPN respecto cambio de precio de Capital.



Sensibilidad de TIR y VPN que muestran la ventaja de la sinergia Refinería RV + Cogeneración IGCC

Respecto el aumento o disminución de "capital" para todas las opciones estudiadas.

El orden: "ventaja para Refinería + IGCC con RV, es igual que para el cambio de precios combustible

Cuadro II. 2.3 Capital <inversión Física> Refinería + Cogeneración IGCC

CAPITAL: RESUMEN DEL ESTIMADO DE COSTO DE INVERSIÓN DE LA						
REFINERÍA DE BICENTENARIO, TULA						
Cifras en Millones de dólares						
Abril 2010						
Factor Inflación	CONCEPTO	TIPO DE ESTIMADO				
		Clase V	Clase III rev. 2 Marzo 2002	Clase III rev. 3 Mar-10	Clase III rev. 3 Abr-10	Clase III Abr-10
2002-2010	1.2045			Refinería Convencional	Refinería + RV	Refinería+ coker
2008-2010	1.0064			Ver notas		USD Cy
A) PLANTAS						
	Combinada	112.30	151.36	151.00 (2)	151.00	151,360,674
	Coquizadora	155.30	219.45	0.00 (2)	0.00	219,452,500
	HDS Gasóleos	90.70	93.94	93.94 (2)	93.94	93,943,569
	Alquilación	62.60	68.43	68.44 (2)	68.44	68,434,439
	FCC	113.00	175.53	175.53 (2)	175.53	175,533,177
	Azufre	62.00	82.46	82.46 (2)	82.46	82,460,965
	HDS Nafta de Coquización	24.70	31.21	0.00 (2)	0.00	31,205,064
	HDS Destilados Intermedios	69.60	86.28	89.51 (4)	89.51	86,279,153
	Hidrógeno	52.00	66.86	61.98 (5)	61.98	66,858,984
	Regeneradora de DEA		8.46	8.47 (2)	8.47	8,464,518
	Tratamiento de Aguas Amargas		13.63	13.63 (2)	13.63	13,629,876
	Sosas Gastadas		10.31			10,311,031
	Tratamiento Primario de Efluentes		1.20	1.20 (2)	1.20	1,200,515
	Trabajos complementarios	10.00				
	Subtotal	752.20	1,009.13	746.16 (2)	746.16	1,009,134,464
B) INTEGRACIÓN Y SERVICIOS AUXILIARES						
	Integración	208.70	288.59	250.03 (2)(8)	250.03	288,589,095
	Servicios Auxiliares	57.50	67.89	67.43 (2)	67.43	67,891,693
	Trabajos complementarios					
	Subtotal	266.20	356.48	317.46 (2)	317.46	356,480,788
	C1) Terreno adquisición		75.19	75.19 (2)	75.19	75,187,970
	D) Camino de Acceso	0.00	14.83	14.83 (2)	14.83	14,830,000.00
	E) Acondicionamiento del Sitio	0.00	69.05	70.00 (10)	70.00	69,045,852
	F) Piloteado del Terreno		31.99	31.99 (9)	31.99 (9)	31,992,000.00
	G) Metales Preciosos	0.50	0.60	0.50 (2)	0.50	602,245.00
	H) Ingenierías Básicas y Licencias	24.00	46.25	46.25 (2)	46.25	46,252,416.00
	I) CAP	20.00	27.70	27.70	27.70	27,703,270.00
	J) Trabajos de Supervisión	21.00	26.89	26.89 (2)	26.89	26,891,905.81
	Subtotal	65.50	217.32	218.17 (2)	218.17	217,317,688.99
	TOTAL un tren 165 MBPD		1,582.93	1,281.79	1,281.79	1,582,932,940.85
	TOTAL Refinería 330 MBPD	1,083.90	3,165.87	2,563.58	2,563.58	3,165,865,881.71

Capital: Inversión Física para IGCC de refinería con "pet coke" en MM USD					
Estructura de Capital de plantas IGCC con Petcoke y Residuo de Vacío (RV)					
Concepto	Unit	CT Ref IGCC 1	CT Ref IGCC 2	CT Ref IGCC 3	CT Ref IGCC 3
Potencia Real Unidad	MW	176.3	163.4	176.3	163.4
Potencia Total Arreglo Refinería IGCC	MW	352.6	326.8	352.6	326.8
Terreno = 50 Ha	USD	2,500,000	2,500,000	2,500,000	2,500,000
Obra Civil	USD	39,135,579	36,267,886	39,135,579	36,267,886
Tratamiento de Gas	USD	7,927,288	7,346,410	7,927,288	7,346,410
Planta de H2	USD	-	-	-	-
Planta Separación de Aire	USD	91,425,108	84,725,855	91,425,108	84,725,855
Reactor Gasificador <2 Reactores	USD	113,862,022	113,862,022	113,862,022	113,862,022
Tratamiento de Agua	USD	33,317,622	30,876,244	33,317,622	30,876,244
Tanquería Balance	USD	35,278,379	32,693,325	35,278,379	32,693,325
Subtotal Costo Directo	USD	323,445,999	308,271,742	323,445,999	308,271,742
Miscelaneos	USD	82,428,556	76,388,533	82,428,556	76,388,533
Planta Generación de Energía	USD	229,216,000	212,420,000	229,216,000	212,420,000
Monto Total de la Inversión	USD	730,354,138	686,642,316	730,354,138	686,642,316
	MMUSD	730	687	730	687

Notas

- 1) El capital en cada opción de proceso Refinería y/o IGCC esta totalmente desagregado.
- 2) Fuente: Datos propios: obtenidos y, corroborados f(en índices revista Hydrocarbon Processing)

Cuadro II.2.4. Costos Fijos Refinería + Cogeneración IGCC (Coque o RV)

Costos Fijos	En 1000 USD				
Indice de inflación 2002 a 2010 = 1.20449	Refinería Bicentenario, Tula	Refinería Convencional	Refinición + RV	Refinación + Coker	Refinación + Coker
A. COSTOS DE OPERACIÓN PRIMEROS 15 AÑOS					
1. Otros cosotos operacionales					
Administración.	\$222				
Operación. (M. O. D.)	\$1,421				
Supervisión Técnica	\$475				
Mantenimiento. (Mat. y M. O.) (3%ISBL+1%OSBL)	\$25,559				
2. GASTOS FIJOS					
Generales de Planta (65% M.O. & superv. + Mantto.)	\$17,991				
Fijos directos (45% M.O: y supervisión+ mantto.)	\$953				
Seguros e Impuestos, 1.0 %(ISBL+OSBL)	\$10,636				
3. Total (costos incrementales de producción)	\$57,258				
*) Incluye otros cosotos operacionales					
B. COSTOS DE OPERACIÓN ÚLTIMOS 5 AÑOS					
1. Otros cosotos operacionales					
Administración.	\$222				
Operación. (M. O. D.)	\$1,421				
Supervisión Técnica	\$475				
Mantenimiento. (Mat. y M. O.) (3.25%ISBL+1.25%OS)	\$28,219				
2. GASTOS FIJOS					
Generales de Planta (65% M.O. y Superv. + Mantto.)	\$19,719				
Fijos directos (45% M.O: y supervisión+ mantto.)	\$953				
Seguros e Impuestos, 1.0 %(ISBL+OSBL)	\$10,636				
Total Actualizado de 2002 a 2010	\$74,251				
3 Total de cosotos incrementales de producción					
(*) Incluyendo otros cosotos operacionales					
(**) cosotos de remplazo en mantenimiento					
Inversión en plantas + Integración	\$1,063,621				
Porcentaje respecto a Inversión					
Primeros 10 años	5.38%				
A partir del año 11	6.98%				
Datos de referencia para Costos Fijos Refinería Bicentenario					
		Refinería Convencional	Refinición + RV	Refinación + Coker	Refinación + Coker
Inversión en plantas (ISBL)	\$746,163	746,162.6	746,162.6	1,009,134.5	1,009,134.5
Integración y servicios auxiliares (OSBL)	\$317,458	317,458.0	317,458.0	356,480.8	356,480.8
Costos Fijos Refinería bicentenario					
		Refinería Convencional	Refinición + RV	Refinación + Coker	Refinación + Coker
Mantenimiento	1000' USD/ Y	76,907	76,907	94,976	94,976
Administración Mantto.	1000' USD/ Y	23,072	23,072	28,493	28,493
Mano de Obra	1000' USD/ Y	28,219	28,219	37,253	37,253
		0	0	0	0
Costos fijos totales Refinería '1000	1000' USD/ Y	256,396	256,396	321,443	321,443
Costos Fijos IGCC					
CT IGCC					
Concepto	Unit	IGCC c/Petcoke 1	IGCC c/Petcoke 2	IGCC c/ RV 3	IGCC c/ RV 4
Mantenimiento	USD/ Y	21,910,624	20,599,269	7,303,541	6,866,423
Administración = 30% Mantto.	USD/ Y	4,382,125	4,119,854	1,460,708	1,373,285
Mano de Obra	USD/ Y	265,846	265,846	398,769	398,769
Costos Fijos Totales	USD/ Y	26,558,595	24,984,970	9,163,019	8,638,477
Costo Mano de obra mensual USD		22,154	22,154	33,231	33,231
Mano de obra mensual por turno USD		7,385	7,385	11,077	11,077
N° de trabajadores @ 3,000 USD/mes		8	8	12	12

Fuente: Datos Propios

Cuadro II.2.5. Costos Variables: Refinería Convencional: RV Coque + Cogeneración IGCC

Refinería Bicentenario + Cogeneración Vapor Potencia (IGCC) Tula, Hidalgo						
Factor inflación a 2010	1.20449					
Factor Capacidad (N/A)	0.883297645					
SERVICIOS AUXILIARES						
ESCENARIOS	CATALIZADOR ¹ (DLS/Día)	AGUA DE RIO ¹ (MGAL/Día)	ELECTRICIDAD ² (KWH/Día)	VAPOR ² (MLB/Día)	GUA DE SERVICIO (MGAL/Día)	COMBUSTIBLE ² (MMBTU/Día)
Pricing Units		US\$/m3	US\$/KWH	US\$/MT	US\$/MT	US\$/MMBTU
Actualizado de 2005 a 2010			19,493.86	245.78	175	
Sin reconfiguración	33,079.50	13,844.81	467,852.73	12,977.41	251,782.23	69,193.12
Con reconfiguración	-	-	-	-	-	-
Incremental	33,079.50	13,844.81	467,852.73	12,977.41	251,782.23	69,193.12
dls/día	39,843.92	1.64	19,723.34	24.83	840.34	585,897.23
C. Op Coker						76,573.12
Costos Variables						
Refinería Bicentenario						
Concepto	Unit	Refinación Convencional	Refinación + RV	Refinación + Coker	Refinación + Coker	
Caldera Capacidad Gen Vapor	T/H	380.00	380.00	380.00	380.00	
Catalizador		39,843.9	39,843.9	39,843.9	39,843.9	
Agua Cruda - 7% -	USD / D	1.6	1.6	1.6	1.6	
Agua Desmineralizada @ 10%	USD / D	840.3	840.3	840.3	840.3	
Energía Eléctrica	USD / D	19,723.3	19,723.3	19,723.3	19,723.3	
Combustible	USD / D	585,897.2	585,897.2	648,387.86	648,387.86	
Total	USD / Y	217,158,973.01	217,158,973.01	238,155,823.85	238,155,823.85	
Costos Variables						
Cogeneración Vapor y Potencia IGCC "						
Concepto	Unit	IGCC convenc. 1	IGCC RV 2	IGCC Petcoke 3	IGCC Petcoke 4	
Caldera Capacidad Gen Vapor	T/H	380.000	380.000	380.000	380.000	
Agua Cruda - 7% -	USD / Y	62,169	62,169	62,169	62,169	
Agua Desmineralizada @ 10%	USD / Y	224,175	224,175	224,175	224,175	
Energía Eléctrica	USD / Y	1,493,590	1,493,590	1,493,590	1,493,590	
Op. Ductos	USD / Y	0	0	0	0	
Total	USD / Y	1,779,934	1,779,934	1,779,934	1,779,934	
Gasto Agua Desmizada Alim Caldera	gpm	1,673.27	1,673.27	1,673.27	1,673.27	
Consumo Elec. Bombeo Alim Agua	BHP	3,184.98	3,184.98	3,184.98	3,184.98	

Fuente: Datos propios.

Cuadro II.2.6. Ganancia en opciones de proceso IGCC c/Coque, y Residuo de Vacío (RV)

GANANCIA: ANÁLISIS DE COGENERACIÓN DE VAPOR Y POTENCIA CON "PETCOKE" Y "RESIDUO DE VACÍO"										
Concepto	Unidad	Precio	INSUMOS EN C/ OPCIÓN PROCESO				BALANCE ECONÓMICO			
			IGCC 1 Petcoke	IGCC 2 Petcoke	IGCC 3 Convencional	IGCC 4 con RV	IGCC 1 Petcoke	IGCC 2 Petcoke	IGCC 3 Convencional	IGCC 4 con RV
			USD / D	USD / D	USD / D	USD / D	USD / D	USD / D	USD / D	USD / D
combustible										
Consumo GS	MMBTU	4.00	0	0	0	0	-	-	-	
Coque <Petcoke>	TM	49.50	8,000.0	8,000.0	0	0	360,000	360,000	0	
Residuo de Vacío (RV)	BI	39.60			21,015.2	21,015.2			756,548	
Total Combustible							360,000	360,000	756,548	
Otros Insumos										
Capacidad de producción	T / H									
Agua Desmineralizada (15%) Pro	T / H	0.73	38	37	39	38	671	654	692	
Agua de Reposición (20%) Produ	T / H	0.29	0	0	0	0	0	0	0	
Vapor (para CC)	T / H	0.00	382	744	394	751	0	0	0	
Oxígeno (O2)	TPD									
Total otros Insumos	USD / D						671	654	692	
Total Combustible + Otros Insumos	USD / D						360,671	360,654	757,240	
Productos										
Energía Eléctrica	MW	\$78.00	353	327	353	327	660,142	611,770	660,142	
Vapor de 520°C, y 15 MPA		\$16.00	380	380	380	380	711,360	711,360	711,360	
Nitrógeno (N2)	TPD	\$6.07								
Total Productos							1,371,502	1,323,130	1,371,502	
Costo de la Producción USD / Día							1,010,831	962,476	614,262	
días calendario por año			365							
Factor de operación			0.92							
Costo anualizado M USD / Año							339,437	323,199	206,269	

Cuadro II.2.7 Ganancia Refinería Prod. Proceso Convencional, Residuo Vacío y Coquizadora

REFINERÍA BICENTENARIO + IGCC EN TULA, HIDALGO							
GANANCIA: ANÁLISIS BALANCE ECONÓMICO DE INSUMOS Y PRODUCTOS EN DIFERENTES ESQUEMAS DE PROCESO							
ANÁLISIS		PROCESO			ECONOMICS		
Factor Actualización Capacidad Refinería	0.47054	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 1	CASO 2	CASO 3
		Convencional	Refinación + RV	Refinación + Coker	Convencional	Refinación + RV	Refinación + Coker
		BPSD	BPSD	BPSD	USD.D	USD.D	USD.D
ALIMENTACIÓN	US\$/BL						
dieta de Crudo(s) a proceso							
Crudo Maya	\$52.24	91,585	91,585	108,798	4,784,742.8	4,784,742.8	5,684,017.4
Crudo Isthmus	\$63.42	73,369	73,369	56,188	4,652,941.7	4,652,941.7	3,563,305.6
Crudo Maya Despuntado	\$50.76	0	0	0	-	-	-
CrudoTotal	\$0.00	164,954	164,954	164,985	9,437,684.5	9,437,684.5	9,247,323.0
Intermedios	\$0.00						
Gas Natural a Planta H2, FOEBpor día	\$59.99	820	820	1,082	49,203.9	49,203.9	64,898.2
Hidrogeno, 1000 SCFD	\$7.40	0	0	0	-	-	-
Gasolina Primaria Naphtha Importación	\$60.60	0	0	0	-	-	-
Total Líquidos Intermedios		0	0	0	-	-	-
Alimentación Total Liquid		164,954	164,954	164,985	9,437,684.5	9,437,684.5	9,247,323.0
PRODUCTOS							
CDU Gas a Desfogue, FOEB por día	\$59.98	0	0	0	-	-	-
Gas Combustible Refinería FOEB per D	\$59.98	3,230	3,230	5,424	193,712.5	193,712.5	325,290.8
PROPYLENO	\$74.00	4,234	4,234	4,044	313,288.4	313,288.4	299,245.6
ISOBUTANO	\$72.45	3,587	3,587	3,705	259,894.8	259,894.8	268,395.4
LPG	\$58.17	4,500	4,500	4,500	261,771.3	261,771.3	261,771.3
Alimentación polialquilación	\$58.16	0	0	0	-	-	-
PEMEX MAGNA Regular	\$87.25	40,252	40,252	40,252	3,511,796.3	3,511,796.3	3,511,796.3
PEMEX Premium	\$96.35	18,223	18,223	26,633	1,755,733.4	1,755,733.4	2,566,002.4
Naphtha amarga de exportación	\$60.60	5,358	5,358	0	324,683.8	324,683.8	-
Gas Nafta	\$54.16	0	0	0	-	-	-
Turbosina Jet Fuel	\$86.28	5,502	5,502	6,164	474,769.6	474,769.6	531,834.1
Diesel amargo - Gasóleo Ligero Prima	\$79.40	1,834	1,834	0	145,634.0	145,634.0	-
PEMEX Diesel	\$83.10	23,908	23,908	33,857	1,986,832.5	1,986,832.5	2,813,559.0
Gas Oil a Otra refinería o Exp.	\$72.71	4,518	18,723	10,331	328,460.1	1,361,287.3	751,105.4
Aceite CíclicoLCO	\$62.91	0	0	0	-	-	-
Combustoleo	\$47.77	49,848	14,648	8,572	2,381,093.0	699,667.1	409,476.1
Residuo de Vacío	\$40.00	0	21,000	0	-	839,937.0	-
Total Productos líquidos + Gas Refinería		164,994	164,999	143,480	11,937,670	12,129,008	11,738,476
DCU Coke, mTPD	\$8.33	0		3,929	-	-	32,708
Azufre TPD	30.20	160	160	240	4,837	4,837	7,252
Total del valor de producto					11,942,506	12,133,845	11,778,436
Beneficio calendario/día M US\$/año					914,260	984,098	923,856
Operación días por año	336				-	-	-
Ganacia Operacional, M US\$/Año					1,683,240	1,811,820	1,700,908

Fuente: Datos propios, confirmados con precios PEMEX Refinación y Finanzas PEMEX.

Cuadro II.2.8. (TIR) “Tasa interna de Retorno caso Refinería Convencional <sola>

Fuente: Datos propios de –Tesis-

Refinería Bicentenario convencional	Refinería (T)	en miles de dólares americanos												
Tas de Interés (i)	22.7%													
Impuesto	31%													
año	2010	2011	2013	2014	2015	2018	2023	2024	2028	2032	2033			
Costo Capital	329,393.46	1,317,574	329,393	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509	
Costos Fijos	0	0	0	282,955	282,955	282,955	282,955	282,955	282,955	282,955	282,955	282,955	282,955	
Costos Variables	0	0	0	218,939	218,939	218,939	218,939	218,939	218,939	218,939	218,939	218,939	218,939	
Costos Totales	0	0	0	501894	501894	501894	501894	501894	501894	501894	501894	501894	501894	
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	1,387,616	1,387,616	1,387,616	1,387,616	1,387,616	1,387,616	1,387,616	1,387,616	1,387,616	1,387,616	
Depreciación	0	0	0	329,393	329,393	329,393	329,393							
Utilidad Gravable	0	0	0	1,058,222	1,058,222	1,058,222	1,058,222	1,387,616	1,387,616	1,387,616	1,387,616	1,387,616	1,387,616	
Impuesto 32% -	0	0	0	328,049	328,049	328,049	328,049	430,161	430,161	430,161	430,161	430,161	430,161	
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)	-329,393	-1,317,574	-329,393	1,059,567	1,059,567	1,059,567	1,059,567	957,455	957,455	957,455	957,455	957,455	957,455	
Factor de descuento	1.847	1.506	1.000	0.815	0.664	0.360	0.129	0.105	0.046	0.020	0.017			
Flujo de Efectivo descontado	-608,535	-1,983,758	-329,393	863,518	703,744	380,929	136,949	100,854	44,490	19,626	15,995			
Flujo de Efectivo Descontado Acumul	-608,535	-2,592,293	-4,538,396	-3,674,878	-2,971,134	-1,549,260	-474,625	-373,771	-125,511	-15,995	0			
Utilidad Bruta del Proyecto (\$1000s)	1,889,509													
Variable a recalcular TIR														
VPN	0.00													
TIR	22.7035%													
costo de Capital(1000's)	3,293,394.6													
Calculate IRR	22.703%													
Consideraciones														
"Flujo de efectivo" discrecional al final del año														
Depreciación lineal en diez años														
Costo de capital repartido en cuatro años construcción de la curva S: Año 1 10%, Año 2 40%, Año3 40%, Año 4 10%														
calación de costos y otras ganancias														

Cuadro II.2.9. VPN Valor Presente Neto Refinería Convencional <sola>

Fuente: Datos propios de “esta tesis”

Refinería bicentenario	Convencional + IGCC	en miles de dólares americanos											
Tasa de Renta (i)	10.0%												
Impuesto (ISR)	31%												
Año	2002	2003	2005	2006	2010	2015	2020	2024	2025				
Costo Capital	329,393	1,317,574	329,393	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509	1,889,509
Costos Fijos	0	0	0	57,257.6	57,257.6	57,257.6	57,257.6	57,257.6	57,257.6	57,257.6	57,257.6	57,257.6	57,257.6
Costos Variables	0	0	0	217,167.3	217,167.3	217,167.3	217,167.3	217,167.3	217,167.3	217,167.3	217,167.3	217,167.3	217,167.3
Costos Totales	0	0	0	274,424.9	274,424.9	274,424.9	274,424.9	274,424.9	274,424.9	274,424.9	274,424.9	274,424.9	274,424.9
Ganancia de Operación	0	0	0	1,615,084	1,615,084	1,615,084	1,615,084	1,615,084	1,615,084	1,615,084	1,615,084	1,615,084	1,615,084
Depreciación (10% línea recta)	0	0	0	329,393	329,393	329,393							
Ganancia Gravable (Taxable Rev	0	0	0	1,285,691	1,285,691	1,285,691	1,615,084	1,615,084	1,615,084	1,615,084	1,615,084	1,615,084	1,615,084
Impuesto	0	0	0	398,564	398,564	398,564	500,676	500,676	500,676	500,676	500,676	500,676	500,676
Flujo de Efectivo Neto	-329,393	-1,317,574	-329,393	1,216,520	1,216,520	1,216,520	1,114,408	1,114,408	1,114,408	1,114,408	1,114,408	1,114,408	1,114,408
Factor de descuento	1.331	1.210	1.000	0.909	0.621	0.386	0.239	0.164	0.149				
flujo de Efectivo Descontado	-438,423	-1,594,264	-329,393	1,105,928	755,363	469,021	266,780	182,215	165,650				
Fujo Efectivo Descontado Acumula	-438,423	-2,032,687	-3,811,412	-2,705,484	800,157	3,663,579	5,292,300	6,137,959	6,303,608				
VPN (000's)	6303608.25												
Capital Cost (000's)	3293934.59												
Consideraciones													
"Flujo de efectivo" discrecional al final del año													
Depreciación lineal en diez años													
Costo de capital repartido en cuatro años construcción de la curva S													
No se incluye escalación de costos y otras ganancias													

Cuadro II.2.10. (TIR) Tasa Interna de Retorno caso Refinería Convencional + Residuo Vacío IGCC
Fuente: Datos propios de “esta tesis”

Refinería Bicentenario + RV	Refinería (2) + RV		en miles de dólares americanos							
Tasa de Interés (i)	24.5%									
ISR Impuesto	31%									
año	2010	2011	2013	2014	2018	2020	2023	2028	2032	2033
Costo Capital	325,022.28	#####	325,022.28	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	#####	2,018,089	2,018,089	2,018,089	2,018,089	2,018,089	2,018,089
Costos Fijos	0	0	0	282,955	282,955	282,955	282,955	282,955	282,955	282,955
Costos Variables	0	0	0	218,939	218,939	218,939	218,939	218,939	218,939	218,939
Costos Totales	0	0	0	501,894	501,894	501,894	501,894	501,894	501,894	501,894
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	1,516,195	1,516,195	1,516,195	1,516,195	1,516,195	1,516,195	1,516,195
Depreciación	0	0	0	325,022	325,022	325,022	325,022	325,022	325,022	325,022
Utilidad Gravable	0	0	0	1,191,173	1,191,173	1,191,173	1,191,173	1,516,195	1,516,195	1,516,195
Impuesto 32% -	0	0	0	369,264	369,264	369,264	369,264	470,020	470,020	470,020
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Fl)	-325,022	-1,300,089	-325,022	1,146,931	1,146,931	1,146,931	1,146,931	1,046,175	1,046,175	1,046,175
Factor de descuento	1.929	1.550	1.000	0.803	0.335	0.216	0.112	0.037	0.016	0.013
Flujo de Efectivo descontado	-626,967	-2,014,624	-325,022	921,355	383,694	247,608	128,361	39,169	16,312	13,104
Flujo de Efectivo Descontado Acu	-626,967	-2,641,590	-4,585,004	-3,663,649	-1,467,601	-911,763	-424,705	-106,464	-13,104	0
Utilidad Bruta del Proyecto (\$1000s)	2,018,089									
Variable a recalcular TIR										
VPN	0.00									
TIR	24.483%									
costo de Capital(1000's)	3,250,222.8									
Cálculo TIR	Cálculo con Función Excel									
	24.48% 20 Años									
	22.31% 10 Años									
		13.73% 5 Años								
Consideraciones										
"Flujo de efectivo" discrecional al final del año										
Depreciación lineal en diez años										
Costo de capital repartido en cuatro años construcción de la curva S										
Inclusión de costos y otras ganancias										

Cuadro II.2.11. (VPN) Valor Presente Neto caso Refinería Convencional + Residuo de Vacío IGCC
Fuente: Datos propios de “esta tesis”

Refinería Bicentenario + RV	Refinería (2) + RV		en miles de dólares americanos							
Costo de Capital	10.0%									
Impuesto (ISR)	31%									
Año	2010	2011	2013	2014	2017	2018	2020	2023	2028	2033
Costo Capital	325,022.28	1,300,089	325,022	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	2,018,089	2,018,089	2,018,089	2,018,089	2,018,089	2,018,089	2,018,089
Costos Fijos	0	0	0	282,955	282,954.9	282,954.9	282,954.9	282,954.9	282,954.9	282,954.9
Costos Variables	0	0	0	218,939	217,167.3	217,167.3	217,167.3	217,167.3	217,167.3	217,167.3
Costos Totales	0	0	0	501,894	500,122.2	500,122.2	500,122.2	500,122.2	500,122.2	500,122.2
Ganancia de Operación	0	0	0	1,516,195	1,517,967	1,517,967	1,517,967	1,517,967	1,517,967	1,517,967
Depreciación	0	0	0	325,022	325,022	325,022	325,022	325,022	325,022	325,022
Ganancia Gravable (Taxable Reve	0	0	0	1,191,173	1,192,944	1,192,944	1,192,944	1,192,944	1,517,967	1,517,967
Impuesto	0	0	0	369,264	369,813	369,813	369,813	369,813	470,570	470,570
Flujo de Efectivo Neto	-325,022	-1,300,089	-325,022	1,146,931	1,148,154	1,148,154	1,148,154	1,148,154	1,047,397	1,047,397
Factor de descuento	1.331	1.210	1.000	0.909	0.683	0.621	0.513	0.386	0.239	0.149
flujo de Efectivo Descontado	-432,605	-1,573,108	-325,022	1,042,665	784,205	712,913	589,184	442,663	250,739	155,689
Cumulative Discounted Cash Flow	-432,605	-2,005,712	-3,760,833	-2,718,168	-122,451	590,462	1,827,750	3,292,964	4,823,748	5,774,244
Utilidad Bruta del Proyecto (\$1000s)	2,018,089									
VPN (000's)	5,774,244									
Capital Costo (000's)	3,250,223									
Consideraciones										
"Flujo de efectivo" discrecional al final del año										
Depreciación lineal en diez años										
Costo de capital repartido en cuatro años construcción de la curva S: 1)10%, 2) 40%, 3)40%, 4) 10%										
No se incluye escalación de costos y otras ganancias										

Cuadro II.2.12. (TIR) Tasa Interna de Retorno caso Refinería Convencional + Coque IGCC

Refinería Bicentenario	con Coker(1)+IGCC	en miles de dólares americanos										
Tasa de Interés (i) calculada	20.9%											
Impuesto	31%											
año	2010	2011	2013	2014	2018	2023	2028	2032	2033			
Costo Capital	389,622	1,558,488	389,622.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	2,040,345	2,040,345	2,040,345	2,040,345	2,040,345	2,040,345	2,040,345	2,040,345	2,040,345
Costos Fijos	0	0	0	330,606	330,606	330,606	330,606	330,606	330,606	330,606	330,606	330,606
Costos Variables	0	0	0	239,936	239,936	239,936	239,936	239,936	239,936	239,936	239,936	239,936
Costos Totales	0	0	0	570,542	570,542	570,542	570,542	570,542	570,542	570,542	570,542	570,542
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803
Depreciación	0	0	0	389,622	389,622	389,622	389,622	389,622	389,622	389,622	389,622	389,622
Utilidad Gravable	0	0	0	1,080,181	1,080,181	1,080,181	1,080,181	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803
Impuesto 32% -	0	0	0	334,856	334,856	334,856	334,856	455,639	455,639	455,639	455,639	455,639
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)	-389,622	-1,558,488	-389,622	1,134,947	1,134,947	1,134,947	1,134,947	1,014,164	1,014,164	1,014,164	1,014,164	1,014,164
Factor de descuento	1.766	1.461	1.000	0.827	0.387	0.150	0.058	0.027	0.023			
Flujo de Efectivo descontado	-688,204	-2,277,296	-389,622	938,896	439,730	170,371	58,985	27,625	22,853			
Flujo de Efectivo Descontado Acumulad	-688,204	-2,965,500	-5,239,038	-4,300,141	-1,909,609	-619,638	-173,034	-22,853	-0			
Utilidad Bruta del Proyecto (\$1000s)	2,040,345											
Variable a recalcular TIR												
VPN	0.00											
TIR	20.881%											
costo de Capital(1000's)	3,896,220											
		Calculo con Función Excel										
		20.88% 20 Años										
		18.25% 10 Años										
		8.83% 5 Años										
		Cálculo TIR										

Fuente: Datos propios de "esta tesis"

Cuadro II.2.13. (VPN) Valor Presnte Neto; caso Refinería Convencional + Coque IGCC

Refinería Bicentenario	con Coker(1) + IGCC	en miles de dólares americanos										
Cosot Renta de Capital (i)	10.0%											
Impuesto (ISR)	31%											
Año	2002	2003	2005	2006	2009	2010	2011	2015	2020	2024	2025	
Costo Capital	316,587	1,266,346	316,587	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	2,040,345	2,040,345	2,040,345	2,040,345	2,040,345	2,040,345	2,040,345	2,040,345	2,040,345
Costos Fijos	0	0	0	330,606	330,606.3	330,606.3	330,606.3	330,606.3	330,606.3	330,606.3	330,606.3	330,606.3
Costos Variables	0	0	0	239,936	239,936.8	239,936.8	239,936.8	239,936.8	239,936.8	239,936.8	239,936.8	239,936.8
Costos Totales	0	0	0	570,542	570,542.1	570,542.1	570,542.1	570,542.1	570,542.1	570,542.1	570,542.1	570,542.1
Ganancia de Operación	0	0	0	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803
Depreciación	0	0	0	329,393	329,393	329,393	329,393	329,393	329,393	329,393	329,393	329,393
Ganancia Gravable (Taxable Revenue)	0	0	0	1,140,410	1,140,410	1,140,410	1,140,410	1,140,410	1,469,803	1,469,803	1,469,803	1,469,803
Impuesto	0	0	0	353,527	353,527	353,527	353,527	353,527	455,639	455,639	455,639	455,639
Flujo de Efectivo Neto	-316,587	-1,266,346	-316,587	1,116,276	1,116,276	1,116,276	1,116,276	1,116,276	1,014,164	1,014,164	1,014,164	1,014,164
Factor de descuento	1.331	1.210	1.000	0.909	0.683	0.621	0.564	0.386	0.239	0.164	0.149	
Flujo de Efectivo Descontado	-421,377	-1,532,279	-316,587	1,014,797	762,432	693,120	630,109	430,373	242,783	165,824	150,749	
Cumulative Discounted Cash Flow	-421,377	-1,953,656	-3,663,223	-2,648,427	-124,778	568,341	1,198,450	3,195,810	4,678,024	5,447,613	5,598,362	
Utilidad Bruta del Proyecto (\$1000s)	2040345.24											
VPN (000's)	5598361.84											
Capital (000's)	3165865.88											
		Consideraciones										
		"Flujo de efectivo" discrecional al final del año										
		Depreciación lineal en diez años										
		Costo de capital repartido en cuatro años construcción de la curva S										
		No se incluye escalación de cosotos y otras ganancias										

Fuente: Datos propios de "esta tesis"

II.2.17. Conclusiones del capítulo

1). Se encontró que la opción "aislada" para la cogeneración IGCC usando coque es la más rentable con TIR de 22.7 % en comparación a 15.7% para Residuo de Vacío (RV).

2). El esquema de la nueva refinería produciendo residuo de vacío (RV) para la cogeneración es la más rentable con TIR del orden de 23.964% resultando de 5.3% mayor que para una refinería productora de coque con 18.7% de TIR. Asimismo el valor presente neto es el mayor para la aplicación de refinería productora de residuo de vacío para cogeneración.

3). En el análisis para la sinergia agregada de Refinería y cogeneración, la refinería productora de residuo de vacío para cogeneración es la que tiene TIR 22.7% y un VPN de 6,303.6 millones de dólares con lo cual se paga de sobremanera la inversión de capital de 3,293.9 millones de dólares, resultando la más atractiva.

4). En relación al efecto sustentable y ambiental todas las opciones analizadas resultan ventajosas pues se lograría una gran disminución de contaminantes atmosféricos (SOX), con lo que se obtendrían sus respectivos bonos de CO2.

III. Cogeneración En Refinería Salamanca.⁹

Utilización de Residuo de Vacío en la Refinería de Salamanca.

Análisis de factibilidad de proceso entre Coquización Retardada (Coquizadota) vs. Planta IGCC.

III.1. Análisis de Viabilidad de Cogeneración En Refinería Salamanca

Antecedentes:

- Actualmente en la región de Salamanca se presentan emisiones de SO₂ por encima de la norma oficial NOM-085-SSA1-1993. Los principales emisores de este contaminante son la termoeléctrica de CFE y la refinería de PEMEX; sin embargo, la CFE ha reducido del 2000 al 2004 sus emisiones de 80,000 Tm/año a 36,000 Tm/año mientras que la refinería de Salamanca para el mismo periodo las ha incrementado de 21,000Tm/a a 34 ,000 Tm/año.
- Para dar solución a esta problemática Pemex tiene considerado en su Plan Estratégico reducir la producción de combustoleo mediante la construcción de una planta coquizadora en la refinería de Salamanca que entraría en operación durante 2014. Esta planta favorecerá el balance nacional de gasolinas (en promedio desde 2007 se han importado 280,000BPD y eliminará la producción de combustóleo, solucionando el problema de “fondo de barril”.
- Otra alternativa para aminorar la problemática del combustoleo es el empleo del residuo de vacío en una planta de cogeneración IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) para generar energía eléctrica y vapor sustituyendo equipos de fuerza de la refinería que están al final de su vida útil o que operan con baja eficiencia.
- El presente estudio evalúa de manera preliminar algunas alternativas basadas en plantas coquizadoras y de cogeneración IGCC que ayudarían a reducir la oferta de combustoleo y las emisiones contaminantes, incrementar la oferta de gasolina y aprovechar el potencial de cogeneración de la refinería; resolviendo intrínsecamente el problema de “fondo de barril” de la refinería, objetivo de este análisis. Lo cual se ilustra en los esquemas de balance de producción.

Alternativas que se evalúan

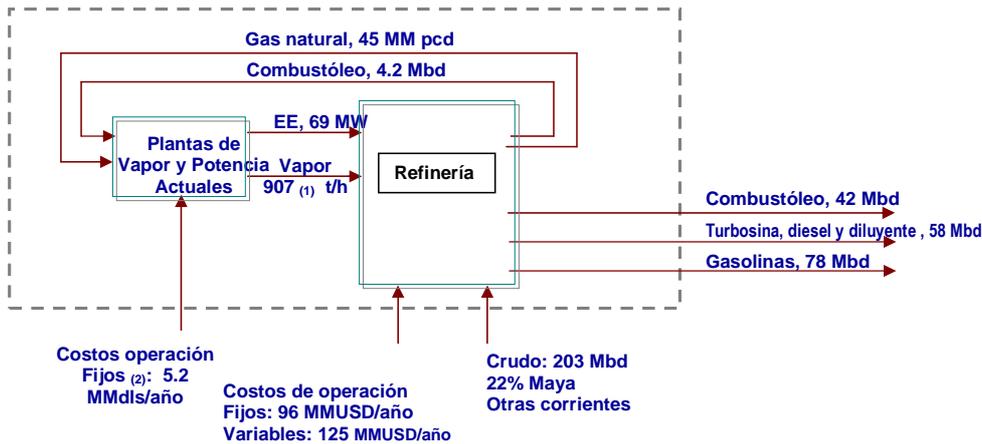
- 1) Incremento de Proceso + Cogeneración con Coque
- 2) Cogeneración IGCC con Residuales-
- 3) Cogeneración con IGCC con Coque

⁹ Ver A-2.1, y Capítulo I de este estudio prospectiva de Generación de Potencia con Residuales

Fig. III.1. Esquema de Proceso para Cogeneración en Refinería Salamanca

• Se evaluaron las siguientes alternativas con respecto al caso “Combustibles Limpios”, proyecto que se tiene previsto que entrará en operación a mediano plazo.

Fig III.1. Caso Base: Balance de materia y energía (estado actual Refinería).



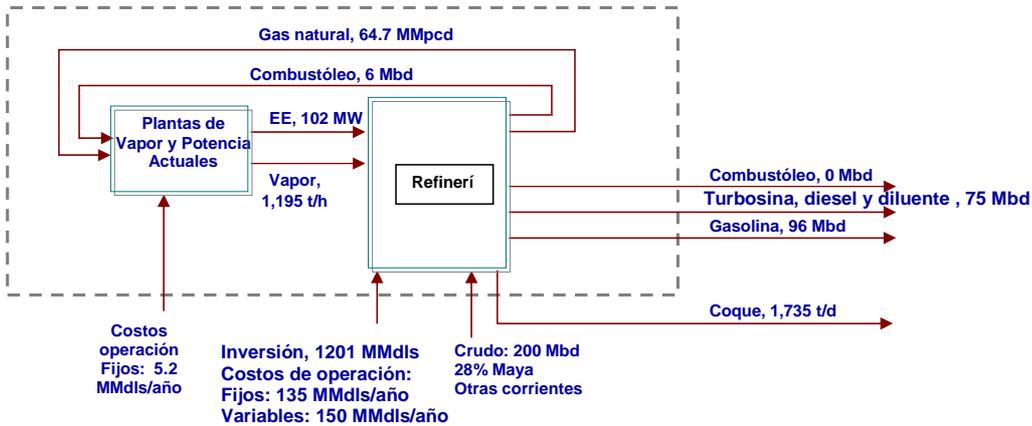
- 1) Se aprecia el balance volumetrico del petróleo crudo y los productos derivados del petroleo del proceso de la “Refinería Convencional en Salamanca que:
- 2) Muestra el consumo normal de energía eléctrica y vapor
- 3) Se muestran los costos de operación (CF+CV) de la Refinería y Servicios Auxiliares.
- 4) Incluye vapor de cuatro niveles de presión: 60, 19, 3.5 y 2.1 kg/cm².
- 5) Incluye la operación de 8 turbogeneradores y 10 calderas.

III.2 Incremento de Proceso Coquizadora + Cogeneración con Coque

Alternativa 1: Coquizadota:

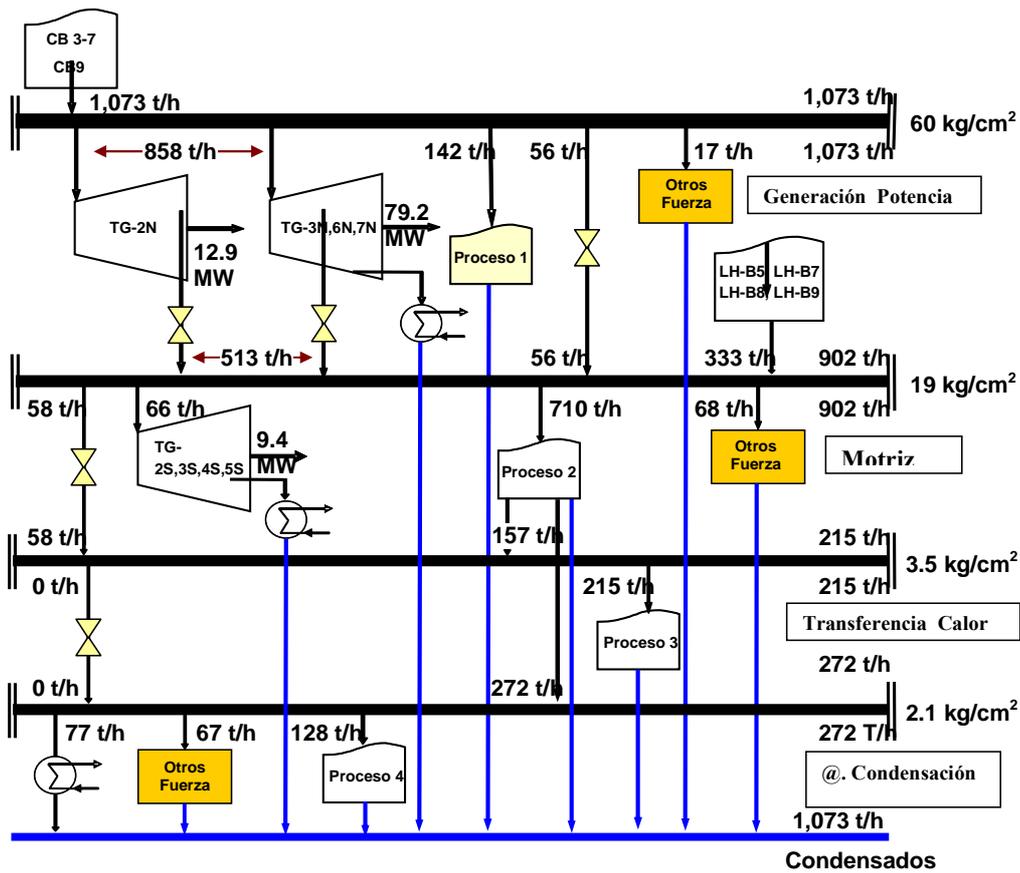
- Coquizadora con capacidad de 28 Mbd
- Entrada en operación: 2014
- Producción combustóleo (ventas/autoconsumo): 0/6

Fig III.2.1. Alternativa 1, Balance de materia y energía con Coquizadora (incremento proceso):



- Inversión de Capital de 1201 MMUSD
- Los costos de operación aumentan: (CF de 96 a 135; CV de 125 a 150) MMUSD/Año
- Incremento de producción de gasolinas de 78MBPD a 96 MBPD
- Los destilados aumentan de 58 MBPD a 75 MBPD
- Disminución producción combustóleo de 42MBPD a 0 BPD;
- Pero, producción de 1,735Tm/D de Coque

Fig III .2.2. Alternativa 1: Incremento Proceso Coquizadora. Balance Vapor
Diagrama de Balance de masa y energía de Servicios Auxiliares:
Se ilustran los cuatro niveles de calidad de vapor de la refinería Salamnca



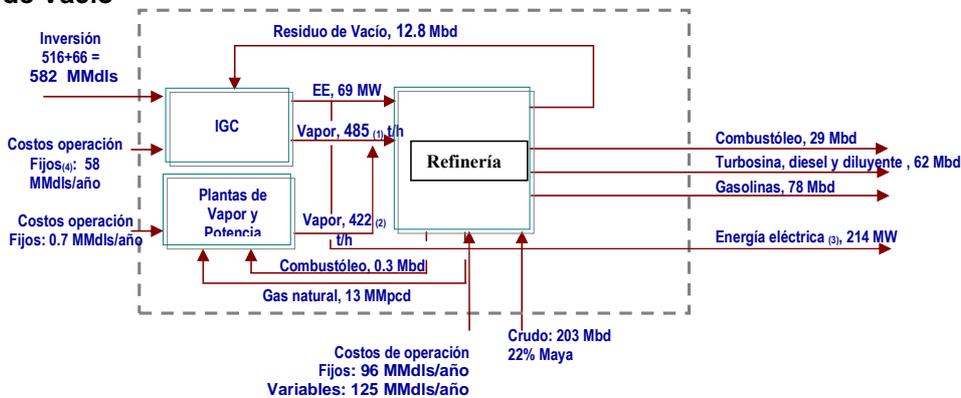
Total de vapor a proceso 1,195 t/H

En el diagrama de balance y flujo se muestran las unidades que están en servicio.
Y, se muestra el balance de la alimentación de vapor existente.

III.3. Cogeneración IGCC con Residuales

1. Alternativa 2: IGCC con residuo de vacío
2. IGCC de residuo de vacío, 2 trenes con capacidad total de 12.8 Mbd
3. Producción IGCC: Vapor 485 t/h, energía eléctrica 283 MW
4. Entrada en operación: 2013
5. Producción combustóleo (ventas/autoconsumo): 29/0.3
6. Inversión: 516 MM USD de la planta IGCC y 66 MM USD para la interconexión con CFE.

Fig. III.3.1. Alternativa 2: Balance de materia, energía y costos; IGCC con Residuo de Vacío

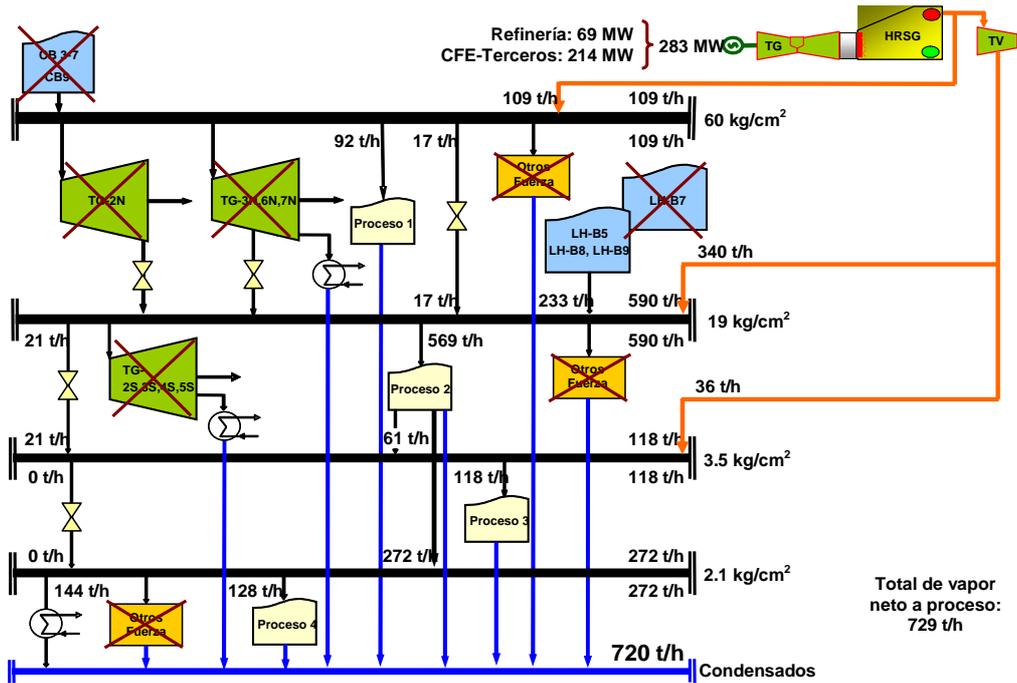


- a) Inversión de Capital de 582 MMUSD
 - b) Los costos de operación (CF+CV) no cambian
 - c) Producción de gasolinas NO cambia 78MBPD
 - d) Los destilados aumentan de 58 MBPD a 62 MBPD
 - e) Disminución producción combustóleo de 42MBPD a 29 BPD;
 - f) Exportación de energía eléctrica en 214 MWH
- 1) Incluye vapor de 60, 19, 3.5 y 2.1 kg/cm2.
 - 2) La energía excedente puede entregarse a otros centros de Pemex, sin alterar mercado energía
 - 3) La energía excedente puede Entregarse a CFE bajo modalidad de Productor Independiente (IPP),
 - 4) Incluye incremento en costos por respaldo con CFE.

Fig. III.3.2. Alternativa 2: Cogeneración IGCC con Residuo de Vacío; Balance Vapor

Diagrama de Balance de masa y energía de Servicios Auxiliares:

Se ilustran los cuatro niveles de calidad de vapor de la refinería Salamca



En el diagrama de balance y flujo se muestran las unidades que salen de servicio. Y, se muestra la alimentación de vapor que sustituye lo existente.

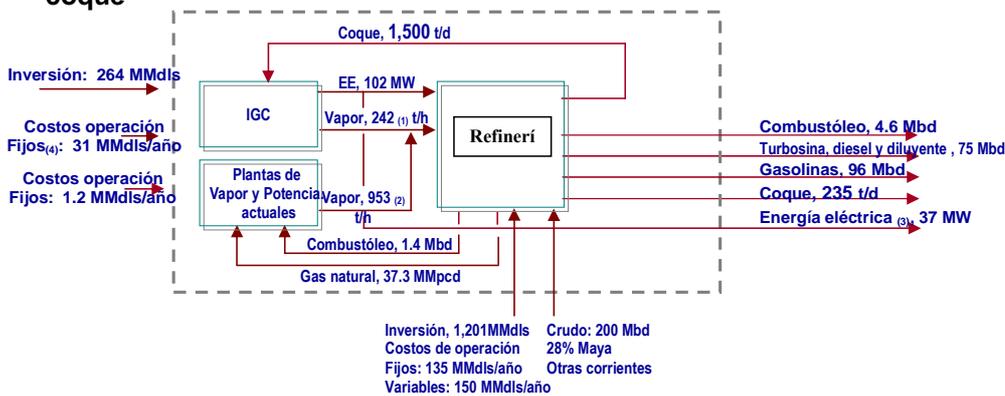
III.4 Cogeneración IGCC con Coque

Alternativa 3: Coquizadaza más IGCC con coque

1. Coquizadora con capacidad de 28 Mbd
2. IGCC de coque, 1 tren con capacidad de 1,500 t/d
3. Producción IGCC: Vapor 242 t/h, energía eléctrica 139 MW
4. Entrada en operación: 2014
5. Producción combustóleo (ventas/autoconsumo): 4.6/1.4
6. Capital: 1,201 MMD coquizadora, 264 MMD + IGCC + 12 MMD interconexión CFE.
7. Una IGCC de residuo de vacío o coque;

Esquema atractivo en “escenario de retraso entrada en operación de coquizadota”; la diferencia tecnológica para manejo de los insumos necesarios, no permite que sea factible.

Fig. III.4.1. Alternativa 3: Diagrama Balance materia, energía y, costos : IGCC con coque

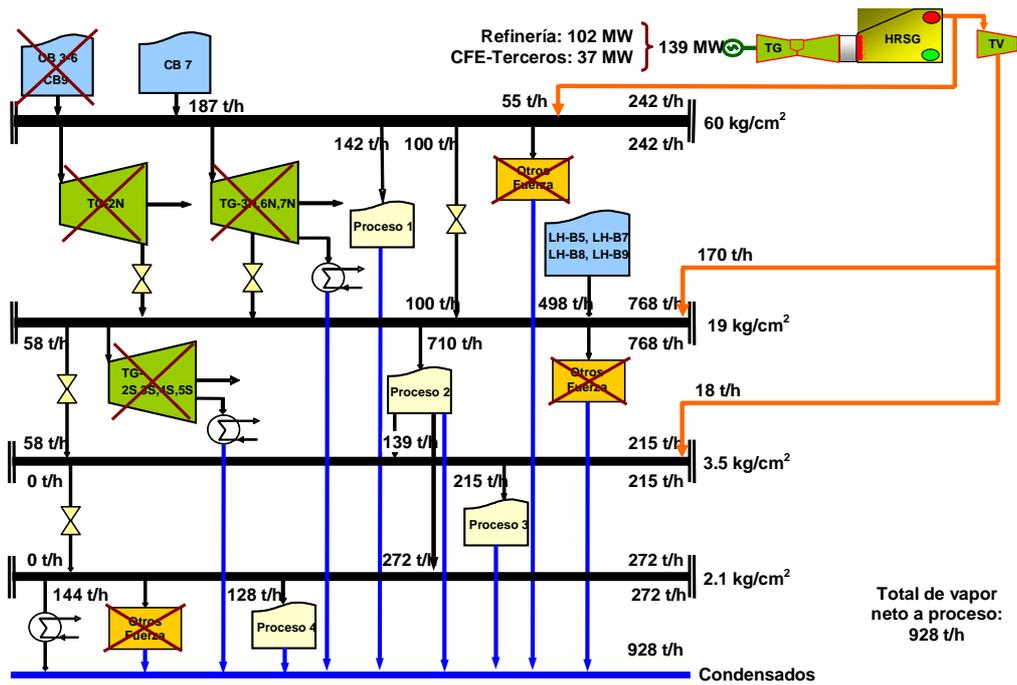


- a) Inversión de Capital de $1,201 + 276 = 1477$ MMUSD
- b) Los costos de operación cambian: CF de 96 a 135; CV de 125 a 150) MMUSD/Año
- c) Producción de gasolinas aumenta de 75 a 98 MBPD
- d) Los destilados aumentan de 58 MBPD a 75 MBPD
- e) Disminución producción combustóleo de 42MBPD a 4.6 M BPD;
- f) Exportación de energía eléctrica en 37 MWH

- 1) Incluye vapor de 60, 19 y 3.5 kg/cm².
- 2) Incluye vapor de 60, 19, 3.5 y 2.1 kg/cm².
- 3) La energía eléctrica excedente entregada a CFE o permiso de CRE autoabastecimiento
- 4) Incluye incremento en costos por respaldo con CFE.

Fig.III.4.2. Alternativa 3 IGCC con coque. Balance de Vapor

Diagrama de Balance de masa y energía de Servicios Auxiliares:
Se ilustran los cuatro niveles de calidad de vapor de la refinería Salamnca



En el diagrama de balance y flujo se muestran las unidades que salen de servicio. Y, se muestra la alimentación de vapor que sustituye lo existente.

III. 5. Balance Económico opciones Cogeneración Refinería: Residuo Vacío y coque

III.5.11. Calculo de TIR en varias opciones

Se anexan resultados en hojas de cálculo del modelo empleado cotejados con función excel.

III.5.2 Cálculo de VPN en varias opciones: resultados "hojas de cálculo" modelo empleado

Se anexan resultados en hojas de cálculo del modelo empleado cotejados con función excel.

II.14. Resumen de evaluación resultados de Refinería Salamanca

Creación de Valor por alternativas de proceso en Refinería Salamanca.

Notas de la evaluación de factibilidad

- 1) Escenario de precios Costa Golfo México: TIR 12%, horizonte de evaluación 20 años
- 2) Flujo de efectivo después de impuestos (32%).
- 3) Planta IGCC 775MMD; Interconexión a la red de CFE: 66MMdls
- 4) Planta IGCC: 393MMD; Interconexión a la red de CFE: 12MMdls

La refinería tiene ocho turbogeneradores que producen la energía eléctrica que requiere la Refinería (3). Algunos se encuentran al final de su vida útil.

Cuadro III.1. Turbogeneradores Actuales en Refinería Salamanca

Equipo	Tecnología	Vida útil	Capacidad Real Actual (MW)	Generación real 2010 (MW)	Nivel Utilización (%)	Generación Máxima (MW)	Eficiencia (%)	Costos fijos Mantenimiento. MM USD/A
TG-2N	Vapor c/extra c.	0	16.0	6.6	41.3	14.4	77.0	0.18
TG-3N	Vapor c/extra c.	14	24.0	13.5	56.3	21.6	25.7	0.18
TG-6N	Vapor c/extra c.	28	32.0	16.5	51.6	28.8	77.3	0.46
TG-7N	Vapor c/extra c.	28	32.0	16.5	51.6	28.8	78.1	0.46
TG-2S	Vapor s/extra c.	0	3.0	1.5	50.0	2.7	17.4	0.18
TG-3S	Vapor s/ex	0	3.0	1.8	60.0	2.7	17.4	0.18
TG-4S	Vapor s/ex	0	3.0	2.0	66.7	2.7	17.4	0.18
TG-5S	Vapor s/ex	0	6.0	4.1	66.3	5.4	17.4	0.23
TOTAL	.		119.0	62.5	52.5			2.06

Notas del resumen de Turbogeneración de Potencia <Fuerza>1.

1. Considera los valores operativos registrados en 2003.

2. Generación máxima = Capacidad real * 0.9.

3 Datos PEMEX Refinación

Cuadro III.2. Calderas Actuales en Refinería Salamanca.

Equipo	Presión Kg/cm ²	combustible	Vida útil en 2010	Capacidad Real Actual Ton/Hr	Generación Actual Ton/hr	Nivel de utilización (%)	Generación Máx. T/Hr	Consumo COPE m ³ /D	Consumo Gas.Refinería MM PCD
CB-3	60	COPE 7GN	3	190	154.5	81.4	180.5	159.8	4.85
CB-4	60	COPE 7GN	5	200	151.2	75.5	190.0	158.7	4.93
CB-5	60	COPE 7GN	30	200	152.2	76.1	190.0	153.8	5.23
CB-6	60	COPE 7GN	30	200	0.0	0.0	190.0	0.0	0.00
CB-7	60	COPE 7GN	3	200	160.2	80.1	190.0	101.3	7.83
CB-9	60	COPE 7GN	1	185	27.2	14.7	175.8	10.8	1.72
LH-85	19	COPE 7GN	1	125	97.9	78.3	118.8	57.6	4.45
LH-87	19	Gas	1	90	57.2	63.5	85.6	0.0	3.89
LH-88	19	Gas	1	130	79.0	60.7	123.5	0.0	5.09
LH-89	19	COPE 7GN	1	185	99.1	60.7	175.8	15.8	5.27
TOTAL	.			1705	978.5	57.4	1,619.8	655.9	43.25

1. Considera los valores operativos registrados en 2003.

2. Generación máxima = Capacidad real * 0.95.

3. Datos PEMEX Refinación.

En refinería dispone 6 calderas de alta presión y 4 de media. Sólo 2 cuentan con vida útil remanente mayor a 10 años.

Cuadro III.3. Balance de Energía eléctrica en Refinería Capacidad en MW

Concepto	Real actual	Actual (2007)	2001	coquizadora	IGCC+RV	IGCC +coque
OFERTA		62.5	68.8	101.5	283	138.8
Generación Propia		62.5	68.8	101.5	283	138.8
TG-2N	16	6.6	6.8	12.8	0	0
TG-3N	24	13.5	9.8	21.8	0	0
TG-6N (1)	32	16.5	6.5	28.8	0	0
TG-7N	32	16.5	6.5	28.8	0	0
TG-2S	3	1.5	1.5	1.5	0	0
TG-3S	3	1.8	1.8	1.8	0	0
TG-3S	3	2	2	2	0	0
TG-3S	6	4.1	4.1	4.1	0	0
Planta IGCC		0	0	0	283	138.8
DEMANDA		62.5	68.8	101.5	283	138.8
Requerimientos de la Refinería		62.5	68.8	101.5	68.8	101.5
Excedentes a CFE		0	0	0	214.2	37.3

1. En las alternativas 2 y 3, los turbogeneradores salen de operación. Por su vida útil remanente de 20 años entre 2013 y 2014, se considera que continúan su operación en otra refinería (que podría ser Tula o Salina Cruz). Así, contribuirían a los requerimientos eléctricos y térmicos asociados a los proyectos de coquizadora o de reconfiguración.

2. Se consideran igual a cero en todo el período de la evaluación. Actualmente, la suma de los dos rubros es igual a 1 MW.

.**) Fuente: Datos Refinería Salamanca y; Datos Propios

Cuadro III.4. Calderas Refinería Salamanca Capacidad Toneladas/Hora (T/H)

Equipo	Presión (Kg/cm ²)	Capacidad real actual	Situación actual (2007)	Caso Base (2011)	Alternativa 1 Coquizadora (2014)	Alternativa 2 IGCC RV (2013)	Alternativa 3 IGCC Coque
OFERTA		1,705	978.5	1004.7	1406.5	718.4	927.3
Calderas							
CB-3	60	190	154.6	154.6	180.5	0.0	0.0
CB-4	60	200	151.2	151.2	190.0	0.0	0.0
CB-5	60	200	152.2	152.2	190.0	0.0	0.0
CB-6	60	200	0.0	0.0	147.2	0.0	0.0
CB-7	60	200	160.2	160.2	190.0	0.0	187.3
CB-9	60	185	27.2	53.4	175.8	0.0	0.0
LH-B5	19	125	97.9	97.9	97.9	55.4	118.8
LH-B7	19	90	57.2	57.2	57.2	0.0	79.9
LH-B8	19	130	79.0	79.0	79.0	79.0	123.5
LH-B9	19	185	99.1	99.1	99.1	99.1	175.8
Planta IGCC						485.0	242.0
DEMANDA							
Requerimientos de la Refinería				1004.7	1406.5	718.4	927.3

.**) Fuente: Datos Refinería Salamanca y; Datos Propios

Cuadro III.5. Capital y Costos de Operación /C. Fijos + C. Variables)

Capital (Inversión Física)para IGCC Refinería Salamanca en MM USD			
Coque y Residuo de Vacío (RV) para IGCC Refinería			
Concepto	Unit	CT Ref IGCC 1	CT Ref IGCC 3
Potencia Real Unidad	MW	139.0	285.4
Potencia Total Arreglo Refineria I	MW	139.0	285.4
Terreno = 50 Ha	USD	210,000.00	210,000.00
Obra Civil	USD	15,428,612	31,669,256
Tratamiento de Gas	USD	3,125,214	6,414,913
Planta de H2	USD	-	-
Planta Separación de Aire	USD	29,555,235	59,186,350
Reactor Gasificador <2 Reactores>	USD	46,683,429	91,089,618
Tratamiento de Agua	USD	13,134,970	26,961,253
Tanquería Balance	USD	13,907,969	28,547,936
	USD		
Subtotal Costo Directo	USD	122,045,428	244,079,325
Miscelaneos	USD	32,496,215	53,362,205
Planta Generación de Energia	USD	75,072,420	151,527,753
Monto Total de la Inversión	USD	264,056,172	516,314,676
	MMUSD	264.06	516.31
Costos Fijos			
IGCC en Refinería Salamanca			
Concepto	Unit	IGCC c/Petcoke 1	IGCC c/ RV 3
Mantenimiento	USD/ Y	7,921,685	12,907,867
Administración = 30% Mantto.	USD/ Y	2,376,506	3,872,360
Mano de Obra	USD/ Y	398,769	531,692
Costos Fijos Totales	USD/ Y	10,696,960	17,311,919
Costo Mano de obra mensual USD		33,231	44,308
Mano de obra mensual por turno ISD		11,077	14,769
N° de trabajadores @ 3,000 USD/mes		12	16
Costos Variables			
Central Termoeléctrica IGCC "cogeneración" Salamanca			
Concepto	Unit	IGCC Petcoke 1	IGCC RV 3
Caldera Capacidad Gen Vapor	T/H	242.0	485.0
Agua Cruda - 7% -	USD / Y	39,592	79,347
Agua Desmineralizada @ 10%	USD / Y	142,764	286,118
Energía Eléctrica	USD / Y	996,476	1,747,435
Op. Ductos	USD / Y	0	
Total	USD / Y	1,178,831	2,112,900
Gasto Agua desmineralizada Alim Caldera	gpm	1,065.6	2,135.6

Fuente: Datos Propios

Cuadro III.6. Ganancia, Utilidad Bruta del Proceso = Costos Productos – Costos Insumos

Concepto	Unidad	Precio	INSUMOS PROCESO		BALANCE ECONÓMICO	
			IGCC Coque 1	IGCC RV 3	IGCC Coque 1	IGCC RV 3
			USD / Unit		USD /D	USD /D
combustible						
Consumo GS	MMBTU	4.00	0	0	-	-
Coque <Petcoke>	Tm/D	45.00	1,750	0	78750	
Residuo de Vacío (RV)	BPD	28.00		12,800		358,400
Total Combustible					78,750	358,400
Otros Insumos						
Capacidad de producción	T / H					-
Agua Desmineralizada (15%) de Producción	T / H	0.73	73	73	1,275	1,278
Agua de Reposición (20%) de Producción	T / H	0.29	73	97	505	675
Vapor (para CC)	T / H	0.00	151	319	0	0
Oxígeno (O2)	TPD					
Total otros Insumos	USD /D				1,781	1,953
Total Combustible + Otros Insumos	USD /D				80,531	360,353
Productos						
Energía Electrica	MW	\$95.16	139	283	317,454	646,327
Vapor de 520°C, y 15 MPA		\$14.00	242	485	81,312	162,960
Nitrógeno (N2)	TPD	\$6.07				
Bioxido de Carbono CO2	TPD	\$6.07				
Total Productos					398,766	809,287
Valor de la Producción USD / Día					318,235	448,934
días calendario por año		365				
Factor de operación		0.92				
Beneficio anualizado M USD / Año					106,863	150,752

*) Fuente: Datos propios

Cuadro III.7 Determinación de Tasa Interna de Retorno (TIR) Caso Residuo de Vacío (RV)

TIR: R Salamanca Cogeneración: Potencia y Vapor IGCC + RV	IGCC con RV (t)	En miles de U.S. dólares									
Tas de Interés (i)	15.0%										
Impuesto	32%										
año	2003	2004	2005	2006	2007	2015	2016	2021	2025	2026	
	-3	-2	-1	0	1	9	10	15	19	20	
Costo Capital	51,631	206,526	206,526	51,631	0	0	0	0	0	0	
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	150752	150752	150752	150752	150752	150752	
Costos Fijos	0	0	0	0	17312	17312	17312	17312	17312	17312	
Costos Variables	0	0	0	0	2113	2113	2113	2113	2113	2113	
Costos Totales	0	0	0	0	19425	19425	19425	19425	19425	19425	
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	131327	131327	131327	131327	131327	131327	
Depreciacion	0	0	0	0	51631	51631	51631				
Utilidad Gravable	0	0	0	0	79696	79696	79696	131327	131327	131327	
Impuesto 32%	0	0	0	0	25503	25503	25503	42025	42025	42025	
Flujo Neto Efectivo (NetCash Flow)	-51,631	-206,526	-206,526	-51,631	105824	105824	105824	89302	89302	89302	
Factor de descuento	1.522	1.323	1.150	1.000	0.8694	0.2837	0.2466	0.1225	0.0700	0.0608	
Flujo Efectivo descontado	-78,578	-273,252	-237,558	-51,631	92001	30022	26100	10938	6248	5432	
Flujo Efectivo Descontado Acumulac	-78,578	-351,830	-589,388	-641,019	-549019	-136530	-110430	-36644	-5432	0	
Utilidad Bruta del Proyecto (\$1000s)	\$150,752										
Variable a recalcular TIR											
VPN (NPV)	0										
TIR (IRR)	15.03%										
costo de Capital(1000's)	516,314.7										
Análisis con "funciones Excel"											
Calcular TIR	15.03%	20 Años									
	11.50%	10 Años									
	0.55%	5 Años									
Consideraciones											
"Flujo de efectivo" discrecional al final del año											
Depreciación lineal en diez años											
Costo de capital repartido en cuatro años construcción de la curva S: Año 1 10%. Año 2: 40%. Año 3 40%.Año 4: 10%											
ción de cosotos y otras ganancias											

Cuadro III.8. Determinacion Valor Presente Neto(VPN)y Anualidad(A) Caso Residuo (RV)

VPN: Salamanca Cogeneración: Potencia y Vapor IGCC + RV		IGCC e/ R.V.	En Miles de dólares USA																				
Tasa de Interés (i)		10.0%																					
Impuesto		32.0%																					
año	No.	2003	2004	2005	2006	2007	2011	2014	2015	2016	2021	2026											
Costo Capital		51,631	206,526	206,526	51,631	0	0	0	0	0	0	0											
Utilidad Bruta 1000 USD / Año		0	0	0	0	150,752	150,752	150,752	150,752	150,752	150,752	150,752											
Costos Fijos		0	0	0	0	17,312	17,312	17,312	17,312	17,312	17,312	17,312											
Costos Variables		0	0	0	0	2,113	2,113	2,113	2,113	2,113	2,113	2,113											
Costos Totales		0	0	0	0	19,425	19,425	19,425	19,425	19,425	19,425	19,425											
Ganancia (Utilidad) de Operación		0	0	0	0	131,327	131,327	131,327	131,327	131,327	131,327	131,327											
Depreciacion		0	0	0	0	51,631	51,631	51,631	51,631	51,631	51,631	51,631											
Utilidad Gravable		0	0	0	0	79,696	79,696	79,696	79,696	79,696	79,696	131,327											
Impuesto 32% -		0	0	0	0	25,503	25,503	25,503	25,503	25,503	25,503	42,025											
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)		-51,631	-206,526	-206,526	-51,631	105,824	105,824	105,824	105,824	105,824	105,824	89,302											
Factor de descuento		1.3310	1.2100	1.1000	1.0000	0.9091	0.6209	0.4665	0.4241	0.3855	0.2394	0.1486											
Flujo de Efectivo descontado		-68,721	-249,896	-227,178	-51,631	96,204	65,709	49,368	44,880	40,800	21,378	13,274											
Flujo Efectivo Descontado Acum:		-68,721	-318,618	-545,796	-597,428	-501,224	-196,270	-32,862	12,018	52,813	183,334	264,375											
NPV (000's)		264,375																					
Costo de Capital (000's)		516,315																					
(A) Determinación de Anualidades (A) a partir del VPN del proyecto																							
Ejemplo 1																							
Número de Años (n)		25																					
Tasa de interés (i)		7%																					
VPN USD (000)		264,375	USD																				
A=((i)*VPN(1+i)^n)/[(1+i)^n - 1]		22,686	USD/Año																				
Año		1	2	3	4	5	9	12	13	14	19	24	25										
Anualidades		22,686	22,686	22,686	22,686	22,686	22,686	22,686	22,686	22,686	22,686	22,686	22,686										
Anualidades a Valor presente		21,202	19,815	18,519	17,307	16,175	12,340	10,073	9,414	8,798	6,273	4,472	4,180										
Suma Anualidades Valor Presente		264,375	USD																				

Fuente: Datos propios "tesis"

Cuadro III.9. Determinacion de Tasa Interna de Retorno (TIR) Caso Coque

TIR: R. Salamanca Cogeneración: E. Elec. y Vapor IGCC + Petcoke		IGCC e/ Petcoke	En miles de U.S. dólares																				
Tas de Interés (i)		19.95%																					
Impuesto		32%																					
año		2010	2011	2012	2013	2014	2016	2018	2020	2022	2023	2025	2027	2028	2032	2033							
Costo Capital		26,406	105,622	105,622	26,406	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
Utilidad Bruta 1000 USD / Año		0	0	0	0	106863	106863	106863	106863	106863	106863	106863	106863	106863	106863	106863							
Costos Fijos		0	0	0	0	10,697	10697	10697	10697	10697	10697	10697	10697	10697	10697	10697							
Costos Variables		0	0	0	0	1179	1179	1179	1179	1179	1179	1179	1179	1179	1179	1179							
Costos Totales		0	0	0	0	11876	11876	11876	11876	11876	11876	11876	11876	11876	11876	11876							
Ganancia (Utilidad) de Operación		0	0	0	0	94988	94988	94988	94988	94988	94988	94988	94988	94988	94988	94988							
Depreciacion		0	0	0	0	26406	26406	26406	26406	26406	26406	26406	26406	26406	26406	26406							
Utilidad Gravable		0	0	0	0	68582	68582	68582	68582	68582	68582	68582	68582	68582	68582	68582							
Impuesto 32% -		0	0	0	0	21946	21946	21946	21946	21946	21946	30396	30396	30396	30396	30396							
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)		-26,406	-105,622	-105,622	-26,406	73041	73041	73041	73041	73041	73041	64592	64592	64592	64592	64592							
Factor de descuento		1.726	1.439	1.200	1.000	0.8336	0.5794	0.4026	0.2798	0.1945	0.1621	0.1127	0.0783	0.0653	0.0315	0.0263							
Flujo de Efectivo descontado		-45,577	-151,982	-126,699	-26,406	60891	42317	29409	20438	14204	11841	7277	5057	4216	2036	1688							
Flujo Efectivo Descontado Acumulado		-45,577	-197,559	-324,258	-350,664	-289773	-196694	-132007	-87052	-55810	-43968	-27962	-16838	-12621	-1698	0							
Utilidad Bruta del Proyecto (\$1000s)		106,863																					
Variable a recalcular TIR		0																					
NPV		0																					
IRR		19.95%																					
costo de Capital(1000's)		264,056.2																					
Análisis con "funciones Excel"																							
Calcular TIR		19.95%	20 Años	Años																			
		17.20%	10 Años	Años																			
		7.56%	5 Años	Años																			
Consideraciones																							
"Flujo de efectivo" discrecional al al final del año																							
Depreciación lineal en diez años																							
Costo de capital repartido en cuatro años construcción de la curva S: Año 1 10%. Año 2: 40%. Año 3 40%.Año 4: 10%																							
No se incluye escalación de costos y otras ganancias																							

Fuente: Datos propios "tesis"

Cuadro III.10. Determinación de Valor Presente Neto (VPN) y anualidades (A) Caso Coque

VPN: Salamanca Cogeneración: Potencia y Vapor IGCC + Coque		IGCC c.Petoque		en Miles de Dolares									
Tasa de Interés (i)		0.110000											
Impuesto		C											
Año	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2019	2023	2028	2032	2033		
Costo Capital	26,40€	105,€22	26,40€	0	0	0	0	0	0	0	0		
Utilidad Bruta 1000 USD/Año	C	0	0	106,863	106,863	106,863	106,863	106,863	106,863	106,863	106,863		
Costos Fijos	C	0	0	10,897	10,897	10,897	10,897	10,897	10,897	10,897	10,897		
Costos Variables	C	0	0	1,179	1,179	1,179	1,179	1,179	1,179	1,179	1,179		
Costos Totales	C	0	0	12,076	12,076	12,076	12,076	12,076	12,076	12,076	12,076		
Salvancia Utilidad de Operación	C	0	0	94,786	94,786	94,786	94,786	94,786	94,786	94,786	94,786		
Depreciación	C	0	0	26,40€	26,40€	26,40€	26,40€	26,40€	26,40€	26,40€	26,40€		
Utilidad Gravable	C	0	0	68,386	68,386	68,386	68,386	68,386	68,386	68,386	68,386		
Impuesto 32%	C	0	0	21,884	21,884	21,884	21,884	21,884	21,884	21,884	21,884		
Flujo Neto de Efectivo (Net Cash Flow)	-26,40€	-105,€22	-26,40€	73,€41	73,€41	73,€41	73,€41	73,€41	64,€92	64,€92	64,€92		
Factor de Descuento	1,331€	1,1600	1,0000	0,8091	0,6811	0,5670	0,4631	0,3685	0,2824	0,2026	0,1288		
Flujo de Efectivo descontado	-35,14€	-116,185	-26,40€	66,401	60,365	45,353	41,230	28,61	13,40€	10,501	9,601		
Flujo Efectivo Descontado Acumulado	-35,14€	-279,134	-306,539	-239,139	-179,773	-79,655	7,575	143,763	237,66€	236,66€	236,28€		
VPN (NPV) (000's)	293,29€												
Costo de Capital (000's)	261,05€												
Determinación de Anualidades (A) a partir del VPN del proyecto													
Ejemplo 1													
Número de Años (n)	25												
Tasa de Interés (i)	C												
VPN USD (000)	293,28€												
$A = \frac{((1+i)^n \cdot \text{VPN})}{(1+i)^n - 1}$	25,424												
Año	1	3	4	5	6	9	10	11	1€	23	24		
Anualidades	25,424	25,424	25,424	25,424	25,424	25,424	25,424	25,424	25,424	25,424	25,424		
Anualidades a Valor Presente	23,761	20,754	19,596	18,127	16,541	13,829	2,924	9,863	7,03€	€,363	5,01€		
Suma Anualidades Valor Presente	293,28€												

Fuente: Datos propios "tesis"

III.6. Conclusiones <Capitulo>

1. La aplicación del esquema "Cogeneración IGCC Coque o Residuo (RV); resuelve el problema de Fondo de Barril.
2. La Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Presente Neto (VPN) son mayores para Coque respecto Residuo (RV), empero ambos casos son viables.
3. En Ambos casos se tiene recuperacion de capital a partir del 6º, y 9º Año, respectivamente. Ver "flujo de efectivo, cuadros de cálculo de VPN, respectivamente.

IV. Terminal de Gas Natural Líquido “TGNL”

**ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD “AGREGADA”
DE LOS PROYECTOS TERMINAL DE GAS NATURAL LICUADO DE MANZANILLO, COLIMA, Y
REPOTENCIACIÓN REGIÓN DE OCCIDENTE; MANZANILLO I, y II; Y GUADALAJARA CC.**

Premisa económica:

**La tasa interna de retorno TIR debe ser superior a 10% para garantizar la amortización
de capital en un lapso menor de diez años ...**

IV. Terminal de Gas Natural Líquido

Resumen Introdutorio capítulo IV

1. Introducción General

Planeación estratégica

Criterios de evaluación

Precio de equilibrio

Análisis de prefactibilidad agregada

2 .Alcance de proyectos.

Balace de Materia y Energía

Ganancia: TGNL, Manzanillo I y II, y Guadalajara CCC.

3. Consideraciones Económicas.

TIR de: TGNL, Manzanillo I y II, y Guadalajara CCC.

VPN de: TGNL, Manzanillo I y II, y Guadalajara CCC

4. Conclusiones.

5. Anexos.

Resumen Introdutoria Caitulo IV:

Se analiza la viabilidad económica de construcción de una "Terminal de Gas Natural Licuado" (GNL). Terminal, que se construye, para seguridad del suministro de gas natural que, justificando que esa obra de infraestructura sea para garantizar la confiabilidad de la red nacional eléctrica en la región occidente del País que, a pesar del sobre costo que ocasiona esa obra, si, ofrece el "plus" de la seguridad operacional, por esa ventaja estratégica, se decidió conveniencia de construirla, por lo que, se estudia la viabilidad económica de la "Terminal de Gas natural licuado" (GNL) cuya recuperación de capital, se logra con una diferencial de precios de compra del gas natural líquido respecto el de "venta" del gas natural "producido". Al valor de esa banda diferencial en "dólares por millón de BTU" del gas natural líquido, se le suma el sobre costo de "2.52 dólares por millón de BTU", conforme la estadística publicada en revistas especializadas. "Sobre costo", arriba del precio de mercado del gas natural debido al proceso de licuefacción del gas natural, transporte y, almacenamiento de origen. Con ese diferencial de sobre precio, debe lograrse la amortización de la inversión a un valor aceptable de TIR. Y, el costo del gas natural "producido" debe ser adecuado para la generación de potencia a precio competente en USD/MW-H.

IV. Terminal de Gas Natural Líquido (GNL)

IV.1. Introducción General del capítulo [10]

Derivado de las actividades de la Comisión Federal de Electricidad para resolver en su planeación estratégica, la vulnerabilidad del suministro de combustible en la región occidental del País, abastecimiento, que pone en riesgo de falla la generación de potencia, lo cual, es un concepto medular de seguridad en sus operaciones, por lo que, para garantizar la eliminación de riesgo relacionado al suministro estratégico de gas natural a nivel nacional, lo cual emerge ante la posibilidad de un escenario de baja producción de ese energético por la declinación natural de producción de los yacimientos de gas natural operados por Petróleos Mexicanos, es, la condición crítica, que ha llevado a la CFE a la creación de un proyecto en la costa del Pacífico Central conocido como Terminal de Gas Natural Licuado (TGNL) en Manzanillo Colima. Instalación, con la que se soluciona el suministro estratégico de GN, en la región Occidente del País.

En tanto el consumo actual de combustóleo de la Central Termoeléctrica de Manzanillo I, y II, se planea sustituirlo con gas natural desde la TGNL. Además, se aunarán a esta demanda los requerimientos de las nuevas unidades de la Central Termoeléctrica de Guadalajara, por lo que, entre ambas Centrales, se desarrollará en conjunto el proyecto de “Repotenciación Región de Occidente”, que son obras que justifican y dan cabida estratégica al abastecimiento de gas natural “producido” del gas natural licuado (GNL).

IV.1.1 Precios:

Uno de los criterios principales de los estudios de viabilidad económica de proyectos, son los precios de los insumos; por lo que la obtención del precio de equilibrio del gas natural “producido” (GN) del gas natural licuado (GNL), constituye uno de los principales objetivos de éste análisis de prefactibilidad agregada, hecho, para la evaluación económica de los proyectos, llamados: Terminal de Gas Natural Líquido en Manzanillo, Colima, y Repotenciación Región Occidente y, para hacerla, se emplea el método de “flujo de efectivo descontado” que es una herramienta de evaluación financiera cuyos parámetros de análisis son “la tasa interna de retorno” (TIR), y “el valor presente neto” (VPN); los resultados que se obtienen deben ser tan atractivos que garanticen la recuperación del capital que se invierte en las mencionadas obras, en periodos de tiempo, aceptables.

IV.1.2 Precio de Equilibrio: [11]

Debido a que el precio de los insumos, es uno de los parámetros críticos de los estudios de evaluación económica, prioritariamente, se busca definir los “precios de equilibrio”, tanto del gas natural “producido del GNL medido en USD/MM BTU, así como, el costo de la potencia generada en USD/MW. En virtud a que los anteriores parámetros son

¹⁰ A-2, A.2.2 Prospectiva Sector Energético producción Gas natural y precio USD/MMBTU

¹¹ A-1 Definiciones Financieras; Bibliografía b) Costos. En analogía a los conceptos “equilibrio Oferta Demanda” y, “Punto de Equilibrio”, se obtiene el “Precio de equilibrio”, en el que el precio del Gas Natural “Producido da un costo competitivo USD/MW para “generación de potencia”, y acumulación equivalente a capital a VPN a los costos de TIR > 19.0%

receptores directos del precio del gas natural licuado, y debido, a que este último no está preciado con un indicador en el mercado internacional, por lo que, en este análisis se hace la estructuración de esos costos a partir de precios convencionales para llegar a obtener los “precios de equilibrio”, finalmente. Por lo tanto, en este estudio no se emplean valores de precios de los insumos, sino que, se aplican sus costos relativos en función de los precios convencionales disponibles para hacer su estructura.

En conclusión, el precio de equilibrio del gas natural “producido” del GNL debe ser igual o mayor que el costo mínimo de equilibrio de gas natural “producido”; definido, en términos de USD/MM BTU, en conformidad a estándares del mercado internacional. Ya que el precio del gas natural licuado no está disponible, por lo tanto, se toma, para esta evaluación, el precio del GN convencional agregándole el costo diferencial de las operaciones de licuefacción, transporte y gasificación. Así mismo, se aplica *valor de sobre costo* en “USD/MM BTU”, identificado como “banda diferencial”, misma, que produce la “ganancia” que realmente paga la inversión y la operación de la TGNL.

IV.2. Análisis de prefactibilidad “agregada”:

Implica hacer la evaluación del efecto sinérgico de los conceptos técnico económicos de ambas obras en su conjunto. El valor del capital para los “bienes de capital” cubre variación de 25% a 30% del costo, estudiándose sus efectos sobre los valores de la tasa interna de retorno (TIR), y valor presente neto (VPN), mostrado en el análisis de sensibilidad de “variación de capital contra TIR y VPN”. El Capital para la Terminal de Gas Natural Licuado, está propuesto para tres escenarios en función del número de tanques criogénicos que configuren la terminal, Al igual a la obra de Repotenciación Región de Occidente, el capital, se estimó con un índice de costo contra potencia del Orden +/- \$613,656.75 USD/MW; analizando el efecto de variación de su valor por análisis de sensibilidad,

IV.2.1 Costo del gas “producido del GNL:

En relación a los costos, se define el costo del gas natural “producido” del GNL como **producto** en el proyecto “Terminal de Gas Natural Licuado” de Manzanillo, Colima, y como insumo del proyecto “Repotenciación Región de Occidente”, aplicando el mismo valor de “costo” en ambos proyectos. Lo que repercute de manera semejante en el costo de la potencia generada en USD/MW. Esos costos se emplean en la obtención de la “ganancia” para calcular la tasa interna de retorno (TIR); así como el valor presente neto (VPN) de cada proyecto, mismo, que de garantía a la recuperación del capital.

IV.3. Alcance de proyectos:

La configuración de la Terminal de Gas Natural Licuado será para producción de hasta mil millones de pies cúbicos estándar por día, mediante la evaporación de gas natural licuado a -162°C, almacenándolo en dos, cuatro, o seis tanques de 150,000 m³. Empleando agua de mar para el calentamiento y regasificación del GNL a 16° C, previo a su distribución. Siendo la capacidad almacenada uno de los parámetros de evaluación de la obra, es decir el tiempo de residencia, será el criterio clave para definir el alcance de la configuración de esa Terminal de Gas natural Licuado, en Manzanillo Colima.

En relación al proyecto Repotenciación Región Occidente, está, perfilado para su integración con La Central Termoeléctrica de Manzanillo Colima, obra que incluye hasta ocho nuevas unidades de ciclo combinado, formando nuevos conjuntos con las unidades actuales para generar 758 MW en cada nuevo conjunto, que se forma de “una unidad existente más dos unidades nuevas”. Así mismo, en la C.T. Guadalajara, se planea la agregación de cuatro nuevas unidades de ciclo combinado para la generación de 446 MW por cada nuevo par de unidades.

La sinergia de la operación de ambos proyectos producirán una potencia total agregada de 1,516 MW que entregarán a la red de distribución Región Occidente de la CFE consumiendo 595.37 MM SCFD para Manzanillo I, y II; y 204 MM SCFD para Guadalajara; en resumen se consumirán 799.7MM SCFD, mínimo. El gas natural “producido”, se enviará por un gasoducto de 30 pulgadas de Manzanillo a Guadalajara; sin embargo, es necesario analizar la posibilidad que el gas natural se pueda manejar en sentido inverso, por lo que el diámetro del gasoducto podría ser mayor, o incrementarse la presión de transporte.

IV.4. . Consideraciones Económicas

En el análisis de prefactibilidad agregada, se consideran y definen los valores de:

IV.4.1. Costo de Equilibrio:

Los parámetros principales de la evaluación económica es obtención del costo de equilibrio del gas natural “producido” del GNL, definiendo su costo USD/MM BTU. Así mismo lo relativo a los productos, se tiene el costo de equilibrio del MW generado, definiendo su costo en USD/MW. Cuyos valores de esos parámetros, serán los obtenidos para su aplicación en el lapso 2009 a 2029, lo cual, se ilustra en la tabla “precios” “Eval-Econ-TGNL”, y “Repotenciación”.xls.

IV.4.2. “Costo del GNL”:¹²

En la obtención del costo (“precio”) del GNL para la evaluación, se incluye un aumento sobre el precio convencional del GN por los conceptos:

Licuefacción: 0.8 a 1.5 USD / MM BTU

Transporte: 0.5 a 1.2 USD / MM BTU

Evaporación: 0.3 a 0.4 USD / MM BTU

En resumen: 1.6 a 3.1 USD / MM BTU

Incremento promedio: 2.3 USD / MM BTU

Fuente: Hydrocarbon Processing Julio 2005, Pag 45

IV.4.3. Costo de equilibrio del GN “producido” del GNL:

La recuperación de inversión del proyecto “TGNL” de Manzanillo, se logra en función de “ganancia” del balance del costo de venta del GN “producido” del GNL, menos, costo del GNL empleado. El costo de equilibrio GN “producido” del GNL es mayor en 2.3 USD/MM BTU <punto (2),>, mas valor de “banda diferencial” de 0.55 a 0.72 USD/MM BTU definido por sensibilidad, referido, sobre el precio del GN a 6.0 USD/MMBTU. valor de la

¹² Referencia revista especializada Hydrocarbon Processing Julio 2005, Publicación mensual en U.S.A.

banda diferencial que produce "ganancia" que recupera la inversión de la TGNL en un tiempo razonable.

IV.4.4. Análisis de Sensibilidad del costo del GN "producido ":

En relación al proyecto Terminal de Gas Natural Licuado de Manzanillo, Colima, se obtienen valores de tasa Interna de retorno (TIR), y Valor Presente (VPN). Haciendo un ensayo de sensibilidad, se precisan sus valores que garantiza la recuperación de "capital". El valor de esos parámetros se obtuvo en función del valor de una "banda diferencial" del orden 0.55 a 0.72 USD/MM BTU sobre el costo del GN "producido" del GNL, obteniendo valor máximo \$9.08 USD/MM BTU para cálculo de "ganancia" de operación del proyecto, que cubre el costo de amortización, línea recta, de capital, y los costos de operación fijos y variables,

IV.4.5 Análisis de Sensibilidad del costo de equilibrio del MW:

En cuanto al proyecto Repotenciación Región de Occidente, el concepto crítico para determinación de "ganancia" es el "costo de equilibrio" de la potencia generada cuyo valor obtenido es \$98.09 y \$103.3 USD/MW para las CT's Manzanillo I, y II y Guadalajara CCC, respectivamente. Habiendo aplicado el costo de equilibrio del GN "producido" en el balance de "productos menos insumos", del caso. Se hace un ensayo de sensibilidad, mediante variaciones del costo del "MW" <ilustrado en un gráfico>, en el que se obtuvieron los valores de la tasa interna de retorno (TIR +/-19%) y valor presente neto (VPN) con el que se recupera el capital antes de 20 años; se incluyen gastos de operación y depreciación de capital para el proyecto, en tiempo aceptable.

IV.4.6. Tasa Interna de Retorno (TIR): **(Resultados en Hoja de cálculo del modelo usado anexa)

Derivado del análisis de sensibilidad se precisa el valor de la tasa interna de retorno de 19.16% para el proyecto Repotenciación en Manzanillo y de 19.48% y 19.33% para la Terminal de Gas Natural Licuado.; valores de "tasas máximas de descuento" cuyo flujo de efectivo aplicado a "Valor Presente Neto" obtiene, el equivalente del capital invertido en cada proyecto. Contable y fiscalmente el capital se recupera cuando el flujo negativo cambia a positivo, pagando inclusive el costo por depreciación, En este caso, el capital a Valor Presente Neto vuelve a "recuperarse" en 20 años, como se muestra en los cuadros de flujo de efectivo descontado para ambos proyecto. En el análisis se aplica un descuento de 32% de impuestos para ambos proyectos.

IV.4.7. Valor Presente Neto (VPN) **(Resultados en Hoja de cálculo del modelo usado anexa)

Con apoyo en los análisis de sensibilidad se determina el valor presente neto de las dos obras en cuestión observándose un VPN de 508,200 M USD para dos tanques criogénicos, y 714,814 M USD integrando seis tanques refrigerados para la Terminal de Gas Natural Licuado con periodos de retorno de 6, y 7 años. Incluyendo un descuento de 32% de impuestos. Y acumulando el valor del capital a VPN, en 20 años.

Con respecto al proyecto "Repotenciación" se obtiene un VPN de 505,159 M USD y 347,306 M USD con periodos de retorno de 7 a 8 años. En ambos casos el VPN, es después de 32% de impuestos y, a 20 años.

Cuadro IV.1. Balance de Masa y Energía de TGNL [¹³]

BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA << CONSUMO>> de la TGNL					
Concepto	Unidad	Cantidad			
Lugar:	Manzanillo	Manzanillo	Manzanillo	Manzanillo	Manzanillo
Etapa de Proyecto		1a. Etapa	2a Etapa	2a Etapa	2a Etapa
Capacidad Almacenamiento C /. Etapa	m3	150,000	300000	600000	900000
Temperatura Almacenamiento 1a. Etapa	° C	-162	-162	-162	-162
Capacidad Producción de GN C /. Etapa	MM PCED	500	1000	1000	1000
Tiempo de Residencia LNG x GN "producido"	Días	5.94	5.94	11.87	17.81
No. De Tanques Criogénicos de 150,000 m3 c/u		1	2	4	6
Bombas de LNG					
Tipo de Bomba Centrífuga	None	Vertical de cubeta	Vertical de cubeta		
Capacidad de Producción LNG Tque.Criogénico en	MM PCED	500.0	1,000.0	1,000.0	1,000.0
Capacidad de Producción LNG Tque.Criogénico en	Ton/D	10,753.2	21,506.3	21,506.3	21,506.3
Capacidad de Producción LNG Tque.Criogénico en	m3/D	25,263.8	50,527.6	50,527.6	50,527.6
Capacidad Total de Bombeo LNG Tque.Criogénico	Ton/HR	448.0	896.1	896.1	896.1
Capacidad Total de Bombeo LNG Tque.Criogénico	M3/Hr	1,052.7	2,105.3	2,105.3	2,105.3
Número de Bombas LNG	Adim	4.0	8.0	16.0	24.0
Capacidad de c / Bomba LNG Tque.Criogénico	gpm	1,158.8	1,158.8	1,158.8	1,158.8
Presión de descarga LNG	psig	900.0	900.0	900.0	900.0
Eficiencia de las Bombas	%	0.8	0.8	0.8	0.8
Consumo de potencia por bomba LNG	HP	811.3	811.3	811.3	811.3
Consumo Total de potencia por bomba(s)	KW	2,420.9	4,841.8	4,841.8	4,841.8
Evaporador de LNG					
Tipo Arreglo	None	Carcaza y Tubos Vertical	Carcaza y Tubos Vertical		
Capacidad de Transferencai de calor (Duty)	BTU/HR	441,729,029.1	883,458,058.3		
Capacidad de Transferencai de calor	Kcal/Hr				

¹³ A_1 Definiciones, Unifidades y Magnitudes Fisicas; Bibliografía a) Sec.I Caps 3, 4 y 5:Balance Masa Energía

(Duty)		111,547,734.6	223,095,469.3		
Capacidad de Transferencia de calor (Duty)	KJ/Hr	467,391,832.0	934,783,664.0		
Area de Transferencia de calor	m2	5,995.8	11,991.6		
Area de Transferencia de calor	ft2	64,514.8	129,029.6		
MLTD	° C	54.3	54.3		
Medio de Calentamiento	Adim	Agua de Mar			
Rango enfriamiento medio calentamiento<Agua Mar>	° C	18.0	18.0		
Bombas de Agua de mar					
Capacidad de medio de calentamiento	m3/Hr	14,632.1	29,264.2		
Capacidad de medio de calentamiento	gpm	64,430.1	128,860.2		
Número Bombas calentamiento LNG c/Agua mar		10.0	20.0		
Capacidad Bombas Agua Mar calentamiento LNG	gpm	6,443.0	6,443.0		
Presión de descarga Agua de Mar	psig	75.0	75.0		
Eficiencia de las Bombas	%	0.8	0.8		
Consumo de potencia por bomba Agua de Mar	HP	375.9	375.9		
Consumo Total potencia por bomba(s) Agua Mar	KW	2,804.3	5,608.5	5,608.5	5,608.5

Cuadro IV.2. Ganancia <Utilidad Bruta> de Operación de Terminal de Gas Natural Licuado (TGNL), [14]

Concepto	Unidad	INSUMOS OPCIÓN PROCESO / Día		BALANCE ECONÓMICO		
		Precio	Gas- Natural (1)	Gas Natural (2)	Gas- Natural (3Tks)	Gas- natural (6 tk)
			USD / Unit	Manzanillo	Guadalajara	Manzanillo
Gas Natural Líquido <GNL>	MM BTU	\$8.53	500,000	1,000,000	4,264,200.0	8,528,400.0
Total Combustible						
Otros Insumos						
Capacidad de producción	T / H					
Agua Desmineraliz. (10%) Producción	T / H	0.73				
Agua de Reposición (20%) Producción	T / H	0.29				
Vapor (para CC)	T / H	8.00				
Total otros Insumos	USD /D				0	
Total GNL + Otros Insumos	USD /D				4,264,200	8,528,400
Productos						
Incremento Potencia.Electrica sinergia con CT	MW	\$99.79	124	124	296,306	296,990
Vapor de Alta Presión	T / H	\$8.00				
Gas Natural Producido a partir de GNL	MM BTU	\$9.078	500,000.0	1,000,000	\$4,539,200	\$9,078,400
				0	\$0	\$0
Bioxido de Carbono CO2	TPD	\$6.07			\$0	\$0
Total Productos					4,835,506	9,375,390
Valor de la Producción	USD / Día				571,306	846,990
Días calendario por año		365				
Factor de operación		0.92				
Beneficio anualizado	1000 USD / Año				191,844	284,419

¹⁴ A-1 Definiciones de "Flujo de Efectivo", determinación Ganancia; Bibliografía b) Balance Económico

Cuadro IV.:3. Capital por Inversión Inicial de infraestructura Terminal Gas Natural Líquido [15]

Capital: Inversión Física necesaria por centro de trabajo y total en MM USD					
Concepto	Unit	TGNL Manzanillo		TGHL	TGHL
		Manzanillo UnTanque	Manzanillo Dos Tanque	Manzanillo Cuatro Tanque	Manzanillo Seis Tanque
Terreno para la TGNL <40 Ha, 33 por procura>	USD	6,133,928.6	6,133,928.6	6,133,928.6	6,133,928.6
Escolleras<dos> tetrapodo: 60 Ton c/u>	USD	48,260,923.3	48,260,923.3	48,260,923.3	48,260,923.3
Muelle Criogénico Servicios,Control, Admón. Puerto.	USD	26,841,059.1	26,841,059.1	26,841,059.1	26,841,059.1
Pilotes	USD	4,367,445.1	8,734,890.1	17,469,780.2	26,204,670.3
Urbanización <dragad, pavimentación>	USD	177,119,901.6	177,119,901.6	177,119,901.6	177,119,901.6
Subtotal Obra Civil		262,723,257.7	267,090,702.8	275,825,592.9	284,560,483.0
Tanque Externo- ObraCivil<pared concreto Ref.	USD	29,965,980.7	59,931,961.4	119,863,922.8	179,795,884.2
Tanque Interno <costo Mtls+ M.O+ pailería>	USD	52,792,493.9	105,584,987.8	211,169,975.5	316,754,963.3
Bombas de LNG	USD	8,715,302.8	17,430,606	34,861,211	52,291,817
Bombas de Agua de mar	USD	6,057,181.4	12,114,362.9	12,114,362.9	12,114,362.9
compresor sistema Filling	USD	2,750,000.0	5,500,000.0	6,875,000.0	8,250,000.0
Compresor Sistem de Holding	USD	1,800,000.0	3,200,000.0	4,000,000.0	4,800,000.0
Evaporadores LNG	USD	19,354,439.0	38,708,878.0	38,708,878.0	38,708,878.0
Tubería TGNL <interna>	USD	33,769,684.3	67,539,368.6	75,981,789.7	84,424,210.8
Descargaderas <Garzas> de GNL	USD	12,000,000.0	24,000,000.0	24,000,000.0	24,000,000.0
Instrumentación y Control	USD	6,080,848.0	12,161,696.1	15,202,120.1	18,242,544.1
Control Avanzado para Alta Administración	USD	9,121,272.0	18,242,544.1	21,282,968.1	24,323,392.1
Tratamiento de Agua	USD			0.0	0.0
Tanquería Balance	USD			0.0	0.0
Sistema Eléctrico <Ductos Cableado,Tableros,Control	USD	41,220,035.2	72,135,061.7	82,440,070.5	92,745,079.3
Subtotal Costo Planta de Evaporación GNL	USD	223,427,237.4	436,549,466.0	646,500,298.6	856,451,131.2
Miscelaneos <Edificios, Aceras, alumbrado, señalamient	USD	26,811,268.5	34,854,649.0	37,535,775.9	40,216,902.7
Capital <Monto Total de la Inversión>	USD	333,425,146.3	480,021,631.6	624,185,909.4	767,798,536.0
Capital <Monto Total de la Inversión>	MM USD	\$333.43	\$480.02	\$624.19	\$767.80
Paridad moneda Peso / dólar	M.N/ US\$	11.2			

(*) Incluye los datos del "Análisis de conceptos y costos elaborado por el Departamento Ingeniería Civil CPT"

¹⁵ Para la determinación del Capital se emplean índices de costo en relación a los bienes de capital y precios de materiales en catálogo "Prisma"

Dimensionado y "diseño preliminar del tanque refrigerado y accsorios

Dimensiones Tanque		
Altura (m)	m	30.0
Diametro Tanque (m)	m	79.8
Espesor Promedio	m	1.1
volumen (pared y base) concreto <externo> pa	m3	27,866.1
Peso Pared concreto Tanque de GNL	Ton	69,665.2
Peso Acero de refuerzo pared Tanque GNL	Ton	11,146.4
Area Base Tanque	m2	5,000.0
Area Techo tanque	m2	5,750.0
Area lateral Tanque	m2	7,521.8
Area total Tanque LNG	m2	18,271.8
Peso Tanque <de placa 7/8"(3' x 6') = 174 Kg /m2 =	Ton	3,178.9
Peso Tanque LNG(calculado por área y densi	Ton	3,154.3
Peso 150M m3 GNL en tanquería	Ton	63,845.2
Peso Total Tanque < Lleno GNL + Peso Concreto Tq	Ton	147,835.7
Carga "especifica" Operación tanque GNL	Ton/ m2	29.6
Placa de 7/8" Acero 3' x 6'	kg/m2	174.0
Pailería Tanque de acero al Niquel <Inox. 3	\$/ Kg	150.0
Terreno precio estimado en función del luga	\$/m2	5.0
Urbanización		
Muelle <Datos para costeo>		
Largo	m	400.0
Profundidad	m	15.0
Ancho	m	5.0
Volumen <muelle> de concreto	m3	30,000.0
Peso <muelle> de concreto	Ton	69,000.0
acero de Refuerzo <refuerzo estimado de 1	Ton	11,040.0
Escolleras <Datos para costeo>		
Longitud total	m	315.0
Número Escolleras	Adim	2.0
Terraplen		
largo	m	315.0
Ancho	m	116.0
alto	m	15.0
Volumen Sub Base roca <boleo grande> + grava y /	m3	548,100.0
Ancho Cara lateral escollera	m	43.8
volumen Base <corona concreto reforzado>	m3	84,217.8
Peso de concreto armado	Ton	193,701.0
Acero de refuerzo	Ton	30,992.2
Tetrapodos peso	Ton	60.3
Tetrapodos Volumen	m3	26.2
Acero de refuerzo Tetrapodo	Ton	9.6
Pilotes < Datos para costeo>		
Carga especifica para diseño <como prueba Hidrost	Ton/m2	39.0
Longitud	m	25
Díametro	m	1.05
Volumen pilote	m3	21.6
Peso pilote	Ton	49.8
Acero Refuerzo pilote	Ton	8.0
Numero pilotes	Adim	138.9

Cuadro IV.4. Costos Fijos de la TGNL, estructura y determinación {¹⁶}

Costos Fijos					
Concepto	Unit	TGIL Producción 500 MMSCFD con un Tanque	TGIL Producción 1000 MMSCFD con Dos Tanques	TGIL Producción 1000 MMSCFD con Cuatro Tanques	TGIL Producción 1000 MMSCFD con Seis Tanques
Mantenimiento	USD/ Y	6,412,022.0	6,000,270.4	7,798,876.0	9,597,481.7
Administración = 30% Mantto.	USD/ Y	1,923,606.6	1,800,081.1	2,339,662.8	2,879,244.5
Mano de Obra	USD/ Y	1,504,800	3,009,600	3,488,400	3,967,200
Mantenimiento Ducto					
Costos Fijos Totales	USD/ Y	9,840,429	10,809,952	13,626,939	16,443,926
Número de Tanques Crigénicos en TGNL		1	2	4	6
Relación Costos Fijos / Costos Variables		2.471	1.357	1.711	2.065
Nº de trabajadores @ 1,900 <Prom.> USD/mes		66	132	153	174
Costo Mano de obra mensual USD		125,400.00	250,800.00	290,700.00	330,600.00
Mano de obra mensual por turno ISD		41,800.00	83,600.00	96,900.00	110,200.00
Salario promedio del trabajador TGNL	USD/Mes	1,900.00	1,900.00	1,900.00	1,900.00
Nº de trabajadores @ 2100 USD/mes		22.00	44.00	51.00	58.00
Áreas de Trabajo en TGNL					
		Trabajadores/Turno	Trabajadores/Turno	Trabajadores/Turno	Trabajadores/Turno
Muelle		3	6	6	6
Descargaderas		2	4	4	4
Tanque GNL		2	4	6	8
Bombas GNL		3	6	9	12
Bombas Agua de mar		4	8	8	8
Evaporadores		6	12	12	12
compresores		2	4	6	8
Total Trqabajadores por Turno		22	44	51	58
Total Trqabajadores TGNL / Día		66	132	153	174

Cuadro III.5. Costos Variables de la TGNL, estructura y determinación [¹⁷]

Costos Variables					
Concepto	Unit	TGIL Producción 500 MMSCFD Un Tanque	TGIL Producción 1000 MMSCFD Dos Tanques	TGIL Producción 1000 MMSCFD Cuatro Tanques	TGIL Producción 1000 MMSCFD Seis Tanques
Agua Cruda - 15% -	USD / Y	0	0	0	0
Agua Desmineralizada @ 10%	USD / Y	0	0	0	0
Cenizas @ 0.03% en combustible	USD / Y	0	0	0	0
Energía Eléctrica	USD / Y	3,462,550	6,925,100	6,925,100	6,925,100
Productos Quim. Cataliz.	USD / Y	0	0	0	0
Disposición de escoria	USD / Y	0	0	0	0
Costos de Mantto. Variable	USD / Y	519,383	1,038,765	1,038,765	1,038,765
Op. Ductos	USD / Y	0	0	0	0
Total	USD / Y	3,981,933	7,963,866	7,963,866	7,963,866
Auto consumo de Potencia @ Cap ("Valor") MW 10% "Valor"					

¹⁶ Los "costos fijos" se determinan en función del capital y M.O. por salarios típicos en México

¹⁷ A-1 Definiciones de conceptos "Flujo de Efectivo". Los Costos variables se determinan en función de los consumos de servicios e insumos de la TGNL, estimados

¹⁷ A-1 Definiciones de conceptos "Flujo de Efectivo". Los Costos variables se determinan en función de los consumos de servicios e insumos de la TGNL, estimados

Cuadro IV.6. Precios Evaluación TGNL [18

PRECIOS EVALUACIÓN DE LA TGNL DE MANZANILLO REFERIDOS A LA COSTA ESTE DEL GOLFO EN LOS EEUU

Año	2002	2003	###	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Promedio	
CONCEPTO												
	Unidad	precio USD										
Agua de Reposición	m3	0.3										
Agua Desmineralizada	m3	0.7										
Agua de Enfriamiento	m3	0.0										
Condensado	m3											
Combustoleo	Barril	12.9										
Energía Electrica x Generación propia	MW-H	31.7		36	38	40	42	44	46			
Energía Electrica a CFE Comercial <compra>	MW-H				81	81.1	81.1	81.21	81.28	81.35	82.22	
Vapor 60 Kg/cm2	Ton/Hr	8.0	10	11	12	12	14	15	8	10		
Vapor 20 Kg/cm2	Ton/Hr											
Vapor 40 Kg/cm3	Ton/Hr											
Gas Natural	BTU	2.5	3	4	5.5	6	7		3.3			
	USD / MM											
LNG	BTU				7.8	7.9	8	8.1	8.2	8.3	8.4	8.85
	USD / MM											
Gas Natural producido de LNG	BTU			9.12	9.22	9.32	9.42	9.516	9.616	9.716	10.17	
Nitrogeno	USD /Ton	834.3										
Bióxido de carbono CO2	USD /Ton	6.1										
	\$ M:N:/											
Paridad Monetaria Peso/ US Dólar	USD	11.2										
Costo Terreno	\$/ m2	25.0										
Concreto Hidr. F´c 250	\$ M.N:/m3	1841.0										
Bombeo concreto hasta 5o. N	\$ M.N:/m3	231.0										
Costo Concreto F´c 250 + Bombeo	\$ M.N:/m3	2072.0										
Concreto Hidr. F´c 300	\$ M.N:/m3	1863.7										
Bombeo de concreto hasta 5o. N	\$ M.N:/m3	231.4										
Acero de refuerzo	USD/Ton	1071.4										
Dragado material compacto descarga camión	\$/ m3	69.4										
Escavación banco medios mecánicos-770990	\$/ m3	31.9										
Carga Camión material II - 771090	\$/ m3	11.6										
Acarreo 1er Km y zona Suburbana 771110, 771150	\$/ m3	42.1										
Costo Unitario Bombas de proceso	USD/ KWH	750										
Costo Unitario Bombas proceso	USD/ KWH	1200										
A.Inox	USD/ KWH	1200										
Costo Unitario Bombas de Servicio Acero	USD/ KWH	600										
Costo Unitario Bombas de Servicio Brass	USD/ KWH	720										

¹⁸ Los precios empleados, son los usados por al Dirección de Finanzas PEMEX; y están referidos a los precios de la Costa del Golfo de México en U.S.A.

Cuadro IV.7. TIR Terminal de Gas Natural Líquido; caso dos (2) Tanques Refrigerados

Evaporación GNL a Gas natural TGNL Manzanillo		En miles de U.S. dólares													
Tasa de Interés (i)	19.5%														
Impuesto	32%														
Año <Calendario >>	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Año <Evaluación >>	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Costo Capital 1000 USD / Año	48,002	192,009	192,009	48,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	191,844	191,844	191,844	191,844	191,844	191,844	191,844	191,844	191,844	191,844	
Costos Fijos 1000 USD / Año	0	0	0	0	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444	
Costos Variables 1000 USD / Año	0	0	0	0	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964	
Costos Totales 1000 USD / Año	0	0	0	0	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	167,437	167,437	167,437	167,437	167,437	167,437	167,437	167,437	167,437	167,437	
Depreciación	0	0	0	0	48,002	48,002	48,002	48,002	48,002	48,002	48,002	48,002	48,002	48,002	
Utilidad Gravable	0	0	0	0	119,434	119,434	119,434	119,434	119,434	119,434	119,434	119,434	119,434	119,434	
Impuesto 32% - <Aplicado >>	0	0	0	0	38,219	38,219	38,219	38,219	38,219	38,219	38,219	38,219	38,219	38,219	
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)	-48,002	-192,009	-192,009	-48,002	129,218	129,218	129,218	129,218	129,218	129,218	129,218	129,218	129,218	129,218	
Factor de descuento	1.706	1.42E	1.19E	1.000	0.8370	0.41C7	0.1687	0.0693	0.0340	0.0284					
Flujo de Efectivo descontado	-81,875	-274,103	-229,413	-48,002	108,150	530,69	217,95	7,987	3,870	32,239					
Flujo de Efectivo Descontado Acumulado	-01,075	-355,373	-505,391	-600,393	-525,244	-24,240	-01,954	-23,059	-32,019	0					
Utilidad Bruta del Proyecto (\$1000s)		\$191,844													
Variable a recalcular TIR															
VPN <<NPV >>		0													
TIR <<IRR >>		19.48%													
Costo de Capital (1000's)		\$480,022													
Aplicación de función Excel															
Calcular TIR		19.48%	20 Años												
		16.66%	10 Años												
		6.90%	5 Años												
Consideraciones para la Evaluación Económica															
Final Discreto de año de Flujo de Efectivo < cash flows >; Depreciación en Línea Recta 10 Años															
Depreciación en Línea Recta 10 Años															
Costo de Capital Distribuido en 4 Años: 1o. 10%; 2o. 10%; 3o. 40%; 4o. 10%															

Cuadro IV.8. VPN de la Terminal GNL Manzanillo, Cálculo [19]

Cálculo VPN para Caso Dos Tanques TGNL															
Tasa de Interés (i)	0.1000														
Impuesto	32%														
año <Calendario >	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Año <Evaluación >	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Costo Capital 1000 USD / Año	48,002	192,009	192,009	48,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	191,844	191,844	191,844	191,844	191,844	191,844	191,844	191,844	191,844	191,844	
Costos Fijos 1000 USD / Año	0	0	0	0	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444	
Costos Variables 1000 USD / Año	0	0	0	0	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964	
Costos Totales 1000 USD / Año	0	0	0	0	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	167,437	167,437	167,437	167,437	167,437	167,437	167,437	167,437	167,437	167,437	
Depreciación	0	0	0	0	48,002	48,002	48,002	48,002	48,002	48,002	48,002	48,002	48,002	48,002	
Utilidad Gravable	0	0	0	0	119,434	119,434	119,434	119,434	119,434	119,434	119,434	119,434	119,434	119,434	
Impuesto 32% -	0	0	0	0	38,219	38,219	38,219	38,219	38,219	38,219	38,219	38,219	38,219	38,219	
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)	-48,002	-192,009	-192,009	-48,002	129,218	129,218	129,218	129,218	129,218	129,218	129,218	129,218	129,218	129,218	
Factor de descuento	1.3310	1.2100	1.1000	1.0000	0.9091	0.8264	0.7519	0.6845	0.6245	0.5718	0.5257	0.4857	0.4513	0.4210	
Flujo de Efectivo descontado	-63,691	-232,030	-211,210	-48,002	117,471	100,791	80,234	60,309	40,309	20,470	10,017	0,000	0,000	0,000	
Flujo Efectivo Descontado Acumulado	-63,691	-296,221	-507,431	-555,433	-437,962	-331,171	-245,997	-173,343	-113,059	-60,589	-23,119	19,356	58,280	108,280	
VPN (1000's)		508,280													
Costo de Capital (1000's)		480,022													
Determinación de Anualidades (A) a partir del VPN del proyecto															
Ejemplo 1															
Numero de Años (n)		25													
Tasa de interés (i)		7%													
VPN USD (1000)		508,280													
A=(i) VPN / (1+i)^n [(1+i)^n - 1]		43,616													
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Anualidades	43,616	43,616	43,616	43,616	43,616	43,616	43,616	43,616	43,616	43,616	43,616	43,616	43,616	43,616	43,616
Anualidades a Valor presente	40,762	36,036	31,603	27,424	23,457	19,663	16,096	12,722	9,599	6,684	4,000	2,000	0,000	0,000	0,000

¹⁹ A-1: Definiciones Bibliografía b)

Cuadro IV.9. TIR Terminal Gas Natural Líquido GNL Manzanillo; caso seis (6) Tanques Refrigerados, cálculo

Evaporación GNL a Gas natural TGNL Manzanillo; caso: 6 Tanques Criogénicos												
Tasa de Interés (i)	En miles de U.S. dólares											
Impuesto	32%											
Año <Calendario >>	2006	2007	2008	2009	2010	2014	2019	2020	2024	2028	2029	
Año <<Evaluación >>	-3	-2	-1	0	1	5	10	11	15	19	20	
Costo Capital 1000 USD / Año	76,780	307,119	307,119	76,780	0	0	0	0	0	0	0	
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	284419	284419	284419	284419	284419	284419	284419	
Costos Fijos 1000 USD / Año	0	0	0	0	16444	16444	16444	16444	16444	16444	16444	
Costos Variables 1000 USD / Año	0	0	0	0	7964	7964	7964	7964	7964	7964	7964	
Costos Totales 1000 USD / Año	0	0	0	0	24408	24408	24408	24408	24408	24408	24408	
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	260011	260011	260011	260011	260011	260011	260011	
Depreciación	0	0	0	0	48002	48002	48002					
Utilidad Gravable	0	0	0	0	212009	212009	212009	260011	260011	260011	260011	
Impuesto 32% - <<Aplicado >>	0	0	0	0	67843	67843	67843	83204	83204	83204	83204	
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)	-76,780	-307,119	-307,119	-76,780	192168	192168	192168	176808	176808	176808	176808	
Factor de descuento	1.658	1.401	1.184	1.000	0.8449	0.4304	0.1853	0.1565	0.0797	0.0406	0.0343	
Flujo de Efectivo descontado	-127,323	-430,275	-363,519	-76,780	162354	82715	35603	27675	14100	7183	6069	
Flujo Efectivo Descontado Acumulado	-127,323	-557,598	-921,117	-997,897	-835543	-401874	-145329	-117654	-43731	-6069	0	
Utilidad Bruta del Proyecto (\$1000s)	284,419											
Variable a recalcular TIR												
VPN <<NPV >>	0											
TIR <<IRR >>	18.36%											
Costo de Capital (1000's)	767,799											
Aplicación de función Excel												
Calcular TIR	18.36%	20 Años										
	15.23%	10 Años										
	5.15%	5 Años										
Consideraciones para la Evaluación Económica												
Final Discreto de año de Flujo de Efectivo < cash flows >; Depreciación en Línea Recta 10 Años												
Depreciación en Línea Recta 10 Años												
Costo de Capital Distribuido en 4 Años: 1o 10%; 2o 40%; 3o. 40%; 4o. 10%												

Cuadro IV.10 VPN Terminal Gas Natural Líquido GNL Manzanillo; caso seis (6) Tanques Refrigerados, cálculo [20]

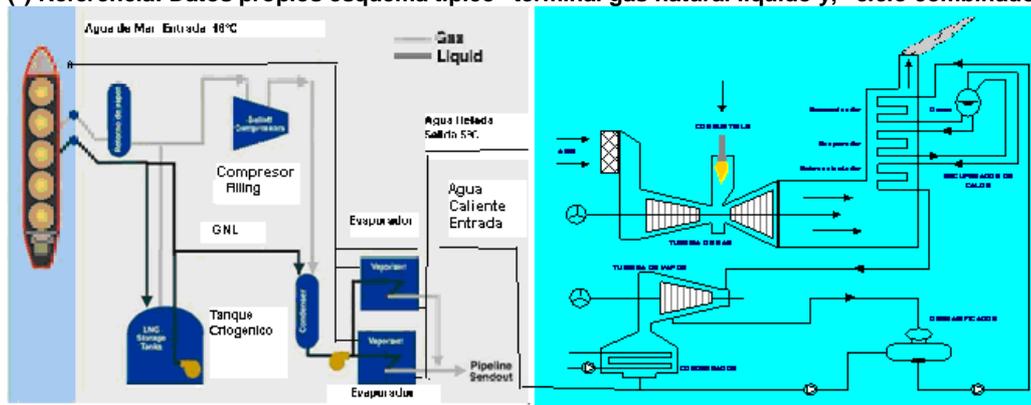
Cálculo VPN; Caso: Seis Tanques Criogénicos, TGNL Manzanillo Col.												
Tasa de Interés (i)	0.1000C											
Impuesto	32%											
año <Calendario >	2006	2007	2008	2010	2015	2016	2019	2024	2028	2029		
Año <<Evaluación >>	-3	-2	0	1	6	7	10	15	10	20		
Costo Capital 1000 USD / Año	76,780	307,119	76,780	0	0	0	0	0	0	0		
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	C	0	0	284,419	284,419	284,419	284,419	284,419	284,419	284,419		
Costos Fijos 1000 USD / Año	C	0	0	16444	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444	16,444		
Costos Variables 1000 USD / Año	C	0	0	7964	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964	7,964		
Costos Totales 1000 USD / Año	C	0	0	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408	24,408		
Ganancia (Utilidad) de Operación	C	0	0	230,011	200,011	200,011	200,011	200,011	200,011	200,011		
Depreciación	C	0	0	76,780	76,780	76,780	76,780					
Utilidad Gravable	C	0	0	133,232	183,232	183,232	183,232	260,011	260,011	260,011		
Impuesto 32% -	C	0	0	58,634	58,634	58,634	58,634	83,204	83,204	83,204		
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)	-76,780	-307,119	-76,780	231,377	201,377	201,377	201,377	176,808	176,808	176,808		
Factor de descuento	1.331C	1.210C	1.0000	0.9091	0.5645	0.5132	0.3655	0.2394	0.1635	0.1466		
Flujo de Efectivo descontado	-102,194	-371,614	-76,780	133,070	113,672	103,338	77,640	42,326	26,909	25,261		
Flujo Efectivo Descontado Acumulado	-102,194	-473,808	-883,420	-735,349	-11,369	91,969	346,957	607,364	741,532	767,814		
VPN(1000's)	767,814											
Costo de Capital (1000's)	767,799											
Anualidades = Pagos Uniformes <Anualidades (A)> a partir del VPN del proyecto												
Número de Años (n)	25											
Tasa de Interés (i)	7%											
VPN USD (1000)	767,814 MUSD											
A - ((i) * VPN * (1+i)^n) / ((1+i)^n - 1)	65,886 M USD/Año											
Año	1	2	4	5	10	11	14	19	23	24	25	
Anualidades	65,886	65,886	65,886	35,886	65,886	65,886	65,886	65,886	65,886	65,886	35,886	
Anualidades a Valor Presente	61,57F	57,54R	51,264	46,976	33,493	31,302	25,552	18,21R	13,889	12,969	12,140	
Suma Anualidades Valor Presente	767,814 MUSD											

²⁰ A-1: Definiciones Bibliografía b)

IV.:5. Sinergia Terminal Gas Natural Licuado y Repotenciación Termoeléctrica Manzanillo

Se trata de una serie de actividades entre los dos centros de trabajo con las que ambos se benefician operativa y, económicamente; reduciéndose algunos costos y aumentando la capacidad de generación de energía (potencia) por mejora de las condiciones de operación respecto las condiciones ISO (25 °C y nivel del mar)

Fig. IV.1. Sinergia Terminal Gas Natural Licuado y Repotenciación Termoeléctrica Manzanillo
(*) Referencia: Datos propios esquema típico “terminal gas natural liquido y, “ciclo combinado”.



De la TGNL A LA CT:

- Gas Natural para generación de electricidad.
- Reduce emisiones atmosféricas, consumo gas natural; mejora impacto ambiental.
- Agua fría para “enfriamiento aire” a turbinas de gas, cuando esté repotenciada la CT que significa, incremento en la potencia y, procesos refrigeración y A.A.

DE LA CT A LA TGNL:

- Agua caliente a salida del condensador para usarse en gasificación del GNL.
- Vapor de proceso como respaldo en la gasificación del gas natural.
- Energía eléctrica para operación de equipos de GNL (10 MW Primera etapa).

III.6. Proceso de regasificación de Gas Natural Líquido (GNL)

El proceso de regasificación del gas natural licuado (GNL), el líquido, se envía a presión hacia el “evaporador de GNL” para ser evaporado con lo que se obtiene el gas natural “producido” para ser descargado a la presión inicial del gasoducto que lo llevará a los diferentes puntos de consumo. Lo cual puede desagregarse:

1. El gas natural líquido GNL es descargado del buque tanque a -163°C, la cual es la temperatura a la que el gas natural a la presión atmosférica, es líquido.
2. “Sistema filling”: durante el llenado del tanque criogénico, una porción del GNL dentro del recipiente se evapora, lo cual provoca “sobrepresión” del tanque produciendo un desfogue de vapores de gas natural, los cuales son recogidos por un sistema de compresión que los retorna al buque tanque donde son vueltos a licuar por expansiones y compresiones sucesivas, operación mediante la cual el GN se vuelve a licuar por efecto “Joule Thompson” o de auto enfriamiento evaporativo.

3. "Sistema Holding": debido al intercambio natural de calor en el tanque criogénico se producen vapores de GNL que sobre presionan el tanque que tiende a relevar esos vapores, los cuales son tomados por un sistema de "compresión y expansión" sucesiva; dada la temperatura de esos vapores permite que se vuelvan a licuar para ser reenviados al tanque criogénico.
4. El gas natural líquido se succiona del "tanque criogénico por una bomba(s) sumergible(s) en el líquido a -163°C) para bombearlo hacia el evaporador a la presión de operación inicial del gasoducto.
5. Una vez presionada por las bombas sumergibles se alimenta el GNL a un evaporador donde se calienta de -163°C a 2°C , mediante agua de mar .
6. El calentamiento en el evaporador de GNL con agua de mar que se alimenta a 19°C enfriándose hasta 14° para evitar el congelamiento del agua de mar en los tubos del evaporador, lo cual produce el fenómeno operacional de relevo o desfogue.

7.

IV.6.1. Optimización de Los Vaporizadores del GNL (ORV) [²¹]

Referencia Bibliográfica HPI (26 Abril de 2005)

En los terminales de regasificación de gas natural licuado (GNL), el vaporizador de gas natural (GNL) es un equipo crítico de la Terminal de almacenamiento y regasificación. La vaporización del GNL ocurre sobre su punto crítico. Por lo tanto, la predicción del funcionamiento del vaporizador a las condiciones de operación normales y, anormales; se convierte en una tarea difícil. No hay método confiable disponible y actual en la literatura publicada.

Las actuales pautas proporcionan la penetración hacia el diseño básico de una Terminal de GNL de importación situada en Europa. **Los modelos** se usan para predecir el comportamiento del sistema en varias condiciones de proceso. Una segunda tarea clave tratada es la cuantificación de la capacidad de flujo requerido para el vaporizador **durante un acontecimiento de relevo**. A continuación se da una lista de pautas para hacer un estudio de un nuevo uso de vaporización del GNL; que puede aplicarse como "método" mediante "la lista de comprobación" siguiente:

1. ¿Se usa el modelo para predecir comportamiento del sistema en varias condiciones de proceso?.
2. ¿SE cuantifica el caudal requerido para el vaporizador en acontecimiento de relevo?.
3. El ejemplo actual demuestra que un evento de relevo el vaporizador se bloquea;
4. ¿el flujo del "refrigerante" agua de mar, es continúa?.
5. ¿No hay método exacto disponible, sin embargo el estándar ampliamente aceptado de NFPA, proporcionó un método estándar dando la pauta a seguir?.
6. ¿El estándar europeo prefigura algunos criterios pero no da método exacto?.

²¹ Referencia Bibliográfica HPI (26 Abril de 2005), Guía Estudio MSE Transferencia de Calor.

IV.6.2. Vaporizador de Gas Natural Líquido (GNL): [[²²]

En una Terminal de GNL es importante la operación del bombeo de GNL de la alimentación al vaporizador y entonces se instalan varios arreglos de tubos de los vaporizadores usados incluye:

1. Abrir los vaporizadores del arreglo: En este sistema el GNL es vaporizado por intercambio de calor de agua de mar en un cambiador con el arreglo de mar abierto.
2. El GNL fluye por dentro de los tubos aletados y, por el exterior el agua de mar, que se distribuye uniformemente.

IV.6.3. Vaporizadores de combustión sumergida.

Ese es un sistema similar a ORV solo que, los tubos se sumergen en un baño de agua calentada. Este baño es calentado por la combustión directa de gas natural..

1. Y, como alternativa usando el calor desechado de las turbinas de gas.
2. En los vaporizadores de carcasa y tubos (S&T): el GNL se vaporiza en los tubos, y un líquido intermedio tal como mezcla de glicol-agua es circulado por la carcasa para proporcionar calor.
3. El líquido intermedio circula en un circuito adyacente al mismo circuito que se calienta con calentadores de combustión de gas o en un cambiador de placa de titanio calentado por agua de mar a la temperatura ambiente.

El modelo de funcionamiento usado en este ejemplo se aplica solamente a los sistemas de ORV.

IV.6.4. Estándares Internacionales:

Los dos estándares internacionales que relacionan vaporizadores de GNL son NFPA 59A Estándar. Según este estándar, la capacidad de relevo del vaporizador calentado o de proceso será tal que la capacidad de la válvula de descarga 110% del flujo de diseño, del gas natural del vaporizador; sin permitir la presión se eleve más el de 10% sobre la presión de funcionamiento máxima permitida del vaporizador.

El vaporizador tipo ORV al ser calentado alejado del vaporizador, nunca debe aceptarse ningún valor de sobre presión sobre el de diseño del equipo. El estándar NFPA considera un "vaporizador calentado "alejado"", cuando el medio de transferencia térmico, agua de mar, se provee de una manera controlada. La cantidad de agua de mar provista se controla para igualar el flujo del GNL a su temperatura de ajuste deseada. Esto es similar a otros vaporizadores alejados, y se permite la aplicación de válvulas de descarga para 110%. Este valor empírico se basa en experiencia industrial más que cualquier teoría fundamental.

En el estándar europeo 1473. Este estándar no define ningún método para clasificar la válvula de descarga, sino indica otros criterios del diseño:

1. El vaporizador se llena de GNL a la temperatura de trabajo.
2. La válvula de aislamiento es cerrada y perfectamente apretada.

²² Referencia Bibliográfica HPI (26 Abril de 2005), Guía Estudio MSE Transferencia de Calor., Bibliografía g) Procesos de transferencia de calor D.Q Kern

3. Continúa el sistema de calefacción con agua de mar en servicio en la condición máxima, es decir temperatura máxima posible y también caudal máximo.
4. Ambas superficies de la transferencia térmica están limpias, es decir no se tiene: resistencia, es decir, que no considera valor alguno de R_d por suciedad.

Para el actual proyecto, el caudal del GNL durante operaciones normales es 180 t/h, y la capacidad máxima del diseño es de 198 t/h. Lo presentado, se basa en transferencia térmica fundamental usando criterios de las normas europeas.

Datos de diseño básicos: El GNL que llega a la terminal de importación será traído de de varias fuentes, así, su composición será absolutamente variable. Un ejemplo de composición en peso será utilizado. Además de la composición, otros datos de proceso se enumeran en el cuadro del flujo de agua de mar. Durante la operación normal se determina el calor y del equilibrio total. Durante la condición de relevo. El estándar europeo requiere con el índice de flujo máximo del agua de mar con la temperatura de la entrada que corresponde con la temperatura máxima del verano.

En el cuadro 2, se resume los datos típicos para ORV. El funcionamiento de un ORV depende principalmente de la temperatura de la entrada del agua de mar y de su temperatura de "rocío" a través del ORV. Para una corriente constante del agua de mar, la capacidad de vaporización aumenta por aumento del diferencial que se tenga con la temperatura de entrada del agua de mar.

Los fabricantes y vendedores indican generalmente la capacidad clasificada de la vaporización en t/h, según sus modelos particulares; por este ejemplo, una capacidad clasificada de 200t/Hora, que se asume.

IV.6.5. Metodología de Cálculo: [²³

Dos parámetros son importantes al evaluar el funcionamiento de los vaporizadores del GNL:

1. Temperatura normal de almacenamiento GNL y las condiciones de relevo.
2. El régimen de flujo de la válvula de seguridad en las condiciones de relevo.

Temperatura de almacenamiento de GNL: Para los cálculos de su funcionamiento, la longitud de transferencia térmica se divide en un número de zonas (seis) es en este ejemplo, no demasiado poco, tal que una información posible puede ser enmascarada, y no, tal que muchos de los cálculos son desperdicio de tiempo pero sin un aumento útil en exactitud.

Para iniciar los cálculos, los datos del GNL, se utiliza del extremo frío, el cálculo de los coeficientes de transferencia de calor en el punto medio de la primera zona. Para el agua de mar, solo el caudal de flujo y temperatura de entrada al vaporizador son necesarios. Se calcula la temperatura en el punto final para esa zona, de balance de

²³ Referencia Bibliográfica HPI (26 Abril de 2005), Guía Estudio MSE Transferencia de Calor.; b) D.Q .Kern

calor. El régimen de transferencia de calor mayor, significa que la diferencia logarítmica de temperatura (LMTD) para esta zona está determinada. También los coeficientes de transferencia térmica para el GNL y el agua de mar se calculan. De todos estos datos generales la longitud requerida de transferencia térmica para la zona se calcula. Para verificar la formación de hielo posible, la temperatura de la pared del tubo se calcula para cada zona. Si está debajo de (-2°C) (un valor derivado de datos experimentales de la publicación), después asume que el hielo se formará. El coeficiente de transferencia térmica para la zona de formación de hielo no se calcula; pero es tomado de datos en la literatura, se continúan los cálculos hasta que la temperatura del agua en la zona final aproxima una temperatura especificada del agua de mar de entrada. El arreglo de flujos del GNL y del agua de mar es en contra flujo.

Combinación de las longitudes de transferencia térmica para todas las zonas se utiliza para determinar la longitud del tubo del vaporizador. Si ese valor no coincide con la longitud especificada del tecnólogo, se hace la repetición de cálculos, y no se aumenta el número de zonas. La temperatura del GNL en el punto final corresponde a su temperatura en la alimentación del vaporizador.

Debe tenerse presente que los cálculos se deben hacer inicialmente para las condiciones normales de operación validen el modelo. Una vez que se pruebe el modelo, entonces los cálculos se pueden utilizar a para derivar el funcionamiento del vaporizador en las condiciones de relevo. Para las condiciones de relevo el mismo método se utiliza pero incluye nuevos datos de proceso:

¿La capacidad de flujo del GNL que corresponde al caudal de flujo máximo de diseño del vaporizador? a temperatura máxima de entrada de agua de mar del verano. (Estándar Europeo). Caudal máximo del agua de mar (estándar europeo).

IV.6.6. Transferencia de Calor:

Del lado de los tubos de (GNL): Durante condiciones normales y de relevo, el GNL está sobre su presión crítica, es decir: no hay cambio distinto de la fase del líquido al gas, sino alguna transición repentina a partir de una fase a la otra. La poca información es el tratamiento publicado con respecto a transferencia térmica a los líquidos en las presiones supercríticas.

Se considera el calor transferido al líquido monofásico, después los coeficientes de transferencia de calor, se pueden estimar usando un tipo ecuación (Eq de Dittus Boelter: 1) es decir:

$$\text{Nu} = f(22 \cdot \text{Re la banda de } x); \quad (1);$$

Bogle y Kleene divulgaron los resultados obtenidos de una investigación experimental referentes a transferencia térmica al GNL supercrítico. Obtenido este las correlaciones del tipo de boelter de Dittus:

$$\text{h}_1 = f\text{CpG}/22 \cdot \text{Pr}^{2/3}; \quad (2);$$

$$j = 0.025Re^{-0.2}; \quad (3);$$

Esta ecuación es aplicable a un ORV durante la operación normal. Sin embargo, durante vaporizador de las condiciones del relevo puede ser diferente.

Desafortunadamente el GNL puede continuar siendo calentado por el agua de mar posiblemente a flujo máximo. El flujo normalmente turbulento dentro de los tubos cambia a un régimen natural de convección. Este régimen es puramente una función de los números de Grashoff (Gr) y de Prandl (Pr); Eq. (4) se basa en el trabajo de Kato

$$Nu = h \, d_i / k;$$

$$Nu \text{ de } h = 0.138 \, Gr^{0.36} \times ((Pr)^{0.175} - 0.55) \quad (4);$$

Para: $1 < Pr < 40$ y $Gr > 10^9$;
 Donde: $Gr = d_i^3 \times \rho^2 \times g \, \beta \Delta t / \mu^2$

Esta ecuación $t/u^2 \, dx$, esta utiliza un coeficiente estimado de transferencia de calor en el lado del GNL. Para calcular la temperatura de la pared, el Dittus Boelter: solicita los cálculos iniciales.

Lado de Fuera (agua de mar):

El coeficiente de la película que cae en un tubo vertical es:

$$ho = 7.5 [(k^2 \times \rho^2 \times Cp / \mu) \times (4 \, \Gamma / \mu)]; \quad (5)$$

para: $4\Gamma > 2.100$.

IV.6.7. Predicción de Funcionamiento:

Para el panel ORV, el tecnólogo especifica la capacidad de 448 t/h, este valor se usa para evaluar el funcionamiento del ORV en varias condiciones: El coeficiente calculado de transferencia térmica para GNL y agua de mar, son aproximados a datos de la literatura y, también los valores aplicados por el tecnólogo en un proyecto similar. La formación de hielo se predice para los primeros metros del vaporizador. Para esas zonas el coeficiente de transferencia térmico del evaporador 10,700 W °K/m² se usa con espesor del hielo de 0.8mm; más bajo en experiencia de varios proyectos.

El coeficiente de transferencia térmica para GNL a las condiciones de relevo es más bajo que el de operación normal, durante condiciones de desfogue es limitada por la convección natural dentro del tubo.

Los cálculos para operación normal dan longitud total de transferencia térmica (zona incluyendo hielo) comparada con la especificada por tecnólogo. Este cálculo, predice temperatura de convección de GN de -4°C. Sin embargo el diseño de los vaporizadores, la temperatura de salida del GN de 2 °C, se considera como seguridad.

Los coeficientes de transferencia de calor para condiciones de relevo dan la longitud total de transferencia térmica. Los cálculos también indican que prácticamente ningún

hielo se forma durante las condiciones de relevo debido a las temperaturas más altas del agua de mar durante las condiciones de relevo conforme, (estándar europeo).

IV.6.8. Cálculo de Área de Transferencia de calor Evaporador ^[24]

Se hace el cálculo de la transferencia de calor del evaporador de Gas Natural Líquido GNL determinando el área y longitud de transferencia de calor para dos casos;:

- a) La capacidad de transferencia de calor, considerando la mitad del flujo de GNL como líquido, y el otro 50% como vapor-gas; pero mismas temperaturas, por lo que la MLTD, es la misma inclusive para el agua de mar.
- b) Se considera la mitad de flujo de GNL como líquido y la otra mitad como gas pero a diferentes temperaturas lo cual “mueve” mucho el valor de la MLTD, que se refleja en la superficie de transferencia, en valores poco lógicos.

Del análisis de los dos casos se considera el caso **a)** como más aceptable; presentando coincidencia con el caso mostrado en la revista Hydrocarbon Processing (Abril 2005) y; congruente con el suministrado por el tecnólogo para la Terminal de Manzanillo.

²⁴ Guía Estudio MSE Transferencia de Calor. Bibliografía: g)

Cuadro IV.12. Diseño del Evaporador de Gas natural Liquido (GNL) @ MLTD Variable

Diseño Evaporador de Gas Natural Liquido con Agua de Mar @ MLTD constante					
Transferencia de calor Evaporador Gas Natural Liquido (GNL), mediante Re, Pr, Nu, hc					
Concepto	Unidades	Valor	Valor	Valor	Valor
Sustancia de trabajo		Gas Natural Liquido	Gas Natural (v, g)	Agua de mar	Agua de mar
De = 4°C, CO3 A.34	m	0.039	C.039	C.02	0.02
Temperatura de trabajo	°C	133	81.5	20	20
Temperatura salida	°C	-31.5	10	14	14
Tm fluido	°C	22.25	35.75	17	17
Tm Temperatura Media	°K	261.75	277.25	290	290
Sección paso tubo	m ²			0.0942	0.0942
Gasto masa	Kg/s			438.758776	485.5277538
Gasto Volumétrico	m ³ /s			0.438758776	0.485527757
				Agua	Agua
Sustancia de Trabajo		LNG	GN	Agua de mar	Agua
Presión	mpa	0.103	C.103		
Propiedad Especifica					
Densidad Estándar	Kg/m ³	466.346	62.88	1000	1000
Densidad @101 Kpa y Tm °k	Kg/m ³	466.346	104.1021707	1000	1000
Densidad	Kg/t				
Viscosidad @ Tm = (°K)	cp	0.1138	0.0137		
Viscosidad Dinámica	Kg/(m·s)	0.00011380	0.00001370	0.0012	0.0012
Viscosidad cinemática a Tc(temperatu	m ² /s	C.000002	0.0000001	0.00118	0.00118
Velocidad	m/s	3.00	45.73	8.50	9.00
K Conductividad Térmica @ Tm = 41°	W/(m·K)	0.0039	0.3577196	0.62	0.632
c Calor específico (aire) @ Tm = 411°K	J/ Kg·°K	1,120.50	1,104.43	4,163	4,163
Pe = De (wv/KL) y k = DSc/k (1)					
Gr = D3ρ·2g*β*Δt / μ ² (2)		7961.39354175179000	30744.9068720779000	3275.06	3275.06
Re = D*v*ρ/μ (3)		479.460	13,552.557	141.667	150.000
Gr i (Re ^{0.7}) << 1 Flujo Turbulento forzado		0.0345456500	0.0011675863	0.001629343	0.001453333
Q = hc*A*(Ts-To); (4)					
h _c = ik(De) * (Nu), (5)		1.58	0.76		
Pr = cp * k / Valor Tabulado (6)		0.5752	0.262	7.54E2	7.5452
ν = HD / k = 0.0314 / Re * 0.819 / 1.03; Turbulento		1,608.92	12,023.00	068.83	1,003.74
TC: Aplicando la relación (5) de hc y Nu	W/m ² ·K	3,130.03	17,794.05	31,739	33,223.86
BALANCE É TÉRMIICO					
<i>Cálculo de Calor Sensible</i>					
T salida << estimada >>		2.00	2.00		
Qs = mcpΔT = v*ρ*cp*ΔT					
m	SCFD	500,000,000.00	500,000,000.00		
	Kg/s	120.01	120.01	438.758776	485.5277538
< Duty > Qs = m*co*(T1-T2)	J/seg	10,959,316.71	2,127,512.31		
Qs = wcc*MLTD	J/seg	10,959,316.71	2,127,512.31		
		3,044.25	5,368.75		
<i>Te Cálculo Tomo</i>					
Te = Qs/(mcp) + T1 =		19.69	19.68		
Cálculo de Q en el punto medio de la placa	W				
Q = wcc*A*(Ti - Te)		939.01	5,338.21		
MLTD					
ΔT _F = T ₁ - T ₂		133.00	101.50	183.00	107.50
ΔT ₁ - T ₂ - 2		35.50	4.00	-55.5	-4
MLTD = ΔT_F / Ln (ΔT₁/ΔT₂) =		137.54	30.15	154.54	30.15
U coeficiente general de Transferencia					
1/U = 1/h_e + 1/h_i;		0.0004	0.0001		
J = 1/x		2,849.06	11,401.77		
U = h _{io} *h _o /(h _{io} -h _o)		2,849.06	11,401.77		
<i>Cálculo intercambiado al centro de la placa por unidad de área</i>					
Q = U*A _s *MLTD	Watt/m ²	10,959,316.71	2,127,512.31		
Q = U*A _s *MLTD por r ₁ (lineal)	Watt	24,034.44	21,599.73	208,302.9	62,939.9
	Watt			190,617.3	46,827.3
Q Capacidad Térmica < Duty >	Watt	10,959,316.71	2,127,512.31		
Temperatura Externa Entrada	°C	133	81.5		
A Área Requerida de Transferencia	m ²	28.5908	35.28		
L Longitud de tubería = A/(PI*(D))	m	203.0525	207.90		
Temperatura Externa Entrada	°C	-133	-81.5		

IV.7. Conclusiones del Capítulo.

1. La amortización del capital para la Terminal De Gas Natural Licuado de manzanillo se obtiene con el valor de la diferencial de costo del gas natural “producido” menos el costo del GNL. Lo cual se probó en una banda de 0.55 a 0.72 USD/MM BTU para configuraciones de la TGNL de dos y seis tanques criogénicos, respectivamente.

2. Capital para la Terminal de Gas natural Licuado conforme el sitio “Canal de Ventanas”, y configuración de dos y seis tanques criogénicos. La inversión varía de **\$480.021a \$767.798MUSD**. Capital que se amortiza con la “ganancia” del balance de la venta del GN “producido” menos el costo del GNL. Determinándose la TIR de 19.37% a 19.48% con VPN de 508,280 y, 767,014 M USD; que dan tiempo de retorno para los casos “dos, y seis” tanques criogénicos de 6 años, y 7 años, respectivamente; cuando el “flujo de efectivo negativo, se hace positivo” para el “VPN de los dos casos analizados.

3. La evaluación para alcanzar esos valores de recuperación se hace al costo de gas natural “producido”, costo de generación de potencia tales que producen esa alta TIR de 19% para valores menores en USD/MWH que los usados se obtendrían menores rentabilidades y mayores tiempos de amortización del capital, y el acumulado a VPN a 20 años no sería equivalente al capital.

4. El costo del Gas Natural “producido es de 9.08 USD/MM BTU mínimo, este valor se precisó con precio de gas natural 6.0 MM BTU mas el sobre costo de los servicios de enfriamiento, flete y regasificación mediante ejercicio de sensibilidad para diferentes valores de TIR y VPN de la Terminal de Gas Natural Licuado, de Manzanillo, Colima, para recuperar el capital en tiempo razonable. Este valor es de 1.5 veces el precio del gas natural convencional empleado en otras evaluaciones. que repercute en proporción semejante al costo de la potencia generada en USD/MW.

5. El costo de la potencia generada de \$98.03 USD/MW, para Manzanillo I, y II; y para Guadalajara CCC de \$103.03 USD/MW, son valores mínimos necesarios para obtener la “ganancia” requerida para pagar la inversión de capital del proyecto Repotenciación Región Occidente tanto para Manzanillo como para Guadalajara. La diferencia observada en el “costo de potencia “USD(MW”, es debido a la inclusión de amortización del gasoducto a Guadalajara. El costo obtenido es poco mayor, debido a que el costo del gas natural “producido” es 3.08 USD/MMBTU5 mayor que el precio del gas natural convenciona. Si, aplicamos el precio del GN convencional, en regresión directa, daría valores del orden de 87.32 USD /MW, respectivamente.

5. VPN de: TGNL, Manzanillo I y II, y Guadalajara CCC.

El valor presente neto se obtiene de forma similar que la TIR; aplicando 10% de interés <fijo> para el flujo de efectivo. El VPN, es significativo cuando la TIR obtenida es mayor del 10%, que hace que el periodo de retorno de capital sea menor de diez años.

6. Evaporador de Gas natural liqueido (GNL): El procedimiento aplicable de calculo usado para el area de transferencia de calor del Evaporador de GNL, es aceptable para su predimensionamiento.

V. Repotenciación Occidente en CFE

V. Repotenciación Occidente en CFE

V. Resumen Introductorio Proyecto Repotenciación Occidente

V.1. Ganancia <utilidad> CT manzanillo, y CT Guadalajara; con GN “producido” del GNL

V.2. Análisis de Factibilidad de Repotenciación

V.2.1 Capital: Inversión Física en los proyectos

V.2.2 Tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN), y Anualidad (Annuity(A))

V. Resumen introductorio Proyecto Repotenciación Occidente

Se analiza, el proyecto "Repotenciación de Occidente" que incluye Central Termoelectrica (CT) integrada por dos nuevas unidades, localizadas en Guadalajara y, aumento de capacidad en la CT Manzanillo constituyen el objeto de "evaluación de viabilidad económica del caso de estudio". En el que la inversión de capital en la Terminal de Gas Natural Manzanillo, Col., y del, Gasoducto Manzanillo Guadalajara de 30 pulgadas por 230Km., aunado al alto costo del gas natural "producido" del Gas Natural Licuado GNL, son condiciones económicas de esta evaluación que, esos "costos" infraestructura y combustible: producen baja rentabilidad económica, haciendo a este proyecto poco viable, en comparación a un sistema de ciclo combinado convencional que emplea GN que, por la diferencia con el precio del energético "producido", resulta ser el mas costoso del mercado repercutiendo en que, el costo de generación de potencia, sea mayor comparado a los 87 USCY/MW, usado en otras evaluaciones para obtención de aceptable TIR en comparación al uso de gas natural y/o combustoleo en ciclo combinado y ciclo Rankine convencional, respectivamente.

Adelante, se presentan una serie de cuadros que desagregan el análisis de viabilidad del proyecto "Repotenciación Occidente", mismo, que no se evalúa de manera aislada sino con repercusión de los costos del combustible "producido" y la amortización del gasoducto Manzanillo a Guadalajara de "30 pulgadas de diámetro por 230 Km., "que transporta el "gas natural regasificado" (producido).

V.1 Análisis de viabilidad del proyecto Repotenciación Occidente.

El objetivo es determinar la viabilidad del proyecto Repotenciación Occidente. El método de evaluación económico financiera seguido, consiste en; determinación de inversión de capital, empleando índices de costo de plantas de generación de potencia ciclo combinado; en función de la que se hace la determinación de los "costos de operación" resultantes de la suma de "costos fijos" en relación al capital de la planta, más "costos variables" de su operación que, son restados de la "ganancia" determinada del balance económico de "productos menos insumos". Costos con los que se hace el "flujo de efectivo descontado" para la obtención de "tasa interna de rendimiento"(TIR) valor presente neto (VPN), y anualidades (A) en diferentes periodos. El comportamiento termodinámico; se asume con resultados de otros casos; por ser el mismo combustible, gas natural, aplicada a capacidad de generación de energía, similar.

V.2. Evaluación de los proyectos que integran la Repotenciación Occidente.

En los cuadros de "Ganancia" tanto para Manzanillo como Guadalajara, se estimó el precio por Mega Watt Hora necesario para obtención de TIR de 19.0 %, cuya "generación de valor" en terminos de Valor Presente Neto VPN; después de amortización de capital, *permite recuperar el 100% de capital en 20 años*, siendo necesario considerar precio más alto por Mega watt del orden de 100.0 USD/MW > 10 USD/MWH que otros proyectos, con lo que se paga la inversión dentro del plazo de evaluación cuando cambian los flujos de efectivo negativos a positivos.

Cuadro V.1 Resumen Proyecto Repotenciación Occidente

Concepto	Unidad	Caso	Caso	Caso	Caso	
Capacidad de Tanque Criogénico de LNG	m3	150000	150000	150000	150000	
No. De Tanques Criogénicos de 150,000 m3 c/u	Adimensional	1	2	4	6	
Capacidad de Almacenamiento en Tanque Criogénico de LNG		150,000	300,000	600,000	900,000	
Capacidad gn "Producido" del GNL de Tanque Criogénico, Eq. MM PCED		500	500	1000	1000	
	Ton/D	10,753.2	21,506.3	21,506.3	21,506.3	
	m3/D	25,263.8	50,527.6	50,527.6	50,527.6	
Tiempo de Residencia en función a número de Tanques	Días	5.9	5.9	11.9	17.8	
Precio GN producido del GNL Incl. licuación, flete, evaporación, conducción	USD/MM BTU		9.3	9.33	9.33	
Capital: Inversión Física TGNL: cónstalaciones: Muelle, Infraestructura, Proceso	MM USD	333.43	480.02	624.19	767.80	
Tasa Interna de Retorno (TIR) de la TGNL	%		16.69%		17.60%	
Valor Presente Neto (VPN) de la TGNL	M USD		1,024,944		55,740	
Periodo de Retorno de Capital; despues de inicio de Operación Comercial	Años		8.00		20.00	
Expansión Región Occidental Repotenciación <<Resumen>> Configuración General y Análisis Económico						
Concepto	Unit	Manzanillo I	Manzanillo II	Guadalajara CCC (1)	Guadalajara CCC (2)	
Capacidad Total Repotenciación Expansión Occ	MW	1,516	1,516	446	446	
Capacidad Incremento Repotenciación Expansión Occ	MW	916	816	446	446	
Costo del MW producido, a partir del GNL Incluye toda la infraestructura :	USD/ MW	105.00	105.00	122.00	122.00	
Capital: Inversión Física Nuevas Unidades CC en CT, Infraestructura, Proceso	MM USD	1,043.21	940.88	609.27	609.27	
Tasa Interna de Retorno (TIR) de la Repotenciación "Nuevas Unidades"	%	12.16%	12.16%	12.18%	12.18%	
Valor Presente Neto (VPN) de la de la Repotenciación "Nuevas Unidades"	M USD	225,334	225,334	124,534	124,534	
Periodo de Retorno de Capital de la Repotenciación "Nuevas Unidades"	Años	> 20	> 20	> 20	> 20	
Expansión Región Occidental Repotenciación <<RESUMEN>> Operación						
Central Termoeléctrica	No. Unidades	Potencia Agregada MW	Potencia Total CT MW	Consumo COPE BPD	Consumo GN Repot. MMSCFD	Año de Análisis
C.T. Manzanillo I y II actual	6		-	0		2005
C.T. Manzanillo I (a)	8	1516	1,516		286.9	2013
C.T. Manzanillo I (b) cambio a GN	2		600	10,415	38.0	
C.T. Manzanillo II	6		1,516		270.4	2013
C.T. Guadalajara CCC (1)	2	446	446		102.2	2012
C.T. Guadalajara CCC (2)	2	446	446		102.2	2013
<<Total de Consumo>> Expansión Región Occidental Repotenciación			4,524	10,415	799.7	2013

Se presenta resumen resultados económicos de proyectos de la Repotenciación Occ. Los valores de 12% TIR >> LIBOR, permiten asegurar la viabilidad del proyecto. El Valor Presente Neto es después de amortización capital, demostrando su viabilidad

Referencia: Datos propios –de tesis- asimilados a datos CFE.

Cuadro V.2.A Ganancia <utilidad> CT Manzanillo con GN “producido” del GNL [25]

CUADRO DE GANANCIA-UTILIDAD - POR LA REPOTENCIACIÓN DE LA C.T. MANZANILLO I, y II										
Concepto	Unidad	Precio	INSUMOS EN CADA OPCIÓN PROCESO				BALANCE ECONÓMICO			
			Manzanillo I	Manzanillo II	Guadalajara (1)	Guadalajara (2)	Manzanillo I	Manzanillo II	Guadalajara (1)	Guadalajara (2)
		USD / Unit					USD / D	USD / D	USD / D	USD / D
combustible										
Gas Natural "producido" del GNL	MM BTU	\$9.07	163,097	145,292	79,412	79,412	1,479,293	1,317,798	720,267	720,267
Total Combustible										
Otros Insumos										
Agua Desmineralizada (20%) de Producción	T / H	0.73	514	494	57	57	9,033	8,681	996	996
Agua de Reposición (20%) de Producción	T / H	0.29	514	494	57	57	3,579	3,439	395	395
Vapor (para CC)	T / H	8.00					0	0	0	0
Oxígeno (O2)	TPD									
Total otros Insumos	USD / D						12,611	12,120	1,390	1,390
Total Combustible + Otros Insumos	USD / D						1,491,905	1,329,919	721,658	721,658
Productos										
Energía Eléctrica <<Producida>>	MW	\$98.00	916	816	446	446	2,154,542	1,919,330	1,049,046	1,049,046
Vapor de Alta Presión	T / H	\$8.00		0						
Nitrógeno (N2)	TPD	\$0.02					\$0	\$0	\$0	\$0
Bioxido de Carbono CO2	TPD	\$6.07	0	0	0	0	\$0	\$0	\$0	\$0
Total Productos							2,154,542	1,919,330	1,049,046	1,049,046
Valor de la Producción USD / Día							662,637	589,411	327,388	327,388
días calendario por año		365								
Factor de operación		0.92								
Beneficio anualizado M USD / Año							222,514	188,028	109,937	109,937

Referencia: Datos propios tesis

V.2 B. Ganancia <utilidad> CT Guadalajara con GN “producido” del GNL

CUADRO DE "GANANCIA" POR LA REPOTENCIACIÓN DE C.T. GUADALAJARA CCC										
Concepto	Unidad	Precio	INSUMOS EN CADA OPCIÓN PROCESO				BALANCE ECONÓMICO			
			Manzanillo I	Manzanillo II	Guadalajara (1)	Guadalajara (2)	Manzanillo I	Manzanillo II	Guadalajara (1)	Guadalajara (2)
		USD / Unit					USD / D	USD / D	USD / D	USD / D
combustible										
Gas Natural	MM BTU	\$9.08	163,097	145,292	79,412	79,412	1,480,598	1,318,961	720,903	720,903
Total Combustible										
Otros Insumos										
Capacidad de producción	T / H									
Agua Desmineraliz. (20%) Producción	T / H	0.73	514	534	57	57	9,033	9,384	996	996
Agua de Reposición (20%) Producción	T / H	0.29	514	534	57	57	3,579	3,718	395	395
Vapor (para CC)	T / H	8.00					0	0	0	0
Oxígeno (O2)	TPD									
Total otros Insumos	USD / D						12,611	13,101	1,390	1,390
Total Combustible + Otros Insumos	USD / D						1,493,210	1,332,062	722,293	722,293
Productos										
Energía Eléctrica	MW	\$103.30	916	816	446	446	2,270,837	2,022,929	1,105,670	1,105,670
Vapor de Alta Presión	T / H	\$12.00		0						
Nitrógeno (N2)	TPD	\$0.02					\$0	\$0	\$0	\$0
Bioxido de Carbono CO2	TPD	\$6.07	0	0	0	0	\$0	\$0	\$0	\$0
Total Productos							2,270,837	2,022,929	1,105,670	1,105,670
Valor de la Producción USD / Día							777,628	690,867	383,377	383,377
días calendario por año		365								
Factor de operación		0.92								
Beneficio anualizado M USD / Año							261,127	220,394	128,738	128,738

- 1) El precio del gas natural producido del GNL es igual en ambos proyectos
- 2) , El precio del USD 98 a 103/MWH puede apreciarse su diferencia. La ganancia a diferente "costo del MW-H" para los dos casos analizados en el estudio "Repotenciación Occidente". Cada una se aplica en el sitio del proyecto respectivamente.

Referencia: Datos propios tesis

²⁵ A-1 Definiciones; A-2 Perspectiva sector Energético, bibliografía: b)

Cuadro V.3. Capital: Inversión Física en los proyectos

PROYECTO EXPANSIÓN REGIÓN OCCIDENTAL REPOTENCIACIÓN					
CAPITAL << Inversión Física >>					
Concepto	Unit	Manzanillo I	Manzanillo II	Guadalajara CCC (1)	Guadalajara CCC (2)
Capacidad Total Repotenciación Expansión Occ	MW	1,516	1,516	446	446
Capacidad Incremento Repotenciación Expansión Occ	MW	916	816	446	446
Unidad de Generación de Energía	MM USD	836.91	\$745.54	\$407.49	\$407.49
Obra Civil	MM USD	8.54	8.54	8.54	8.54
Tratamiento de Agua	MM USD	72.70	72.70	72.70	72.70
Tanquería Balance	MM USD	24.63	24.63	24.63	24.63
Miscelaneos	MM USD	100.43	89.47	48.90	48.90
Subtotal Costo Directo		206.30	195.33	154.77	154.77
Gasoducto Manzanillo Guadalajara		0.0	0.0	47.0	47.0
Monto Total de la Inversión	MM USD	1,043.2	940.9	609.3	609.3
Paridad Monetaria	\$ M.N. / USD	11.2			
Costo Gasoducto Manzanillo Guadalajara					
Gasoducto - diámetro	pulg	30			
Gasoducto Espesor	pulg	0.255			
Gasoducto Costo Tubería API XLS 52 Instalado	\$/m	4,050.00			
Gasoducto longitud manzanillo Guadalajara	Km	260			
Costo Total -Gasoducto Manzanillo Guadalajara	\$ M.N.	1,053,000,000			
Costos Fijos					
Concepto	Unit	Manzanillo I	Manzanillo II	Guadalajara CCC (1)	Guadalajara CCC (2)
Capacidad Total Repotenciación Expansión Occ	MW	1,516	1,516	446	446
Capacidad Incremento Repotenciación Expansión Occ	MW	916	816	446	446
Mantenimiento <<1.25% Capital >>	USD / Y	13,040,093	11,760,974	7,615,844	7,615,844
Administración = 30% Mantto.	USD / Y	3,912,028	3,528,292	2,284,753	2,284,753
Mano de Obra	USD / Y	2,592,000	2,592,000	1,296,000	1,296,000
Mantenimiento Ducto		0	0	57,313	57,313
Mano Obra Op. Ducto		0	0	162,000	162,000
Costos Fijos Totales	USD / Y	19,544,121	17,881,266	11,415,909	11,415,909
Relación Costos Fijos / Costos Variables		1.554	1.447	2.145	2.145
Costo Mano de obra mensual USD		216,000.00	216,000.00	108,000.00	108,000.00
Mano de obra mensual por turno USD		72,000.00	72,000.00	36,000.00	36,000.00
Nº de trabajadores @ 2,000 USD/mes		36.00	36.00	18.00	18.00
Costos Variables					
Concepto	Unidad	Manzanillo I	Manzanillo II	Guadalajara CCC (1)	Guadalajara CCC (2)
Capacidad Total Repotenciación Expansión Occ	MW	1,516	1,516	446	446
Capacidad Incremento Repotenciación Expansión Occ	MW	916	816	446	446
Agua Cruda <repuesto> - @ 15%	USD / Y	215,021	180,650	99,367	99,367
Agua Desmineralizada <repuesto> @ 10%	USD / Y	361,612	303,991	334,421	334,421
Cenizas @ 0.03% en combustible	USD / Y	0	0	0	0
Energía Eléctrica	USD / Y	11,646,697	11,528,026	4,374,072	4,374,072
Productos Quím. Cataliz.	USD / Y	0	0	0	0
Disposición de escoria	USD / Y	0	0	0	0
Costos de Mantto. Variable	USD / Y	349,401	345,841	131,222	131,222
Operación de Ductos	USD / Y	0	0	382,085	382,085
Total	USD / Y	12,572,731	12,358,508	5,321,167	5,321,167
Auto consumo de Potencia @ < 1.5 % Cap. Gen > MW	MW	16.488	16.32	5.575	5.575
Factor de Planta = días laborados / día Año	Adim	0.921	0.921	0.921	0.921
Consumo de Potencia x Envío de GN	Kw			486.9888	486.9888
Bombas de carga a caldera					
Capacidad	TH	2,571	2,671	283	283
Presión de Descarga	Kg/cm2(g)	175	177.1	177.1	177.1
consumo de Potencia	kw	15,236	16,018	1,700	1,700

Referencia: Datos propios tesis

Cuadro V.4. "Tasa Interna de Retorno" (TIR) Manzanillo I

Cálculo de Tasa Interna de Retorno <<TIR>> Generación: de Potencia con "Gas Natural obtenido del GNL en Manzanillo I, II												
Tas de Interés (i)	En miles de U.S. dólares											
Impuesto	32%											
año	2006	2007	2008	2009	2010	2014	2015	2019	2020	2022	2028	2029
Costo Capital	58,341	233,362	233,362	58,341	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	222514	222514	222514	222514	222514	222514	222514	222514
Costos Fijos	0	0	0	0	12072	12072	12072	12072	12072	12072	12072	12072
Costos Variables	0	0	0	0	12573	12573	12573	12573	12573	12573	12573	12573
Costos Totales	0	0	0	0	24645	24645	24645	24645	24645	24645	24645	24645
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	197868	197868	197868	197868	197868	197868	197868	197868
Depreciación	0	0	0	0	58341	58341	58341	58341				
Utilidad Gravable	0	0	0	0	139528	139528	139528	139528	197868	197868	197868	197868
Impuesto 32% -	0	0	0	0	44649	44649	44649	44649	63318	63318	63318	63318
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flo)	-58,341	-233,362	-233,362	-58,341	153220	153220	153220	153220	134551	134551	134551	134551
Factor de descuento	1.687	1.417	1.191	1.000	0.8399	0.4181	0.3512	0.1748	0.1468	0.1036	0.0364	0.0306
Flujo de Efectivo descontado	-98,450	-330,770	-277,829	-58,341	128696	64058	53806	26782	19754	13937	4894	4111
Flujo de Efectivo Descontado Acumulado	-98,450	-429,220	-707,049	-765,390	-636693	-297476	-243670	-101850	-82095	-51566	-4111	0
Utilidad Bruta del Proyecto (\$1000s)	\$222,514											
Variable a recalcular TIR												
NPV	0											
TIR (IRR)	19.06%											
costo de Capital(1000's)	\$ 583,405.28											
Calcular TIR	19.06%	20 Años										
	16.77%	10 Años										
	6.30%	5 Años										

Consideraciones para la Evaluación Económica

Final Discreto de año de Flujo de Efectivo < cash flows>; Depreciación en Línea Recta 10 Años
 Costo de Capital Distribuido en 4 Años: 1o 10%; 2o 40%; 3o. 40%; 4o. 10%

Referencia: Datos propios tesis.

Cuadro V.5. "Valor Presente Neto" VPN Manzanillo I [26]

Cálculo de Valor Presente Neto (VPN) Generación: de Potencia con "Gas Natural producido" del GNL en Manzanillo I, II												
Tasa de Interés (i)	Cantidades en miles de U.S. dólares											
Impuesto	32%											
año	2006	2007	2008	2009	2010	2014	2015	2016	2017	2028	2029	
Costo Capital	58,341	233,362	233,362	58,341	0	0	0	0	0	0	0	
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	222,514	222,514	222,514	222,514	222,514	222,514	222,514	
Costos Fijos	0	0	0	0	12,072	12,072	12,072	12,072	12,072	12,072	12,072	
Costos Variables	0	0	0	0	12,573	12,573	12,573	12,573	12,573	12,573	12,573	
Costos Totales	0	0	0	0	24,645	24,645	24,645	24,645	24,645	24,645	24,645	
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	197,868	197,868	197,868	197,868	197,868	197,868	197,868	
Depreciación	0	0	0	0	58,341	58,341	58,341	58,341	58,341			
Utilidad Gravable	0	0	0	0	139,528	139,528	139,528	139,528	139,528	197,868	197,868	
Impuesto 32% -	0	0	0	0	44,649	44,649	44,649	44,649	44,649	63,318	63,318	
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)	-58,341	-233,362	-233,362	-58,341	153,220	153,220	153,220	153,220	153,220	134,551	134,551	
Factor de descuento	1.3310	1.2100	1.1000	1.0000	0.9091	0.6209	0.5645	0.5132	0.4665	0.1635	0.1486	
Flujo de Efectivo descontado	-77,851	-282,368	-256,898	-58,341	139,290	95,137	86,488	78,626	71,478	22,000	20,000	
Flujo de Efectivo Descontado Acumulado	-77,851	-360,019	-616,718	-675,058	-535,768	-94,236	-7,747	70,879	142,357	565,159	585,159	
VPN (000's)	585,159											
Costo de Capital (000's)	583,405											
Determinación Anualidades (A) a partir del VPNI de proyecto												
Ejemplo 1												
Número de Años (n)	25											
Tasa de interés (i)	0											
VPN USD (000)	585,159 USD											
$A = ((i) * VPN(1+i)^n) / ((1+i)^n - 1)$	50,213 USD/Año											
Año	1	2	3	4	5	9	10	11	12	23	24	
Anualidades	50,213	50,213	50,213	50,213	50,213	50,213	50,213	50,213	50,213	50,213	50,213	
Anualidades a Valor presente	46,928	43,858	40,989	38,307	35,801	27,312	25,526	23,856	22,295	10,592	9,899	
Suma Anualidades Valor Presente	585,159 USD											

26 El "Valor Presente Neto", recupera el "Capital" del caso Manzanillo, en 20 años; el precio "gas natural producido" 9.08 MMBTU produce costo de 98 USD/ MW; TIR de 19%. @ costos mas altos. Se recupera "capital" cuando flujo cambia a positivo. "Sería tiempo de retorno"

Cuadro V.6. Tasa Interna de Retorno (TIR) CT Guadalajara; Repotenciación Occidente²⁷

Cálculo de Tasa Interna de Retorno (TIR) Generación: Potencia GN "producido" del GNL en C.T. Guadalajara

Tasa de Interés (i)		Cantidades en miles de U.S. dólares									
19.2%											
Impuesto	32%										
año	2006	2007	2008	2009	2010	2014	2015	2019	2024	2028	2029
	-3	-2	-1	0	1	5	6	10	15	19	20
Costo Capital	33,987	135,948	135,948	33,987	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	128738	128738	128738	128738	128738	128738	128738
Costos Fijos	0	0	0	0	7038	7038	7038	7038	7038	7038	7038
Costos Variables	0	0	0	0	5321	5321	5321	5321	5321	5321	5321
Costos Totales	0	0	0	0	12359	12359	12359	12359	12359	12359	12359
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	116379	116379	116379	116379	116379	116379	116379
Depreciación	0	0	0	0	33987	33987	33987	33987			
Utilidad Gravable	0	0	0	0	82392	82392	82392	82392	116379	116379	116379
Impuesto 32% -	0	0	0	0	26365	26365	26365	26365	37241	37241	37241
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)	-33,987	-135,948	-135,948	-33,987	90013	90013	90013	90013	79137	79137	79137
Factor de descuento	1.694	1.421	1.192	1.000	0.8389	0.4156	0.3486	0.1727	0.0718	0.0355	0.0298
Flujo de Efectivo descontado	-57,562	-193,161	-162,049	-33,987	75515	37406	31361	15544	5679	2813	2360
Flujo de Efectivo Descontado Acumulado	-57,562	-250,723	-412,772	-446,759	-371244	-172752	-141372	-58887	-17287	-2360	0
Utilidad Bruta del Proyecto (\$1000s)	\$128,738										
Variable a recalcular TIR											
VPH (HPV)	0										
TIR (IRR)	19.20%										
costo de Capital(1000's)	339,869.55										
Calcular TIR	19.20%	20 Años									
	16.99%	10 Años									
	6.50%	5 años									

Consideraciones para la Evaluación Económica
 Final Discreto de año de Flujo de Efectivo < cash flows>: Depreciación en Línea Recta 10 Años
 Costo de Capital Distribuido en 4 Años: 1o. 10%; 2o. 40%; 3o. 40%; 4o. 10%; No incluye Escalación de Costos y Ganancias

Cuadro V.7. VPN "Valor Presente Neto" CT Guadalajara; Repotenciación Occidente

Cálculo de Valor Presente Neto (VPN) Generación: de Potencia con Gas Natural "producido" del GNL en Guadalajara

Tasa de Interés (i)		Cantidades en Miles de Dólares									
10%											
Impuesto	32%										
año	2006	2007	2008	2009	2010	2014	2015	2016	2019	2028	2029
	-3	-2	-1	0	0	2	6	7	10	19	20
Costo Capital	33,987	135,948	135,948	33,987	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	128,738	128,738	128,738	128,738	128,738	128,738	128,738
Costos Fijos	0	0	0	0	7,038	7,038	7,038	7,038	7,038	7,038	7,038
Costos Variables	0	0	0	0	5,321	5,321	5,321	5,321	5,321	5,321	5,321
Costos Totales	0	0	0	0	12,359	12,359	12,359	12,359	12,359	12,359	12,359
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	115,379	116,379	116,379	116,379	116,379	116,379	116,379
Depreciación	0	0	0	0	33,987	33,987	33,987	33,987	33,987		
Utilidad Gravable	0	0	0	0	82,392	82,392	82,392	82,392	82,392	116,379	116,379
Impuesto 32% -	0	0	0	0	26,365	26,365	26,365	26,365	26,365	37,241	37,241
Flujo Neto de Efectivo (NetCash Flow)	-33,987	-135,948	-135,948	-33,987	90,013	90,013	90,013	90,013	90,013	79,137	79,137
Factor de descuento	1.0010	1.2100	1.1000	1.0000	0.9091	0.8264	0.7519	0.6845	0.6232	0.5675	0.5166
Flujo de Efectivo descontado	-45,237	-164,497	-149,543	-33,987	81,830	74,391	68,810	64,191	60,104	56,504	53,280
Flujo de Efectivo Descontado Acumulado	-45,237	-209,730	-359,270	-393,250	-311,430	-237,042	-172,832	-128,641	-95,537	-68,457	-47,377
VPH: (000's)	347,306										
Costo de Capital (000's)	339,870										
Determinación de Anualidades (A) a partir del VPN del proyecto											
Ejemplo 1											
Número de Años (n)	25										
Tasa de interés (i)	0.10										
VPN USD (000)	347,306 USD (VP)										
A=(i)·VPN[(1+i)^n] / [(1+i)^n - 1]	29,802	1000 USD/Año									
Año	1	2	3	4	5	6	10	11	14	23	24
Annualidades	29,802	29,802	29,802	29,802	29,802	29,802	29,802	29,802	29,802	29,802	29,802
Annualidades a Valor presente	27,353	26,031	24,326	22,758	21,249	19,859	15,150	14,159	11,558	6,287	5,875
Suma Annualidades Valor Presente	347,306 USD (VP)										

²⁷ El "Valor Presente Neto", recupera el "Capital" del caso Manzanillo, en 20 años; el precio "gas natural producido" 9.08 MMBTU produce costo de 103.3 USD/ MW; TIR de 19%. @ costos mas altos. Se recupera "capital" cuando flujo cambia a positivo. "Sería tiempo de retorno"

V.3. Conclusiones del capítulo

Se presenta análisis de resultados económicos de proyectos de la Repotenciación Occ. Los valores de 12% TIR >> LIBOR, permiten asegurar la viabilidad del proyecto. El Valor Presente Neto es después de amortización capital, demostrando su viabilidad

- 1) El precio del gas natural producido del GNL, aplicado en estos proyectos es el mismo.
- 2) Del precio USD 98 USD/MWH para CT Manzanillo y 103/MWH para CT Guadajara puede apreciarse, deriva su diferencia en que para Guadajara se amortiza el gasoducto de 30 pulgadas y menor generación de potencia.
- 3) La ganancia a diferente "costo del MW-H" para los dos casos analizados, es por la amortización de Capital del gasoducto Manzanillo Guadajara de 30 pulgadas.
- 4) De los valores de los resultados de TIR y VPN para ambos proyectos, se concluye que el proyecto es viable además de aseguramiento estratégico de alimentación de combustible a la región Occidente del País para CcFE.

VI. Generación de Potencia Convencional con Lavado de Gases

**SISTEMA NEUTRALIZACIÓN GASES CALDERA
CT SALAMANCA**

Evaluación Factibilidad Técnico Económica

VI. Generación de Potencia Convencional con Lavado de Gases [²⁸]

VI.1. Aplicación Combustoleo (COPE)

VI.2. Sistemas de Lavado de Gases de Caldera (Chimenea)

VI.3. **Evaluación Económica Sistema Neutralización Gases Ácidos CT Salamanca**

Cálculo de TIR, y, VPN

Resumen introductorio del capítulo:

Se analiza la viabilidad económica de incorporación de sistema de “lavado de gases de chimenea” en una central termoeléctrica existente, con objeto de “no cambiar el uso de combustoleo como combustible sucio para reemplazarlo por gas natural como combustible limpio”. Se muestran las ventajas económicas y operacionales del proyecto de “lavado de “gases de chimenea” que se propone “como objetivo” para las centrales termoeléctricas que operan con “COPE. En la evaluación se demuestra la reducción de gases contaminantes SOx y NOx para dar cumplimiento al ordenamiento “Ley General del Equilibrio Ecológico, y Protección –Ambiental” (LGEEPA) como parte medular de la integración de esa nueva infraestructura, para demostrar la ventaja del empleo de lavado de gases de chimenea, con lo que se reduce la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, ofrece gran ventaja económica; ya que, esa infraestructura permitiría la recuperación de capital, en tiempo menor a cuatro años. Esto es derivado de las enormes utilidades que produce la diferencia de precios de los combustibles comparados a precios del mercado internacional, en los que se incluyen los costos de operación. La limitante para la integración de esa infraestructura es el área que demanda la instalación de esos nuevos servicios. Y, debido a que “el área disponible en las termoeléctricas existentes constituye una considerable limitante a resolver en pro de la aplicación de esa solución. Lo cual puede hacerse arreglando el sistema de lavado de gases de caldera en módulos o mediante sistema central, Esto, según la conveniencia del espacio disponible en la central que se analice.

²⁸ A-5 Tecnología FGD “ Desulfuración Gases de Chimenea (Caldera); por sus siglas en inglés “Flue Gas Desulfuration”

Introducción

1. Línea Base.
2. Resumen análisis de factibilidad.
3. Análisis Balance Consumo de Aire de Combustión de GN.
4. Análisis balance reacciones de neutralización.
5. Cuadro resumen de "Ganancia" por cambio de combustible.
6. Inversión de Capital de Sistema Neutralización Gases Caldera.
7. Costos Fijos.
8. Costos Variables.
9. Tasa Interna de retorno (TIR) para tres opciones.
10. Valor Presente Neto para tres opciones.
11. Índice de Costo de Tratamiento para dos opciones.
12. Precios para análisis de pre-factibilidad "sistema neutralización".
13. Comentarios Técnicos Generales a la propuesta
14. Dibujos Arreglo del sistema neutralización gases, propuesto.

Introducción capítulo

La Central Termoeléctrica (CT) Salamanca esta integrada por cuatro unidades de generación de potencia, dos de 150 MW de capacidad y dos unidades más de 300 MW; sumando un total de 900 MW de capacidad instalada que, de conformidad a las necesidades de suministro de energía a la red eléctrica de transmisión de la CFE, esa unidad opera al 80% de su capacidad instalada por lo que se generan y exportan 720 MW en promedio anual. La generación eléctrica de la CT Salamanca se efectúa mediante unidades de tipo convencional <Ciclo Rankine> que consumen una mezcla de 50% de gas natural (GN) y 50% de combustoleo pesado (COPE), señalándose aquí que, esa central puede operarse consumiendo 100% de COPE, dado que existen las facilidades para hacerlo, por lo que, en base a la diferencia en los precios de esos combustibles en el mercado internacional, medidos en (USD/MM BTU), se considera conveniente generar potencia consumiendo el 100% de combustoleo pesado de 4% de azufre. En esa circunstancia y, con objeto de reducir los costos de operación de la central, e inclusive, para resolver el problema de emisiones de gases ácidos de <SO₂ y SO₃> a la atmósfera, mismos que se producen por el consumo del azufre contenido en el combustible. Por lo tanto, en aplicación a lo ordenado por la Secretaría de

Mejoramiento del Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), se ha estudiado la factibilidad técnico económica de integrar en dicha central eléctrica un "sistema de neutralización de gases ácidos de caldera", por lo que se ha consultado al mercado especializado para una oferta técnico económica de un "sistema de lavado de gases de caldera" tipo FGD por sus siglas en inglés (Flue Gas Desulfuration), que cuenta con la tecnología idónea y amplia experiencia en el ramo.

Con objeto de obtener una operación económicamente viable en la Central Termoeléctrica de Salamanca, Guanajuato, e inclusive dar cumplimiento a lo exigido por SEMARNAT respecto las emisiones atmosféricas de gases ácidos de caldera; se ha considerado sustituir el consumo de gas natural por combustóleo pesado de 4% de azufre para eso, por lo que, se analiza aquí, la posibilidad de reducir las emisiones de gases ácidos <SO₂, y SO₃> de la descarga de gases de caldera de esa Central Termoeléctrica. La aplicación de lo anterior tiene como base la considerable diferencia en precios en USD/MM BTU de los combustibles involucrados. En apoyo de lo anterior se auscultaron las opciones técnicas para llevarlo al cabo, por lo que, el proveedor ofreció un sistema de neutralización de gases ácidos de caldera mediante un reactor de lecho fluido, que mediante la adición de óxido de calcio CaO y agua permita efectuar las reacciones de neutralización de los gases de azufre principalmente, evitando que estos gases se emitan a la atmósfera, en cumplimiento a lo indicado por la autoridad.

Con objeto de comprobar lo ofrecido por el proveedor, quien emplea tecnología FGD, se efectuó análisis técnico de la viabilidad de las reacciones químicas, considerando lo recomendado por el proveedor que, debe probar la cinética de las reacciones principales, ya que es, el concepto medular del sistema, mediante la implementación de un **reactor** que efectúe las reacciones de neutralización, cuyas **condiciones selectivas** reportadas por el proveedor son 80° C y 90% de humedad, dado que, la concentración del bióxido de carbono CO₂ en los gases de caldera, en relación a los gases de azufre es del orden de 20 a 1, en volumen, por lo que resulta imperativa la selectividad de las reacciones de neutralización.

También se revisó el balance de masa y energía que verifica lo reportado por el proveedor, quien a su vez, entregó con su oferta técnica los datos proporcionados por el personal de la CT Salamanca, para 720 MW, en términos de capacidad de generación, 2,083,000 Nm³/Hr de volumen de gases de caldera, 4% de concentración de óxidos de azufre, y 160°C temperatura de descarga, cuya altitud de operación es la relativa a Salamanca, Guanajuato.

Finalmente, se efectuó el análisis de viabilidad técnico financiero del proyecto en base al flujo de efectivo de operación del sistema de neutralización de gases de caldera calculándose la tasa interna de retorno (TIR) el valor presente neto (VPN), y el índice de costo de tratamiento en USD/MW generado, cuyos resultados aseguran la recuperación de la inversión. Considerando para ello la inversión de capital necesario, en conformidad al precio de la cotización del proveedor, además la amortización de tal inversión se consideró "una ganancia" producto del ahorro en gastos de operación debido a la

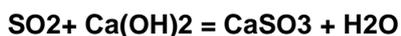
diferencia en los precios de combustibles entre combustóleo pesado (COPE) que sustituye al gas natural (GN).

Cabe señalar que la viabilidad técnica de esta propuesta de proyecto, se hace en virtud de la disponibilidad física de la infraestructura de la Central Termoeléctrica de Salamanca, misma que permite hacer el cambio de combustible de gas natural a combustóleo pesado al 100% sin mayores cambios en sus calderas. Asimismo, se ha revisado el arreglo físico que tendría la instalación del nuevo sistema “central de neutralización” propuesto por el “proveedor”. A lo que, se le han hecho una serie de comentarios técnicos acerca del arreglo ofrecido por el proveedor para su análisis, considerando los análisis técnicos practicados a esa información y a los balances de masa y energía efectuados para comprobar la información presentada por el fabricante, mismos que son la base del análisis de factibilidad y conclusiones que se presentan.

VI.2. Viabilidad Técnica General del proyecto

VI.2.1. El sistema de lavado de gases de caldera, debe resolver y contestar una serie de “conceptos técnico económicos” que debe resolver el tecnólogo en relación a la solución de lavado neutralización de gases de caldera que reduzcan las emisiones atmosféricas de SOX, en su propuesta:

Se hace aquí “Análisis de conceptos técnico económicos relacionados con el sistema propuesto de “lavado de gases de caldera” de la Central Termoeléctrica Salamanca por aumento del consumo de COPE de 50% al 100% como sustitución del otro 50% correspondiente al gas natural. Cuya reacción principal de neutralización de conformidad con el nuevo sistema, que se implementa es”:



A partir de la información del tecnólogo, se efectuó un análisis del balance de proceso de la neutralización de los gases de emisión en chimenea de la Central Termoeléctrica Salamanca de CFE con objeto de compararlo con los datos presentados por la citada empresa. A continuación se desagrega una serie de conclusiones de la información analizada, Las restantes hojas de cálculo presentadas por el fabricante antes referido, se comentan aquí.

1. El balance de combustóleo pesado (COPE presenta diferencias del orden de 167 Ton/Día obtenido para este estudio, contra 200 Ton/Día considerados por “el proveedor”, por lo que todos los datos generables a partir de esas cifra están afectados por la misma diferencia (20%) en la que se aprecia que el proveedor sólo redondeó el número de la capacidad del consumo de COPE. Es posible que la diferencia en tonelaje sea por la pureza del reactivo.
2. El balance de consumo de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ del proveedor presenta diferencias ya que la concentración del azufre de 4% en combustóleo pesado

(COPE) fue duplicada en la propuesta para obtener las toneladas anuales del fabricante> del reactivo consumible, lo cual repercute en el sulfito de calcio (CaSO_3) producible (peso y volumen), mismo que sería manejado hacia un terreno de relleno autorizado por SEMARNAT.

3. El costo de inversión de capital del sistema de neutralización de emisiones de SO_2 por lavado de gases no está incluido en el análisis de costo de la operación de tal sistema, ni dentro de la información del proveedor; además, se aprecian estimaciones de gastos de operación (fijos y variables) determinando con ello el valor del índice de costo del servicio.
4. Los gastos totales de operación del sistema de neutralización <fijos y variables> como referencia para obtener el “costo por tonelada de SO_2 removido” y el “costo de ese sistema contra la potencia generada” no incluyen el costo de inversión (capital) del sistema de “lavado de gases”. Lo cual hace que el costo obtenido sea incorrecto o incompleto.
5. Los costos variables de operación no tienen el desagregado de la potencia consumible por bombas de circulación de la solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ni los ventiladores de tiro inducido que deban incorporarse en el sistema. Por lo que la inclusión de esos datos es incierta. El calificativo de incertidumbre se edita en base al desconocimiento del valor. Fueron calculados para este estudio los valores con los que se efectuó el análisis de factibilidad reportado, Datos que se reportan en el balance de masa y energía.
6. Arreglo de equipo del sistema de neutralización de gases: considera “equipo central con torre tipo scrubber de cama fluida de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ”; “tecnología propiedad del fabricante”; el arreglo dinámico para analizar la posibilidad de la reacción no se muestra. Se necesitan datos prueba piloto de neutralización dentro del “reactor”, tiempo de reacción, manejabilidad de productos formados. Se considera, el lavado reduce la temperatura de los gases y, afecta balance de aire y presión estática en calderas, repercutiendo al sistema generación de potencia; ya que, el consumo de potencia de los ventiladores tiro inducido propuestos se cuestiona “es alto”.
7. En el “sistema “lavado de gases” se considera la instalación de filtros de bolsas para eliminar “sólidos formados” que implica análisis hidráulico, lo cual tendría serias consecuencias en el equilibrio del “tiro forzado” de las calderas. Por otra parte conviene conocer el material de fabricación de las bolsas de los filtros para conocer su resistencia química y su efecto sobre la operación de ese sistema de neutralización de gases además de su resistencia hidráulica al paso de los gases así como su compatibilidad del manejo químico de sólidos y gases “lavados”.
8. Conviene revisar la **modulación** del sistema neutralización “de gases” conforme las calderas en operación, para evitar que la salida “del nuevo sistema”, afecte al control de emisiones de gases de caldera y sus consecuencias ambientales.

Significaría instalar un sistema de neutralización de gases por caldera, que daría flexibilidad de operación con mayor inversión.

9. Conviene revisar la ventaja económica y operacional de que CFE directamente maneje el “desecho de sólidos” en un terreno de relleno, en lugar de pago de renta anual, propuesta.

VI.3. Evaluación Económica Sistema Neutralización Gases Ácidos CT Salamanca

La evaluación técnico económica del Sistema de Neutralización de Gases Ácidos de la CT Salamanca, se hace en base a la propuesta recibida. Cabe citar que los datos de capacidad de generación en MW y capacidad de consumo de combustible en MMBTU son los mismos de la Termoeléctrica Salamanca, que fueron aplicados. A continuación se indican los conceptos más relevantes de este estudio:

1. Se desagregan los conceptos de la evaluación con objeto de mejorar la percepción de tal información.
2. En la "Ganancia" < clave> se hace el balance de productos menos insumos. Considerando al gas natural, que se sustituye, como "producto obtenido", al ser eliminado de la operación", constituyendo la parte medular de la ganancia que paga el capital.
3. El capital, se establece conforme la propuesta del proveedor, en cuanto la opción para 150 MW, se estimó para escalar su precio, en base a la "regla de las seis décimas" para evaluar el caso de 150 MW de potencia, mediante la relación de capacidades de las "sistemas en cuestión".
4. La tasa interna de retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN) se obtienen mediante "flujo de efectivo" derivado de "ganancia" menos costos de operación fijos y variables. Igual, se descontó "depreciación en línea recta" <10 años>, restando también 32% de impuestos. Cuyos resultados en sus costos de operación son altamente benéficos para la CFE. Pagándose el capital invertido, en menos de cuatro años.
5. Los resultados son provechosos, ya que es sabido que en la medida que baje el costo del combustible la generación y sus servicios resultan viables, es decir, que al cambiar el GN por COPE, resulta "ganancia" que paga la inversión con creces debido a la diferencia en el precio de MMBTU entre ambos combustibles. Esta viabilidad es posible dado que técnicamente existen los recursos físicos para hacer el cambio de tipo de combustible y los espacios suficientes para instalar tales sistemas de tratamiento.
6. Se anexa hoja de cálculo TIR y VPN de cada una de las opciones para facilidad de lectura de sus respectivos datos, así mismo se reportan sus resultados en la hoja "resumen".
7. Se anexa la versión completa nombrada CT Salamanca-Eval-Eco Sist-Neutraliz-Gases Caldera.xls.

Cuadro VI.1. Análisis de combustión de calderas CT Salamanca casos I, y II

Análisis de combustión de Gas Natural [GN]				
Reacción de combustión en Calderas Típicas ciclo convencional en CFE CT Salamanca:				
$1.0CH_4 + 1.5O_2 = 1.0CO_2 + 1.0H_2O$				
Balanza estequiométrica				
Gas Natural «CH4»	Fórmula	UMA	Moles Req	
Oxígeno	O2	32	1.5	
Hidrógeno Carbono	C/H	4/1		
Agua	H2O	18	1	
Caso combustión de 1.0 MM BTU de GN				
Potencia requerida	BTU/Hr	1,000,000		
GN requerido	SCFD	100.00		
Densidad del GN @ 70°F	lb/pie3	0.045573		
Gravedad Específica C-H	Adim	0.6077		
Masa del GN inyectada	lb/GN	4.5883		
Moles de GN en combustión 1.0 VMETU	mcl	2.6333	2.33070	
Moles de Aire requerido en comb. esteq.	mcl		3.4969	
Moles de aire requerido C2 = 21% mcl	mcl			
Concentración mol de oxígeno en aire	% mcl	0.213		
Moles de aire requerido en combustión	mcl		10.5901	
Masa Molecular de Aire «Promedio»	UMA	29.26		
Masa de Aire involucrada en combustión	lbs		544.504	
Densidad estándar del Aire @ 70°F	lb/pie3	0.076		
Volumen en Aire Requerido en Comb. Esteq. 1.0 VMBTU de GN	pie3 S.C.		7260.06	
Generación de Potencia				
	Caso	1	2	3
Potencia requerida a generación	MW	160	150	300
Pot. Instalada de Caldera a potencia @100%	BT. kW	3412.75	3412.75	3412.75
Calor Total por liberar @100%	BT. JHr	511,925.00	511,912.500	1,023,825.000
Eficiencia Térmica dinámica de la Unidad	%	85.1	85.1	85.1
Calor Total por liberar del OH @81.2%	BT. JHr	999,029.102	999,023.102	1,999,650.200
Vol. Aire Requerido a combustión @100% Estec.	pie3/H	7,258.814	7,253.814	14,517.628
Vol. Aire Requerido a combustión @100% Estec.	pie3/Hr	20,960	123,980	211,960
Vol. Aire Requerido a combustión @100% Estec.	m3/H	205,032	235,632	411,264
Vol. Aire Requerido a combustión @30% Exceso Aire.	m3/H	267,322	257,322	534,644
Vol. Aire Requerido a combustión @100% Estec.	m3/H	1,233,750		
Vol. Aire Requerido a combustión @30% Exceso Aire.	m3/H	1,603,031		
Aire Real para combustión @X% Exceso	Nm3/h	2,083,000		
Vol. Aire Real para combustión @X% Exceso.	Nm3/min	1,225,450		
Vol. Aire Actual para combustión @80°C	A m3/h	2,501,017		
Vol. Aire Actual para combustión @80°C	A pie3/min	1,471,422		
Carga de presión en tiras	Pulg. c.A.	17		
Eficiencia de ventiladores Tiro Inducido	%	82.5		
Potencia Req. ventiladores Tiro Inducido, Aire prim	BHP	3,986.47		
Potencia Req. ventiladores Tiro Inducido, Aire total	BHP	3,986.47		
Potencia reportada por Caldera	Btu/Vent	1,000		
Potencia total reportada por Caldera	BHP	7200		
Dato Caldera CT Salamanca				
Vol. Aire Real para combustión @X% Exceso.	Nm3/h	2,083,000		
Vol. Aire Real para combustión @X% Exceso.	pie3/min	1,225,450		
Vol. Aire Actual para combustión @80°C @Altitud Salar	m3/h	3,001,220		
Masa de aire Normal	Kg/H	2,505,840		
Masa de aire Normal	Lb/H	5,528,800		
Capacidad de Humidificación Adiabática				
Humedad de Entrada «F» (N.M.)	grs/grs/lb	65.6		
Humedad de Salida «e» (enfriado 323 a 176°F) @ 80°C	Lb/psie3	0.009307143	520	
Humedad de Salida «e» (enfriado 323 a 176°F) @ 80°C	Lb/psie3	0.036	176	
Humedad incrementada Adiab. al Aire, diferencia	Lb/psie3	0.026692857		
Agua Requerida por Humidificación Total	Lb/Hr	141,365.66		
	Kg/Hr	64,257.13		
	Kg/c	1,542,711.07		
	gpm	282.66		
Consumo de potencia por bombeo de agua				
Carga por fricción	psi	15		
Carga por diferencia de niveles «altura hasta 20 m	psi	30		
Carga por fricción «sistema»	psi	10		
Presión diferencial	psi	55		
Eficiencia Máxima de Bomba	%	75%		
Consumo de potencia «mínimo»	BHP	12.11		

Referencia Datos C. Termoeléctrica Salamanca; y Datos propios –tesis-

Cuadro VI.2. Ganancia (Utilidad Bruta) de los casos analizado

GANANCIA -UTILIDAD - POR LA DESULFURACIÓN EN LA C.T.SALAMANCA I, y II						
Concepto	Unidad	Precio	INSUMOS EN OPCIÓN		BALANCE ECONÓMICO	
			C.I Salamanca a 50%	C.I Salamanca 100%	C.I Salamanca 50%	C.I Salamanca 100%
		USD / Unit			USD /D	USD /D
Combustible						
Consumo Combustible	Barril/D	48.01	13,326	26,651	633654	1,067,109
Gas Natural 'consumible'	MM BTU				0	0
Total Combustible						
Otros Insumos						
Capacidad de producción	T : H					
Agua Desmineralizada (20%) de Prod	T : H	0.73			0	0
Agua de Reposición Totalizado de No	T : D	0.29	1,542			0
Vapor (para CC)	T : H	8.00			0	0
Cal (CaC) para neutralización	T:D	154.87	176	352	27,277	54,554
Oxígeno (O2)	TPD					
Total otros Insumos	USD /D				27,277	54,554
Total Combustible + Otros Insumos	USD /D				560,831	1,121,663
Productos						
Energía Eléctrica <<Producida>>	MW	\$97.29			0	0
Ahorro por no consumo de Gas Natural	MMBTU/D	\$8.51	73,853	158,906	680,602	\$1,331,203
	TPD	\$6.07				
Total Productos					680,602	1,331,203
Valor de la Producción USD / Día					119,770	239,540
días calendario por año		385				
Factor de operación		0.92				
Beneficio anualizado M USD / Año					40,219	76,416

Nota:

El valor de "ganancia" de los dos casos, le será descontado los costos de operación, fijos y variables; para la obtención de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN): de los casos analizados dentro de la opción "lavado de gases de caldera".

Referencia Datos propios –tesis-

Cuadro VI.3. Capital (Inversión Física (para la opción)

PROYECTO EXPANSIÓN REGIÓN OCCIDENTAL REPOTENCIACIÓN			
CAPITAL << Inversión Física >>			
Concepto	Unit	C.T.Salamanca Alternativa 50%	C.T.Salamanca Base100%
Capacidad Total Tratamiento Gases ácidos	MW	900	900
Capacidad Real Tratamiento Gases ácidos	MW	360	720
Lavador de Gases	MM USD	\$32.40	52.80
Planta de Hidratación y Transporte	MM USD	1.30	1.50
Ductería y chimenea	MM USD	1.50	2.00
silos	MM USD	3.00	5.00
Miscelaneos	MM USD	0.00	0.00
Subtotal Costo Directo		0.00	0.00
Monto Total de la Inversión	MM USD	38.2	61.3
Relación escalación de capacidad			
Paridad Monetaria	\$ M.N. / USD	11.2	
Inversión Física necesaria por unidad en Central Termoeléctrica en (%) en función costo Unidad Generación de potencia en USD/MW			
Unidad de Generación de Energia	USD / MW	\$913,656.75	
Obra Civil		1.02%	
Tratamiento de Agua		8.69%	
Tanques de Balance		2.94%	
Tanquería			
Subtotal Costo Directo			
Miscelaneos		12.00%	
Costo Gasoducto Manzanillo Guadalajara			
Gasoducto - diametro	pulg	24	
Gasoducto Espesor	pulg	0.255	
Gasoducto Costo Tubería API XLS 52 Instalado	\$/m	3,025.21	
Gasoducto longitud manzanillo Guadalajara	Km	260	
Costo Total -Gasoducto Manzanillo Guadalajara	\$ M.N.	\$786,554,600.00	

Referencia Datos propios –tesis-

Cuadro VI.4. Costos de Operación = “Costos Fijos más Costos Variables”

PROYECTO DESULFURACIÓN CT SALAMANCA			
Costos Fijos			
Concepto	Unit	CT Salamanca 50% COPE	CT Salamanca 100% COPE
Capacidad Total Repotenciación Expansión Occ	MW	1,516	1,516
Capacidad Incremento Repotenciación Expansión O	MW	916	816
Mantenimiento <<1.25% Capital >>	USD/ Y	477,500	766,250
Administración = 30% Mantto.	USD/ Y	143,250	229,875
Mano de Obra	USD/ Y	378,000	216,000
Mantenimiento Ducto		0	0
Mano Obra Op. Ducto		0	0
Costos Fijos Totales	USD/ Y	998,750	1,212,125
Relación Costos Fijos / Costos Variables		0.079	0.100
Costo Mano de obra mensual USD		31,500.00	18,000.00
Mano de obra mensual por turno ISD		10,500.00	6,000.00
N° de trabajadores @ 2,000 USD/mes		7.00	4.00
Costos Variables			
Concepto	Unidad	CT Salamanca 50% COPE	CT Salamanca 100% COPE
Capacidad Total	MW	1,516	1,516
Capacidad Instalada Tratada	MW	916	816
Agua Cruda <repuesto> - @ 15% -	USD / Y	215,021	
Agua Desmineralizada <repuesto > @ 10%	USD / Y	361,612	303,991
Cenizas @ 0.03% en combustible	USD / Y	0	0
Energía Eléctrica	USD / Y	11,646,697	11,528,026
Productos Quim. Cataliz.	USD / Y	0	0
Disposición de escoria	USD / Y	0	0
Costos de Mantto. Variable	USD / Y	349,401	345,841
Operación de Ductos	USD / Y	0	0
Total	USD / Y	12,572,731	12,177,858
Auto consumo de Potencia @ < 1.5 % Cap. Gen >	MW	16.488	16.32
Factor de Planta = días laborados / día Año	Adim	0.921	0.921
Consumo de Potencia x Envío de GN	Kw		

Referencia Datos propios –tesis-

Cuadro VI.5. Cálculo de TIR Sistema Desulfuración “gases de chimenea” CT. Salamanca I

Tasa Interna de Retorno <TIR>, Proyecto Desulfuración CT Salamanca I																
En miles de U.S. dólares																
Tas de Interés (i):	32.2%															
Impuesto	32%															
año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Costo Capital	3,820	15,260	15,260	3,820	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Inversión Bruta 1000 USD / Año	C	0	0	0	40219	40219	40219	40219	40219	40219	40219	40219	40219	40219	40219	
Costos Fijos	C	0	0	0	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	
Costos Variables	C	0	0	0	12570	12570	12570	12570	12570	12570	12570	12570	12570	12570	12570	
Costos Totales	C	0	0	0	13571	13571	13571	13571	13571	13571	13571	13571	13571	13571	13571	
Demanda (Utilidad) Operación	C	0	0	0	26647	26647	26647	26647	26647	26647	26647	26647	26647	26647	26647	
Depreciación	C	0	0	0	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	3820	
Utilidad Gravable	C	0	0	0	22827	22827	22827	22827	22827	22827	22827	22827	22827	22827	22827	
Impuesto 32%	C	0	0	0	7306	7306	7306	7306	7306	7306	7306	7306	7306	7306	7306	
Flujo Neto de Efectivo (Net)	-3,820	-15,260	-15,260	-3,820	19343	19343	19343	19343	19343	19343	19343	19343	19343	19343	19343	
Factor de descuento	2.312	1.748	1.322	1.000	0.7533	0.5719	0.4325	0.3271	0.2474	0.1871	0.1415	0.1070	0.0809	0.0612	0.0437	
Flujo de Efectivo descontado	-8,835	-26,716	-20,205	-3,820	14628	11063	8366	6327	4785	3619	2737	2070	1566	1184	888	
Fuente Efectivo Descontado	8,832	36,548	66,763	60,673	44045	33882	25516	19180	14404	10736	8049	5970	4414	3230	0	
Bruto del Proyecto (\$1000s)	\$40,219															
Variable a recalcular TIR																
NPV	0															
TIR (IRR)	32.23%															
Costo de Capital (1000%)	36,208.00															
Valores TIR con función excel																
	32.23%	20 Años														
Calcular TIR	30.81%	10 Años														
	23.76%	5 Años														
Consideraciones para la Evaluación Económica																
Final Discreto de año de Flujo de Efectivo (cash flows):																
Depreciación en Línea Recta 10 Años																
Costo de Capital Distribuido en 4 Años																
Año 1: 10%																
Año 2: 40%																
Año 3: 40%																
Año 4: 10%																
NO incluye Escalación de Costos y Ganancias																

Referencia Datos propios –tesis-

Cuadro VI.6. VPN Valor Presente Neto Sistema Desulfuración “gases de caldera CT. Salamanca I

Valor Presente Neto (VPN) Desulfuración en CT Salamanca I,																
Tasa de Interés (i)	10.0%															
Cantidades en miles de U.S. dólares																
Impuesto	32%															
año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Costo Capital	-3,820	15,280	15,280	3,820	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	40,219	40,219	40,219	40,219	40,219	40,219	40,219	40,219	40,219	40,219	40,219	40,219
Costos Fijos	0	0	0	0	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212
Costos Variables	0	0	0	0	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178
Costos Totales	0	0	0	0	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	26,829	26,829	26,829	26,829	26,829	26,829	26,829	26,829	26,829	26,829	26,829	26,829
Depreciación	0	0	0	0	3,820	3,820	3,820	3,820	3,820	3,820	3,820	3,820	3,820	3,820	3,820	3,820
Utilidad Gravable	0	0	0	0	23,009	23,009	23,009	23,009	23,009	23,009	23,009	23,009	23,009	23,009	23,009	23,009
Impuesto 32% -	0	0	0	0	7,363	7,363	7,363	7,363	7,363	7,363	7,363	7,363	7,363	7,363	7,363	8,585
Flujo Neto Efectivo(NetCash Flow)	-3,820	-15,280	-15,280	-3,820	19,466	19,466	19,466	19,466	19,466	19,466	19,466	19,466	19,466	19,466	19,466	18,244
Factor de descuento	1.3310	1.2100	1.1000	1.0000	0.9091	0.8264	0.7513	0.6830	0.6209	0.5645	0.5132	0.4665	0.4241	0.3855	0.3486	0.3148
Flujo de Efectivo descontado	-5,084	-18,489	-16,808	-3,820	17,696	16,088	14,625	13,296	12,067	10,988	9,989	9,081	8,255	7,505	6,829	6,207
Flujo de Efectivo Descontado	-5,084	-23,573	-40,381	-44,201	-26,505	-10,417	4,208	17,503	29,590	40,578	50,567	59,649	67,904	75,409	82,176	88,207
VPN (000's)	118,628															
Costo de Capital (000's)	38,200															
Determinación de Anualidades (A) a partir del VPN del proyecto																
Ejemplo 1																
Número de Años (n)	25															
Tasa de interés (i)	0															
VPN USD (000)	118,628 USD															
$A = \frac{((1+i)^n \cdot VPN)}{(1+i)^n - 1}$	USD/Año															
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Anualidades	10,180	10,180	10,180	10,180	10,180	10,180	10,180	10,180	10,180	10,180	10,180	10,180	10,180	10,180	10,180	10,180
Anualidades a Valor presente	9,514	8,891	8,310	7,766	7,258	6,783	6,339	5,925	5,537	5,175	4,836	4,520	4,224	3,948	3,691	3,452
Suma Anualidades Valor Presente	118,628															

Referencia Datos propios –tesis-

Nota

El flujo de efectivo descontado a “valor presente neto”; muestra que al 4º Año de operación, se recupera el capital.

Cuadro VI.7. TIR Tasa Interna de Rendimiento Sistema lavado gases de caldera Salamanca II

Calculo de Tasa Interna de Retorno <TIR>, Desafiuracion CT Salamanca 2												
Tasa de Interés (i)	41.62%											
		<i>Cantidades en miles de U.S. dólares</i>										
Impuesto	32%											
año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2017	2018	2019
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	8	9	10
	20											
Costo Capital	6150	24520	24520	6130	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta 1000 US\$ / Año	6	0	0	0	76416	76413	76416	75416	76416	76416	76416	76416
Costos Fijos	6	0	0	0	1212	1212	1212	1212	1212	1212	1212	1212
Costos Variables	6	0	0	0	12178	12178	12178	12178	12178	12178	12178	12178
Costos Totales	6	0	0	0	13390	13390	13390	13390	13390	13390	13390	13390
Salario (Utilidad) de Operación	6	0	0	0	63026	63026	63026	63026	63026	63026	63026	63026
Depreciación	6	0	0	0	6130	6130	6130	6130	6130	6130	6130	6130
Utilidad Operable	6	0	0	0	56896	56896	56896	56896	56896	56896	56896	56896
Impuesto 32%	6	0	0	0	18207	18207	18207	18207	18207	18207	18207	18207
Flujo Neto de Efectivo (Net Cash Flow)	-6,136	-24,520	-24,520	-6,130	44819	44819	44819	44819	44819	44819	44819	44819
Factor de descuento	2.840	2.006	1.416	1.000	0.7061	0.4988	0.3521	0.2486	0.1755	0.0618	0.0436	0.0308
Flujo de Efectivo descontado	-17,411	-49,178	-34,725	-6,130	31648	22347	15779	11142	7368	2770	1556	1321
Flujo Efectivo Descontado Acumulado	-17,411	-66,589	-101,314	-107,444	-75797	-53450	-37670	-23528	-18661	-6412	-4456	-3075
Utilidad Bruta del Proyecto (\$1000s)	76,416											
Variable a recalcular: TIR												
VPN <NPV>	0											
TIR <IRR>	41.62%											
costo de Capital (1000's)	61,300.0											
		Valores TIR con función excel										
		41.62%	20 Años									
Calcular TIR		40.77%	10 Años									
		35.14%	5 Años									
Consideraciones para la Evaluación Económica												
Finjal Discreto de año de Flujo de Efectivo «cash flows»												
Depreciación en Línea Recta 10 Años												
Costo de Capital Distribuido en 4 Años												
		Año 1	10%									
		Año 2	40%									
		Año 3	40%									
		Año 4	10%									
NO incluye Escalación de Costos y Ganancias.												

Referencia Datos propios –tesis-

Nota

El valor de la “tasa interna de retorno” (TIR) es el más alto de todos los casos analizados

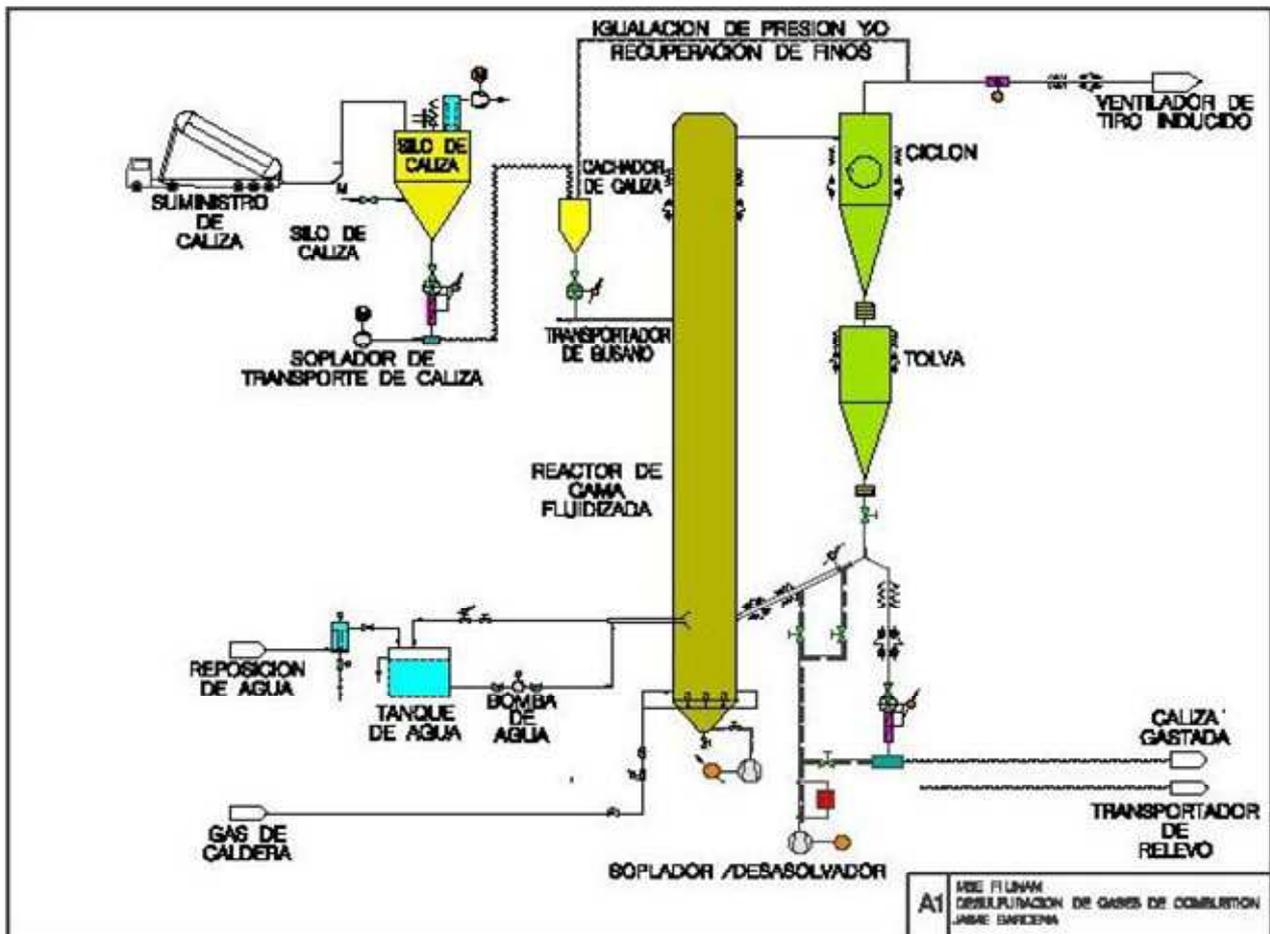
Cuadro VI.8. VPN Valor Presente Neto Sistema Desulfuración “gases caldera” CT. Salamanca II

Valor Presente Neto (VPN) Desulfuración en CT Salamanca II,																
Tasa de interés (i)	13.0%															
En Miles de US Dólares																
Impuesto	32.0%															
año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2029
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	20
Costo Capital	6,130	24,520	24,520	6,130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta 1000 USD / Año	0	0	0	0	76,416	76,416	76,416	76,416	76,416	76,416	76,416	76,416	76,416	76,416	76,416	76,416
Costos Fijos	0	0	0	0	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212
Costos Variables	0	0	0	0	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178	12,178
Costos Totales	0	0	0	0	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390	13,390
Ganancia (Utilidad) de Operación	0	0	0	0	63,026	63,026	63,026	63,026	63,026	63,026	63,026	63,026	63,026	63,026	63,026	63,026
Depreciación	0	0	0	0	6,130	6,130	6,130	6,130	6,130	6,130	6,130	6,130	6,130	6,130	6,130	6,130
Utilidad Gravable	0	0	0	0	56,896	56,896	56,896	56,896	56,896	56,896	56,896	56,896	56,896	56,896	56,896	56,896
Impuesto 32% -	0	0	0	0	18,207	18,207	18,207	18,207	18,207	18,207	18,207	18,207	18,207	18,207	18,207	18,207
Flujo Neto de Efectivo (Net Cash Flow)	-6,130	-24,520	-24,520	-6,130	44,819	44,819	44,819	44,819	44,819	44,819	44,819	44,819	44,819	44,819	44,819	42,855
Factor de Descuento	1.3310	1.2100	1.1000	1.0000	0.9090	0.8261	0.7513	0.6830	0.6209	0.5641	0.5132	0.4665	0.4241	0.3855	0.3485	0.1485
Flujo de Efectivo descontado	-8,159	-29,669	-26,972	-6,130	40,745	37,041	33,673	30,612	27,829	25,295	22,995	20,908	19,008	17,280	15,777	6,370
Flujo de Efectivo Descontado A	8,159	37,828	64,800	70,930	30,186	6,855	40,523	71,140	98,970	124,236	147,236	168,177	187,184	204,467	219,888	306,493
Valor Presente Neto VPN (#00's)	305,993															
Costo de Capital (#00's)	61,300															
Determinación de Anualidades (A) a partir del VPN del proyecto																
Ejemplo 1																
Número de Años (n)	25															
Tasa de interés (i)	7.0%															
VPN USD (000)	305,993															
$A = ((i)^n \cdot VPN) / ((1+i)^n - 1)$	USD/Año															
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	25
Anualidades	26,257	26,257	26,257	26,257	26,257	26,257	26,257	26,257	26,257	26,257	26,257	26,257	26,257	26,257	26,257	26,257
Anualidades a Valor presente	24,540	22,534	21,434	20,352	19,272	18,196	17,122	16,052	14,982	13,912	12,842	11,772	10,702	9,632	8,562	4,638
Suma Anualidades Valor Presente	305,993															

Referencia Datos propios –tesis-

El flujo de efectivo descontado a “valor presente neto” muestra como en el 4º año se paga el capital del caso analizado.

Fig. VI.1 Diagrama flujo sistema “Lavado Gases Caldera” desulfuración tipo FGD



Referencia Datos propios –tesis-

VI.4. Análisis de los dibujos DTG-M 001. y DTG-M-002 del tecnólogo.

Análisis del arreglo propuesto de un sistema “central” para lavado de gases de chimenea de cuatro calderas de la Central Termoeléctrica de Salamanca, con los comentarios:

1. El arreglo central de lavado de cuatro calderas no tiene flexibilidad para el debido caso que salga a mantenimiento de cualquiera de sus equipos, dejaría la central operando sin control ambiental de sus emisiones. Convendrá revisar la opción de modular el sistema conforme el número de calderas; se comenta aquí, un diagrama que muestra las posibilidades del arreglo que incluye cuatro ventiladores de tiro inducido y filtro de bolsas dividido en cuatro secciones, con lo cual se puede tener las facilidades de operación y flexibilidad necesaria
2. El arreglo de la ducteria del “cabezal de succión” de los gases a la salida de cada sistema de generación, por la dimensión “apreciable” en los dibujos, no tiene arreglo aerodinámico que favorezca los entronques de cada toma. En el sentido horizontal no se aprecia cambio de sección, empero podría serlo en el sentido vertical; sin embargo es recomendable que la ducteria cambie su sección en ambos sentidos para evitar exceso de turbulencias que afectan la estabilidad de la operación. Además, para esas dimensiones deben contar con venas direccionales en cada toma; lo cual debe reflejarse en la ingeniería de detalle que resuelve este requisito.
3. Considerando un sistema central para “neutralización de gases de caldera” conviene revisar que el arreglo geométrico se encuentre al centro de las cuatro calderas para evitar recorridos asimétricos, y largos que afecten la captura de la caldera más alejada. La posible localización sería en el cruce de las coordenadas E 10 100.00 y N-900.00.
4. La justificación de los filtros de bolsas antes del “reactor lavador de gases” o scrubber, no es clara la necesidad de su instalación. Sobre todo que los gases y partículas en suspensión serán lavados –medio húmedo-, que aplica para todo género de sustancias y partículas. Sobre todo si las partículas son muy finas –impalpables- la “malla de la tela” de las bolsas debe ser muy cerrado aumentando, con esto, la pérdida de presión estática en ese equipo, aumentando el consumo de potencia. El proveedor informó que, en su arreglo el reactor de neutralización se instalará previo al filtro de bolsas, y que la presión diferencial de tal arreglo es 47 cms columna de agua, pérdida de presión que resulten con los ventiladores de tiro inducido.
5. La succión desde los múltiples de las casas de bolsas “FB” es de radio corto lo cual afectará a las pérdidas por fricción del sistema, reflejándose en consumo de potencia..
6. Los ventiladores de tiro inducido en este debido caso deben contar con un equipo de relevo, pues de tenerse una contingencia en dicho sistema caería más del 50%

Comentario [SDC2]:

de la capacidad de la succión debiendo parar las calderas y generadores en tal proporción por la ausencia de la protección ambiental. El proveedor confirmó que se instalarían cuatro ventiladores de tiro inducido para obtener la flexibilidad solicitada.

7. El fabricante debe hacer un análisis hidráulico detallado del “cabezal de succión” de la captura de gases de chimenea de las calderas y su requerido balance entre las corrientes emitidas por cada sistema, tomando en cuenta la diferencia de presiones estáticas y temperaturas, a la que queda emisión se encuentra en la actualidad.
8. La alimentación del reactor de neutralización lecho fluido o “scruber”, la presión estática de ese equipo para manejo del aire puede ser de 1.3 a 1.5 millones de pies cúbicos por minuto (PCMA); las diferencias de temperatura entre ellas producirán fenómenos de estratificación de los gases, que se aprecia en las casas de bolsas y su contracción de volumen en el “reactor húmedo”. Accidentes de flujo que deben estar analizados. Además el tamaño de los ventiladores del tiro inducido en un solo equipo no es común su fabricación. El consumo de energía debe detallarse en los análisis económicos.
9. las bombas de circulación de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 , consideran una densidad de flujo específico de “1.0 gpm por cada 1000 PCM” que da gasto muy alto, sin dejar de citar la carga de las bombas debe ser del orden de 25 a 50 psig En función de la altura de descarga. Considerando también la densidad del Ca(OH)_2 en solución repercutirá en el análisis económico. Asimismo el suministro de esos equipos debe tener equipo de relevo para garantizar continuidad en la operación. La evaluación se efectuó con datos determinados por este estudio; aunque el valor de la potencia involucrada es baja, sin afectar mayormente el análisis de factibilidad, es decir su efecto ya esta incluido.
10. El consumo de agua de repuesto de “humidificación” de los gases de chimenea llegan al abatimiento de temperatura de gases de escape. Tomando en cuenta la capacidad de circulación necesaria. El “proveedor” debe informar las consideraciones que hace para determinar los consumos de agua servicio y potencia involucrada
11. Corrosión: considerar los problemas de corrosión derivados de los gases de SO_2 , SO_3 y NO_x presentes. Que en medio acuoso a la temperatura de operación, tendrían la energía de activación, tienden a formar ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3) y la inevitable y concomitante producción de sales de calcio de tales ácidos..
12. El “arreglo central” del “sistema de lavado de gases de caldera”, debe permitir la continuidad de la operación en la condición actual, cuando salga de operación, lo cual deberá hacerse con empleo de compuertas “idóneas”, que desvíen los gases de cada caldera hacia a su chimenea actual

13. El "lecho fluido" del reactor debe mostrarse su arreglo dinámico de la reacción y movimiento gases, líquidos y sólidos -slurries- para analizarse oportunamente.

14. La modulación para una o dos calderas debe analizarse en detalle técnico económico: conforme los conceptos mencionados, para diseñar módulos resultantes que den solución a cada par caldera, generador de potencia.

Relativo a sistema de control automático para "sistema central" y/o "sistema modular" debe ser presentado para su análisis y luego aprobación tomando en cuenta

- a) Frecuencia de sacudido
- b) Presión y capacidad de aire comprimido para sacudido.
- c) Control de temperatura en puntos críticos
- d) Control de presión diferencial en casa de bolsas.
- e) Control de presión diferencial en el reactor de lecho fluidizado o "scruber".
- f) Control de nivel del lecho fluido.
- g) Controles relativos en equipos de almacenamiento ofrecidos por tecnología.
- h) Monitoreos y controles idóneos que se consideren dentro de la tecnología y responsabilidad de suministro. No limitados a lo desagregado.

VI.5. Conclusiones del Capítulo:

- 1) El proyecto es viable técnicamente porque el arreglo propuesto para el sistema de lavado de gases de caldera puede alojarse en la Central Termoelectrica Salamanca sin restricciones.
- 2) La Tasa Interna de Retorno (TIR) de 37% y 41 para los casos analizados al usar combustión por gas natural, es muy ventajosa y la de mayor valor del estudio.
- 3) El valor Presente Neto después de amortización significa de cuatro a cinco veces el valor de la inversión de capital.
- 4) El tiempo de retorno para recuperación de capital es de cuatro años.
- 5) La inclusión de sistemas de lavado de gases de combustión para reducción de emisiones atmosféricas es indispensable; ambientalmente favorable y sustentable.

VII.1. Sustentabilidad

VII.1. Sustentabilidad

Introducción del capítulo:

.En Juno de 1972, en la Conferencia de la ONU sobre el Medio Ambiente, llevada al cabo en Estocolmo Suecia, el tema de “la defensa del ambiente” fue uno de los tópicos más importantes de las agendas políticas de diversos países que, propició la convicción: que se estaba atravesando por una crisis ambiental a nivel mundial. A partir de esa reunión de 103 estados miembros y más de 400 organizaciones gubernamentales, se reconoció que el ambiente es un elemento fundamental para el desarrollo humano. En esa perspectiva, iniciaron programas y proyectos para construir nuevas vías y alternativas con el objetivo de enfrentar los problemas ambientales y, al mismo tiempo, mejorar el uso de los recursos naturales para las generaciones presentes y futuras. Con ese enfoque en 1987, la Comisión de Medio Ambiente de la ONU emitió el documento **“Nuestro futuro común”**, también conocido como “Informe Brundtland” en el que, se considera la existencia de límites para el desarrollo de la humanidad, Luego, en la década de 1990 “se precisó que las políticas para crear modelos de desarrollo en el mundo, deben ser adecuadas para que las generaciones futuras tengan oportunidad de una calidad de vida, al menos igual a la de las generaciones presentes”. Fue este enfoque al que se denominó Desarrollo Sustentable.

Se analizan las posibles repercusiones de las aplicaciones tecnológicas de la presente tesis de “Optimización de diferentes esquemas de generación de energía” respecto del concepto “sustentabilidad”, tema, que se estudia desde varias disciplinas como: antropología biología, geografía, sociología, economía, e ingeniería; ramas en las que se ha intentado definir cada vez con mayor precisión su significado. El antecedente histórico concepto, “sustentable” inicia en Juno de 1972, en la Conferencia de la ONU sobre el Medio Ambiente, en Estocolmo Suecia, para abordar el tema de “la defensa del ambiente”, se reconoció que el ambiente es un elemento fundamental para el desarrollo humano. En esa perspectiva, iniciaron programas y proyectos considerando el concepto sustentable con el objetivo de enfrentar los problemas ambientales y, al mismo tiempo, mejorar el uso de los recursos naturales para las generaciones presentes y futuras. En el estudio se advierte que la humanidad debe cambiar sus modalidades de vida y de interacción comercial, si se desea evitar el advenimiento de una era de inaceptables niveles de sufrimiento humano y degradación ecológica.

Se desgrega una serie de argumentos, definiciones para alcanzar equilibrada justificación económica, ecológica y social de la aplicabilidad del concepto “sustentabilidad”. Iniciando desde su definición etimológica hasta la participación de diferentes protagonistas que ofrezcan la base para emitir conclusiones del tema.

Sustentable o Sostenible

Hablamos de un caso de sinonimia que se sabe que: "los sinónimos no son perfectos" y; cuya etimología viene del uso adjetivado de los verbos sustentar y sostener; según el Diccionario de Lengua Española:

sustentable.1. adj. Que se puede defender con razones; es decir sustentarse. (DRAE).

Sostenible.1. adj. **Se dice del proceso que puede mantenerse por sí mismo, sin ayuda de otro**, p.ej., desarrollo económico sin ayuda exterior ni merma de recursos existentes. (DRAE).

El concepto de 'desarrollo sostenible' se refiere a la viabilidad ambiental del modelo de desarrollo económico y social.

1 Que se puede sostener, soportar o tolerar: todo esto resulta perfectamente sostenible con la teoría que defiende.

2 Se aplica al desarrollo que es compatible con los recursos de que dispone una región, una sociedad, etc.: "que produce un crecimiento económico sostenible".

En otro enfoque de la definición de los vocablos: "Sustentabilidad y Sustentable, términos referidos al aspecto superestructural de los sistemas, que deben proporcionar medios de supervivencia y, persistencia, a fin de hacer no solo factible la expansión espacio temporal del sistema. Y, por el contrario, los términos Sostenibilidad y Sostenible, se refieren también al aspecto endoestructural de los sistemas.

El concepto de sustentabilidad se funda en el conocimiento de los límites y las potencialidades de natura, así como en la complejidad ambiental, inspirando una nueva comprensión del mundo para enfrentar los desafíos de la humanidad en el tercer milenio. Tal concepción promueve hacer una alianza "natura-cultura" para refundar la economía global, reorientando los potenciales de la ciencia y de la tecnología aplicada; construyendo una nueva cultura política fundada en creencias, conocimientos y sentimientos; valores éticos de la sustentabilidad que, renueven el sentido existencial, el modo de vida y las formas de habitar el planeta Tierra. Como puede verse, al paso del tiempo la sustentabilidad ha llegado a constituir un concepto que evoca una multiplicidad de procesos que la componen. Sin embargo, hay que decir que se trata de algo más que un término. La sustentabilidad es una nueva forma de pensar, para los seres humanos, en la que, la cultura y la naturaleza son inseparables. Por lo que no solo se trata de la búsqueda de definiciones más precisas; sino la designación de un organismo provisto de poder en el mundo que articule ordenamientos observables por todos los agentes económicos, sociales, culturales y ambientalistas.

El *uso sostenible de un ecosistema* hace referencia al uso que los humanos hacemos de un ecosistema de forma que este produzca un beneficio continuo para las generaciones actuales siempre que se mantenga su potencial para satisfacer las necesidades y aspiraciones de las generaciones futuras; al menos, con las condiciones de vida actual.

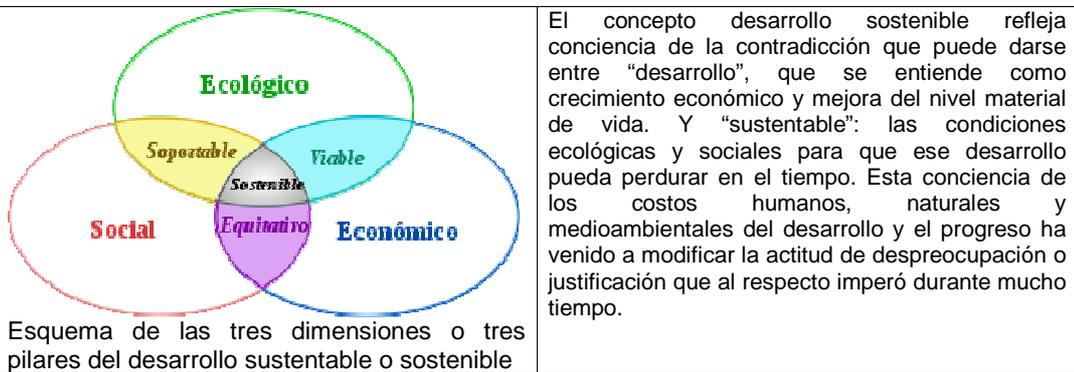
Los términos **desarrollo sostenible**,¹ **desarrollo perdurable**² y **desarrollo sustentable** se aplican al desarrollo socioeconómico, y su definición se formalizó por primera vez en el documento conocido como Informe Brundtland (1987), fruto de los trabajos de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en Asamblea de las Naciones Unidas en 1983. Dicha definición se asumió en el Principio 3º de la Declaración de Río (1992). Es a partir de este informe cuando se acotó el término

inglés sustainable development, y de ahí mismo nació la confusión entre si existe o no diferencia alguna entre los términos desarrollo sostenible y desarrollo sustentable. A partir de la década de 1970, los científicos empezaron a darse cuenta de que muchas acciones del hombre producían gran impacto sobre la naturaleza, por lo que los especialistas señalaron la evidente pérdida de biodiversidad y elaboraron teorías para explicar la vulnerabilidad de los sistemas naturales (Boullón, 2006:20). La única diferencia que existe entre desarrollo sustentable y desarrollo sostenible es la traducción al español del término inglés: en el caso mexicano se tradujo de ambas formas: desarrollo sostenible o sustentable y en otros países de habla hispana como desarrollo sustentable,⁴ pero nótese que siempre guarda la misma esencia y significado que se dio en el informe de Bruntland, donde se define como sigue:

Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades. ⁵	Meet the needs of the present generation without compromising the ability of future generations to meet their own needs. ⁶
---	---

(Comisión del Desarrollo y Medio Ambiente citado en Ramírez et al, 2004: 55).
(Comisión Brundtland): Nuestro Futuro Común.

El ámbito del desarrollo sustentable puede dividirse conceptualmente en tres dimensiones: ecológico, económico y social. Se considera el aspecto social por la relación entre el bienestar social con el medio ambiente y la bonanza económica. Ese triple enfoque tiene como resultado un conjunto de indicadores de desempeño de una organización en las tres áreas. Deben satisfacerse las necesidades de la sociedad como alimentación, ropa, vivienda y trabajo, pues si la pobreza es habitual, el mundo estará encaminado a catástrofes de varios tipos, incluidas las ecológicas. Asimismo, el desarrollo y el bienestar social, están limitados por el nivel tecnológico, los recursos del medio ambiente y la capacidad del medio ambiente para absorber los efectos de la actividad humana. Ante esta situación, se plantea la posibilidad de mejorar la tecnología y la organización social de forma que el medio ambiente pueda recuperarse al mismo ritmo que es afectado por la actividad humana.



Esta conciencia de los costos humanos, naturales y medioambientales del desarrollo y el progreso ha venido a modificar la actitud de despreocupación o justificación que al respecto imperó durante mucho tiempo. La idea: "crecimiento económico sin límites" y en pos del cual todo podía sacrificarse vino a ser reemplazada por una conciencia de esos límites y de la importancia de crear condiciones de largo plazo que hagan posible un bienestar para las actuales generaciones que no se haga al precio de una amenaza o deterioro de las condiciones de vida futuras de la humanidad.⁷

El desarrollo sostenible se aceptó exclusivamente en las cuestiones ambientales. En términos más generales, las políticas de desarrollo sostenible, afectan a tres áreas: económica, ambiental y social. En apoyo a esto, varios textos de las Naciones Unidas, incluyendo el Documento Final de la cumbre mundial en el 2005, se refieren a los tres componentes del desarrollo sostenible, que son el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente, como "pilares interdependientes que se refuerzan mutuamente".

La puesta en práctica del desarrollo sostenible tiene como fundamento ciertos valores y principios éticos. La **Carta de la Tierra**⁹ presenta una articulación comprensiva e integral de los valores y principios relacionados a la sostenibilidad. Este documento, el cual es una declaración de la ética global para un mundo sostenible, fue desarrollado a partir de un proceso altamente participativo global, por un período de 10 años, iniciado en la Cumbre de Río 92, y el cual culminó en el año 2000. La legitimidad de la Carta de la Tierra proviene del proceso participativo el cual fue creado, ya que miles de personas y organizaciones de todo el mundo brindaron su aporte para encontrar esos valores y principios compartidos que pueden ayudar a las sociedades a ser más sostenibles. Actualmente existe una creciente red de individuos y organizaciones que utilizan este documento como instrumento educativo y de incidencia política.¹⁰

La Declaración Universal sobre la Diversidad Cultural (Unesco, 2001) profundiza aún más en el concepto al afirmar que "... la diversidad cultural es tan necesaria para el género humano como la diversidad biológica para los organismos vivos"; Se convierte en "una de las raíces del desarrollo entendido no sólo en términos de crecimiento económico, sino también como un medio para lograr un balance más satisfactorio intelectual, afectivo, moral y espiritual". En esta visión, la diversidad cultural es el cuarto ámbito de la política de desarrollo sostenible.¹¹ En la misma línea conceptual se orienta la organización mundial de ciudades (Ciudades y Gobiernos Locales Unidos, CGLU) con la Agenda 21 de la cultura.

El "desarrollo verde" generalmente es diferenciado del desarrollo sostenible en que el desarrollo verde puede ser visto en el sentido de dar prioridad a lo que algunos pueden considerar "sostenibilidad ambiental" sobre la "sostenibilidad económica y cultural". Sin embargo, el enfoque del "desarrollo verde" puede pretender objetivos a largo plazo inalcanzables. Por ejemplo, una planta de tratamiento de última tecnología con gastos de mantenimiento sumamente altos no puede ser sostenible en las regiones del mundo con menos recursos financieros. Una planta de última tecnología "respetuosa con el medio ambiente" con altos gastos de operación es menos sostenible que una planta rudimentaria, incluso si es más eficaz desde un punto de vista ambiental. Algunas investigaciones parten de esta definición para argumentar que el medio ambiente es una combinación de naturaleza y cultura. El sitio "Desarrollo sostenible en un mundo diverso" trabaja en esta dirección integrando capacidades multidisciplinares e

interpretando la diversidad cultural como un elemento clave de una nueva estrategia para el desarrollo sostenible.

Desarrollo económico y social respetuoso con el medio ambiente

El objetivo del desarrollo sustentable es definir proyectos viables como los de este estudio de "optimización de esquemas de generación de energía" y; reconciliar los aspectos económico, social, y ambiental de las actividades humanas; "tres pilares" que deben tenerse en cuenta por parte de las comunidades, tanto empresas como personas:

- **Sustentabilidad económica:** se da cuando la actividad que se mueve hacia la sostenibilidad ambiental y social es financieramente posible y rentable.
- **Sostenibilidad social:** basada en el mantenimiento de la cohesión social y de su habilidad para trabajar en la persecución de objetivos comunes. Supondría, tomando el ejemplo de una empresa, tener en cuenta las consecuencias sociales de la actividad de la misma en todos los niveles: los trabajadores (condiciones de trabajo, nivel salarial, etc.), los proveedores, los clientes, las comunidades locales y la sociedad en general.
- **Sustentabilidad ambiental:** compatibilidad entre la actividad considerada y la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas, evitando la degradación de las funciones fuente y sumidero. Incluye un análisis de los impactos derivados de la actividad considerada en términos de flujos, consumo de recursos difícil o lentamente renovables, así como en términos de generación de residuos y emisiones. Este último pilar es necesario para que los otros dos sean estables.

Justificación del desarrollo sostenible

La justificación del desarrollo sostenible proviene tanto del hecho de tener unos recursos naturales limitados (nutrientes en el suelo, agua potable, minerales, etc.), susceptibles de agotarse, como del hecho de que una creciente actividad económica sin más criterio que el económico produce, tanto a escala local como planetaria, graves problemas medioambientales que pueden llegar a ser irreversibles.

[Condiciones para el desarrollo sostenible

Los límites de los recursos naturales sugieren tres reglas básicas en relación con los ritmos de desarrollo sostenibles.

1. Ningún recurso renovable deberá utilizarse a un ritmo superior al de su generación.
2. Ningún contaminante deberá producirse a un ritmo superior al que pueda ser reciclado, neutralizado o absorbido por el medio ambiente.
3. Ningún recurso no renovable deberá aprovecharse a mayor velocidad de la necesaria para sustituirlo por un recurso renovable utilizado de manera sustentable.

Según algunos autores, estas tres reglas están forzosamente supeditadas a la inexistencia de un crecimiento demográfico. Intuitivamente una actividad sostenible es aquélla que se puede mantener. Por ejemplo, cortar árboles de un bosque asegurando la repoblación es una actividad sostenible. Por contra, consumir petróleo no es sostenible con los conocimientos actuales, ya que no se conoce ningún sistema viable para crear petróleo a partir de la biomasa. Hoy sabemos que una buena parte de las actividades humanas no son sostenibles a medio y largo plazo tal y como hoy en día están planteadas.

Crítica en el uso del término

El término desarrollo sostenible se encuentra en numerosos discursos políticos, pero su aplicación es muy diversa y en ocasiones perversa.

Crítica desde el principio de precaución

Algunas ideologías ecologistas más radicales hacen énfasis en las opciones de crecimiento cero y aplicación estricta del principio de precaución, que consiste en dejar de realizar determinadas actividades productivas mientras no se demuestre que no son dañinas.

Críticas decrecentista y ecosocialista

Otros ecologistas defienden el decrecimiento económico.¹⁵ Éstos últimos creen que el respeto al medio ambiente no es posible sin reducir la producción económica, ya que actualmente estamos por encima de la capacidad de regeneración natural del planeta, tal y como demuestran las diferentes estimaciones de huella ecológica. Además, también cuestiona la capacidad del modelo de vida moderno para producir bienestar. El reto estaría en vivir mejor con menos. En el mismo orden de ideas, el ideólogo del decrecimiento Serge Latouche crítica el término de desarrollo sostenible, que lo considera simultáneamente oxímoron y pleonasma, es decir, o es desarrollo o es sostenible pero no los dos.¹⁷

El ecosocialismo argumenta que el capitalismo, al estar basado en el crecimiento y la acumulación constante de bienes incrementando el ritmo de crecimiento, es ecológicamente insostenible.¹⁸

Crítica liberal y de la ecología de mercado

Las ideologías liberales hacen énfasis en la posibilidad de compatibilizar el crecimiento económico con la preservación ambiental mediante el aumento de la productividad (producir más, consumiendo menos recursos y generando menos residuos) y con la equidad social para la mejora general de las condiciones de vida (lo que no siempre es inmediato).

Para Terry Anderson, ideólogo de la ecología de mercado, la propuesta del desarrollo sostenible es un pretexto más para la intervención estatal.¹⁹ Argumenta que gracias a políticas intervencionistas del Estado y la arrogancia gubernamental no se han dado los cambios adecuados en cuestiones ambientales.¹⁹

Crítica del estado estacionario

No obstante, el desarrollo económico no es necesariamente (según autores como Herman Daly) sinónimo de crecimiento económico ni de desarrollo humano. Aun así, cualquier medida relativa a las actividades productivas no sólo tiene efectos negativos o positivos (por ej.: Producción limpia) sobre el medio ambiente y la economía de las empresas, sino que también influye en el empleo y el tejido social.²⁰

Las tres dimensiones como modelo insuficiente

Otra de las críticas nace en el mundo de la cultura. Hoy las tres dimensiones no son suficientes para reflejar la complejidad intrínseca de la sociedad contemporánea. La cultura, al fin y al cabo, moldea lo que entendemos por desarrollo y determina la forma de actuar de las personas en el mundo. Además, ni el mundo en su conjunto ni cada localidad se hallan exclusivamente ante desafíos de naturaleza económica, social o medioambiental. Los retos culturales son de primera magnitud: la creatividad, el conocimiento crítico, la diversidad y la belleza son presupuestos imprescindibles de la sostenibilidad, pues están intrínsecamente relacionados con el desarrollo humano y la

libertad. De ahí que la organización mundial de ciudades (CGLU) aprobara una Declaración en 2010 sobre la cultura como cuarto pilar del desarrollo sostenible.²¹

Historia de la Sustentabilidad:

El medio ambiente pasado por alto en el siglo XIX

Que explica históricamente la importancia de integración del concepto sustentabilidad en la práctica coetánea del desarrollo de proyectos considerando enfoque sustentable: la forma de pensar que dio lugar a la Revolución industrial del siglo XIX introdujo criterios esencialmente de crecimiento económico. Estos criterios se pueden encontrar en el cálculo del Producto Nacional Bruto, que se remonta a la década de 1930.

Las correcciones se hicieron en la segunda mitad del siglo XIX en el ámbito social, con la aparición de organizaciones sin ánimo de lucro y el sindicalismo. El término "económico y social" forma parte del vocabulario. Pero los países desarrollados (o países del Norte) se dieron cuenta en los años 1970 que su prosperidad se basa en el uso intensivo de recursos naturales finitos, y que, por consiguiente, además de las cuestiones económicas y sociales, un tercer aspecto estaba descuidado: el medio ambiente. Por ejemplo, la huella ecológica mundial excedió la capacidad "biológica" de la Tierra para reponerse a mediados de los años 1970. Para algunos analistas el modelo de desarrollo industrial no es sostenible en términos medioambientales y; no permite un "desarrollo", perdurable. Los puntos críticos son el agotamiento de los recursos naturales (materias primas y combustibles fósiles), destrucción y fragmentación de ecosistemas, la pérdida de diversidad biológica, lo que reduce la capacidad de resistencia del planeta.

El desarrollo (industrial, agrícola, urbano) genera contaminaciones inmediatas y pospuestas (por ejemplo, la lluvia ácida y los gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático y a la explotación excesiva de los recursos naturales, o la deforestación de la selva tropical). Esto provoca una pérdida inestimable de diversidad biológica en términos de extinción (y por lo tanto irreversibles) de las especies de plantas o animales. Esta evolución provoca agotamiento de combustibles fósiles y de materias primas que hace inminente el pico del petróleo y acercarnos al agotamiento de muchos recursos naturales vitales. Al problema de la viabilidad se añade un problema de equidad: los pobres son los que más sufren la crisis ecológica y climática, y se teme que el deseo legítimo de crecimiento en los países subdesarrollados hacia un estado de prosperidad similar, basado en principios equivalentes, implique una degradación aún más importante y acelerado por la biosfera. Si todas las naciones del mundo adoptaran el modo de vida norteamericano (que consume casi la cuarta parte de los recursos de la Tierra para el 7% de la población) se necesitarían de cinco a seis planetas como la Tierra para abastecerlas. Y si todos los habitantes del planeta vivieran con el mismo nivel de vida que la media de Francia, se necesitarían al menos tres planetas como la Tierra. Además, los desastres industriales de los últimos treinta años (de Chernóbil, Seveso, Bhopal, Exxon Valdez, Fukushima etc.) han llamado la atención a la opinión pública y a asociaciones como WWF, Amigos de la Tierra o Greenpeace.

Desde 1968

- 1968 - Creación del Club de Roma, que reúne personalidades que ocupan puestos importantes en sus respectivos países y que busca la promoción de un

crecimiento económico estable y sustentable de la humanidad. El Club de Roma tiene, entre sus miembros a importantes científicos (algunos premios Nobel), economistas, políticos, jefes de estado, e incluso asociaciones internacionales.

- 1972 - El Club de Roma publica el informe Los límites del crecimiento, que le encargó al Instituto Tecnológico de Massachusetts. En este informe se presentan los resultados de las simulaciones de la evolución de la población humana basada en la explotación de los recursos naturales, con proyecciones hasta el año 2100. Demuestra que el crecimiento económico durante el siglo XXI produce drástica reducción de la población a causa de la contaminación, la pérdida de tierras cultivables y la escasez de recursos energéticos.
- 16 de junio de 1972 - Conferencia sobre Medio Humano de las Naciones Unidas (Estocolmo). Es la primera Cumbre de la Tierra. Se manifiesta por primera vez a nivel mundial la preocupación por la problemática ambiental global.
- 1980 - La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) publicó un informe titulado Estrategia Mundial para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, donde se identifican los principales elementos en la destrucción del hábitat: pobreza, presión poblacional, inequidad social y términos de intercambio del comercio.
- 1981 - Informe Global 2000 del Consejo de Calidad Medioambiental de Estados Unidos. Concluye que la biodiversidad es factor crítico para el adecuado funcionamiento del planeta, que se debilita por la extinción de especies.
- 1982 - Carta Mundial de la ONU para la Naturaleza. Adopta el principio de respeto a toda forma de vida y llama a un entendimiento entre la dependencia humana de los recursos naturales y el control de su explotación.
- 1982 - Creación del Instituto de Recursos Mundiales (WRI) en EE. UU. con el objetivo de encauzar a la sociedad humana hacia formas de vida que protejan el medio ambiente de la Tierra y su capacidad de satisfacer las necesidades y aspiraciones de las generaciones presentes y futuras.
- 1984 - Primera reunión de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, creada por la Asamblea General de la ONU en 1983, para establecer una agenda global para el cambio.
- 1987 - Informe Brundtland Nuestro Futuro Común, elaborado por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo en el que, se formaliza por primera vez el concepto de **desarrollo sustentable o sostenible**
- Del 3 al 14 de junio de 1992 - Se celebra la Conferencia de la ONU sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Segunda "Cumbre de la Tierra")²⁶ en Río de Janeiro, donde nace la Agenda 21, se aprueban el Convenio sobre el Cambio Climático, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (Declaración de Río) y la Declaración de Principios Relativos a los Bosques. Se inicia la publicidad del término desarrollo sostenible al público en general. Se modifica la definición original del Informe Brundtland, centrada en la preservación del medio ambiente y el consumo prudente de los recursos naturales no renovables, hacia la idea de "tres pilares" que deben conciliarse en una perspectiva de **desarrollo sostenible**: el progreso económico, la justicia social y la preservación del medio ambiente.
- 1993 - V Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente de la Unión Europea: Hacia desarrollo sostenible. Presentación nueva estrategia comunitaria

en materia de medio ambiente y de las acciones que deben emprenderse para lograr un desarrollo sostenible, correspondientes al período 1992-2000.

- 27 de mayo de 1994 - Primera Conferencia de Ciudades Europeas Sostenibles. Aalborg (Dinamarca). Carta de Aalborg'
- 8 de octubre de 1996 - Segunda Conferencia de Ciudades Europeas Sostenibles. El Plan de actuación de Lisboa: de la Carta a la acción
- 11 de diciembre de 1997 - Se aprueba el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el cual entra en vigor en 2005.
- 29 de Junio de 2000 - Lanzamiento de la Carta de la Tierra.
- 2000 - Tercera Conferencia de Ciudades Europeas Sostenibles. La Declaración de Hannover de los líderes municipales en el umbral del siglo XXI
- 2001 - VI Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente de la Unión Europea. Medio ambiente 2010: el futuro en nuestras manos. Definir las prioridades y objetivos de la política medioambiental de la Comunidad hasta y después de 2010 y detallar las medidas a adoptar para contribuir a la aplicación de la estrategia de la Unión Europea en materia de desarrollo sostenible.¹
- Del 26 de agosto al 4 de septiembre de 2002 - Conferencia Mundial sobre Desarrollo Sostenible ("Río+10", Cumbre de Johannesburgo), en Johannesburgo, donde se reafirmó el desarrollo sostenible como el elemento central de la Agenda Internacional y se dio un nuevo ímpetu a la acción global para la lucha contra la pobreza y la protección del medio ambiente. Se reunieron más de un centenar de jefes de Estado, varias decenas de miles de representantes de gobiernos, organizaciones no gubernamentales e importantes empresas para ratificar un tratado de adoptar una posición relativa a la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad.
- febrero de 2004. La séptima reunión ministerial de la Conferencia sobre la Diversidad Biológica concluyó con la Declaración de Kuala Lumpur, que ha creado descontento entre las naciones pobres y que no satisface por completo a las ricas. La Declaración de Kuala Lumpur deja gran insatisfacción entre los países. Según algunas delegaciones, el texto final no establece un compromiso claro por parte de los estados industrializados para financiar los planes de conservación de la biodiversidad.
- 8 de mayo de 2004 - Ciudades y Gobiernos Locales Unidos aprueba una Agenda 21 de la cultura que relaciona los principios del desarrollo sostenible de la Agenda 21 con las políticas culturales.
- 2004 - Conferencia Aalborg + 10 - Inspiración para el futuro. Llamamiento a todos los gobiernos locales y regionales europeos para que se unan en la firma de los Compromisos de Aalborg y para que formen parte de la Campaña Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles.
- 2005 - Entrada en vigor del Protocolo de Kioto sobre la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- 11 de enero de 2006 - Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre una Estrategia temática para el medio ambiente urbano. Es una de las siete estrategias del Sexto Programa de Acción en materia de Medio Ambiente de la Unión Europea, elaborada con el objetivo de contribuir a

una mejor calidad de vida mediante un enfoque integrado centrado en las zonas urbanas y de hacer posible un alto nivel de calidad de vida y bienestar social para los ciudadanos proporcionando un medio ambiente en el que los niveles de contaminación no tengan efectos perjudiciales sobre la salud humana y el medio ambiente y fomentando un desarrollo urbano sostenible.

- 2007 - Cumbre de Bali que busca redefinir el Protocolo de Kioto y adecuarlo a las nuevas necesidades respecto al cambio climático. En esta cumbre intervienen los Ministros de Medio Ambiente de la mayoría de los países del mundo aunque Estados Unidos de Norte América y China (principales emisores y contaminantes del planeta) se niegan a suscribir compromisos.

Campos de aplicación

El desarrollo sostenible se refiere a la totalidad de las actividades humanas. Sin embargo, los retos de la sostenibilidad, son diferentes para cada tipo de sector económico.

Moda

ES ropa fabricada con materias primas naturales, es decir, cultivadas con agricultura ecológica. Estas materias son algodón, fibras vegetales, lino y seda. Son muchas, o casi todas, las ventajas del uso de este tipo de prendas de vestir. Entre ellas, disminución de contaminación medioambiental, prevención riesgos para la piel, y contribución a garantizar comercio internacional justo. El mayor de sus inconvenientes es la escasa disponibilidad de esta ropa, pues, a la hora comprarla, son pocos los establecimientos a los que podemos acudir. Además, el precio también es un obstáculo, pues la escasa superficie dedicada al cultivo ecológico encarece la materia prima necesaria para elaborar esas prendas. Con ellos, pueden conseguir acercarse a una sociedad cada vez más concienciada en la necesidad de cuidar el medio ambiente.

Agricultura

El planteamiento de la alimentación humana no es catastrofista, en el sentido que predecía Malthus en su Ensayo sobre el principio de la población. Ante el desarrollo de una moderna tecnología de producción de alimentos; la penuria de poblaciones y estratos sociales no está motivada por la escasez de recursos, sino por la organización y distribución de estos recursos. El incremento de la producción agrícola se consigue principalmente mediante: regadío de cultivos, uso de fertilizantes y agricultura intensiva. Pero esas acciones, tiene sus costes:

- **Puesta en regadío.** El agua es un recurso limitado. La obtención de agua de acuíferos (pozos) debe ser sostenible. Para ello, deben conocerse las reservas, cantidad y calidad disponible, tasa de recarga, sitios hidrológicos convenientes de explotación, perforación construcción de pozos. y asegurar correcta gestión y protección del acuífero a nivel institucional. En los ríos además, debe dejarse suficiente agua para no afectar la fauna y flora ribereña (caudal ecológico), amén de entrar en competencia directa con otros usos entre ellos, el consumo humano.
- **Abonos y fertilizantes.** Aumentan la producción, pero una parte de sus sustancias se disuelve en el agua de lluvia o de riego formando lixiviados que

pueden acumularse en acuíferos contaminándolos (p. ej. altas concentraciones de nitritos o fosfatos, que favorecen la eutrofización). Idéntico caso es el de los plaguicidas, cuyo agravante de haber producido uso intensivo de plaguicidas bioacumulables y no biodegradables en épocas anteriores, como el caso del DDT en el siglo XX, que se prohibió mediante campaña mundial argumentando su acumulación en las cadenas tróficas y peligro de contaminación de alimentos.

- **Agricultura intensiva.** Incrementa la producción al introducir mayor número de plantas por metro cuadrado de una especie adaptada, pero también consume mayor cantidad de nutrientes del suelo (que se retiran con la cosecha y no vuelven al suelo), implicando programar rotación de cultivos diferentes que consumen los nutrientes del suelo en diferentes proporciones y estratos. Debe complementarse con barbechos para limitar proliferación de parásitos. Al igual debe preservarse la variedad genética de las especies (biodiversidad); pues no se sabe qué especies afrontarán mejor los problemas que surjan en el futuro.

Actividades productivas y de servicios

Ejemplo, las herramientas de implementación de desarrollo sostenible en la producción y servicios, como conjunto de actividades denominadas Producción Más Limpia; que parte del principio de sostenibilidad de las actividades humanas requeridas para suplir necesidades básicas y suplementarias (calidad de vida), incorporando elementos como: mínimas emisiones, buenas prácticas de producción y operación, manejo adecuado y aprovechamiento de subproducto y residuo, disminución en el consumo de insumos, etc. Observándose que el desarrollo sostenible no es por sí mismo un elemento sociológico, sino que debe formar parte de un tejido entre producción, economía, bienestar y ambiente juegan siempre del mismo lado. Este concepto de desarrollo sostenible, se enfoca desde el lado de la oferta ambiental, bajo la óptica de obtener rendimientos firmes. Es decir productividad básica conforme la capacidad que pueden suministrar los ecosistemas. Otra dimensión del concepto es el contexto desde donde se enfoca el desarrollo es parte de un ámbito nacional a uno global, que se asienta en interrelaciones globales y de naturaleza local. La evolución del pensamiento sobre el desarrollo, en términos históricos, se ha dado en el marco de luchas sociales, a través de la pugna entre el capitalismo y el socialismo, entre la clase obrera y el capital y el pensamiento humano y las fuerzas de la naturaleza. A lo largo del siglo XX, y parte de esta primera década del siglo XXI, el concepto de desarrollo se ha expandido y enriquecido, pero también se ha fragmentado, puesto que se va tomando de él, aspectos de acuerdo a la gravedad que confronten los países en su diagnóstico ambiental, sin ser asumido como orientación universal de cuidado del medio ambiente.

División de Desarrollo Sustentable de la ONU

Comisión de la ONU para el Desarrollo Sustentable

En diciembre de 1992 la Organización de las Naciones Unidas (ONU) decide crear la **Comisión para el Desarrollo Sustentable** para asegurar un seguimiento eficaz de la histórica Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de 1992, que se celebró en Río de Janeiro (Brasil) y que se conoce como Cumbre de la Tierra. Tras esta conferencia, que duró tres meses, los líderes de los Estados miembros de la ONU aprobaron el **Programa 21**, un plan de 300 páginas cuyo objetivo era conseguir el Desarrollo Sostenible. Su capítulo 36 está dedicado a la Opinión Pública.

La Comisión es “foro excepcional de Naciones Unidas que reúne a funcionarios públicos y representantes de diversos sectores de la sociedad civil para analizar y recomendar soluciones que promuevan el Desarrollo Sostenible”. Por medio de ella, se transmitirán a los Estados miembros las directrices a seguir. De entre los temas que interesan en este caso es el de “La educación y la conciencia”. Este punto tiene su base en un programa que nace en 1996 y se amplía en 1998. El comité de expertos de Naciones Unidas sobre Contabilidad Económico-Ambiental (UNCEEA) trabaja para hacer del Sistema de Contabilidad Económico Ambiental (SEEA) un estándar internacional para el año 2010 y a promoverlo para su puesta en práctica en los diferentes países. La **Comisión de Desarrollo Sustentable** depende del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU.

Medidas

Desde la creación del citado programa de consulta de una Opinión Pública favorable al Desarrollo Sostenible, el Secretariado General de la ONU ha elaborado dos informes de resultados, uno de ellos en 1999 y el otro en 2001. De ambos se extraen conclusiones similares, por lo que incluimos aquí un resumen de los puntos más importantes:

- **Organismo coordinador:** Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).
- **Otros organismos y organizaciones colaboradoras:** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Fondo de Población de las Naciones Unidas (FNUAP), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Comisión Económica para Europa (CEPE) y ONGs de Polonia y Zimbabwe.

Es interesante pararnos en este punto, porque la creación de los programas y de los posteriores informes suele ser un punto de debate y controversias. En este caso, es la Comisión para el Desarrollo Sostenible la que elabora los programas, en principio sin contar con otras aportaciones externas a la propia ONU. Sin embargo, para la elaboración posterior de los informes sí cuenta, como podemos ver, con la participación de ONGs, aunque de manera muy limitada. Sí cuenta la ONU con otros organismos y con los propios Estados para el desarrollo de puntos concretos del programa. Algunos de ellos los veremos a continuación.

- **Cuestiones que aún no se han conseguido:**
 - Esclarecer el concepto de Desarrollo Sostenible de manera colectiva. Para ello, la ONU ha elaborado un documento que ha distribuido por los diferentes Estados miembros: “Educación para un futuro sostenible: una visión trans-disciplina para una acción concertada”. Para elaborarlo ha contado con la colaboración del Banco Mundial (BM), la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de los Estados Americanos (OEA).
 - Los puntos en los que el concepto de Desarrollo Sostenible no está claro son: La educación para el Desarrollo Sostenible vs. Educación sobre Desarrollo Sostenible; el Desarrollo Sostenible es un concepto similar a Medio Ambiente; la educación debe implicar a todos los sectores; y la

educación debe ser una educación para toda la vida. Para aclarar estos puntos la UNESCO elabora publicaciones y prepara conferencias y reuniones.

- La relación entre el concepto desarrollo sostenible y la cultura. Aclarar las aportaciones que la cultura realiza: creatividad, conocimiento crítico, diversidad, ritualidad, belleza... En este ámbito está trabajando la Agenda 21 de la cultura.
- Las políticas nacionales de educación no están siendo efectivas. Los impedimentos son: La falta de fondos, la falta de compromiso político y la sectorización de los sistemas escolares. Para ayudar a los Estados miembros la UNESCO ha creado mecanismos de colaboración entre ONGs, poderes públicos, entidades financieras... Los objetivos de las políticas nacionales de educación son: La reorientación del personal docente. Los maestros deben ser incorporados a los procesos de reforma; la reforma de la enseñanza superior; y promover una perspectiva interdisciplinaria que propicie el Desarrollo Sostenible.
- Incorporación de la educación en las estrategias nacionales para el Desarrollo Sostenible. Existe aún confusión de los Estados respecto al concepto. Para ello se propone la colaboración con ONGs.
- Educación en la promoción de modalidades sostenibles de consumo y producción. Este punto está poco desarrollado. Para mejorarlo la UNESCO prepara reuniones de expertos que elaboran resúmenes con las mejores prácticas.
- Se deben promover las inversiones en educación. Se entiende así la educación como un instrumento esencial para crear una Opinión pública fuerte y lograr así los objetivos. Se deben revisar las inversiones privadas.
- Definición y difusión de prácticas innovadoras. Se está creando un registro internacional de prácticas innovadoras, elaborado por la UNESCO.
- Y por último, se deben crear más campañas de sensibilización de la Opinión Pública. Los encargados serán la ONU, la UNESCO, la PNUMA y la UICN.
- **Cuestiones estratégicas:**
 - La educación para el Desarrollo Sostenible tiene que ver con un cambio de valores, conductas y estilos de vida.
 - Para ello serán necesarios al menos 20 años.
 - La educación se tiene que entender como un reflejo de la sociedad.
 - Es necesaria la especial implicación de los gobiernos y de agentes nacionales y locales.
- **Otras medidas** tomadas por la UNESCO: Crear una página web.

En primer lugar hay que advertir que la ambigüedad conceptual de fondo no puede resolverse mediante simples retoques terminológicos o definiciones descriptivas o enumerativas más completas de lo que ha de entenderse por sostenibilidad (al igual que ocurre con las nociones de producción o de desarrollo, que encuentran implícitamente su definición en la propia idea de sistema económico): a la hora de la verdad, el contenido de este concepto no es fruto de definiciones explícitas, sino del sistema de

razonamiento que apliquemos para acercarnos a él. **Evidentemente si, como está ocurriendo, no aplicamos ningún sistema en el que el término sostenibilidad concrete su significado, éste se seguirá manteniendo en los niveles de brumosa generalidad en los que hoy se mueve.** Sin que las brumas se disipen por mucho que intentemos matizarlo con definiciones explícitas y discutamos si interesa más traducir el término inglés originario sustainability por sostenibilidad, durabilidad o sustentabilidad.

Por eso sólo cabe representar el funcionamiento de organismos, poblaciones o ecosistemas en términos de sistemas abiertos, es decir, que necesitan degradar energía y materiales para mantenerse en vida. La clave de la sostenibilidad de la biosfera está en que tal degradación se articula sobre la energía que diariamente recibe del Sol y que en cualquier caso se iba a degradar (y no en que la biosfera sea capaz de reparar tal degradación).

Al mirar las limitaciones que ofrece la aproximación al tema de la sostenibilidad que se practica desde el aparato conceptual de la economía estándar, la mencionada corriente de autores trata de analizar directamente las condiciones de sostenibilidad de los procesos y sistemas del mundo físico sobre los que se apoya la vida de los hombres. Se llega así, según Norton [**Norton, B.G. , 1992**], a dos tipos de nociones de sostenibilidad diferentes que responden a dos paradigmas diferentes: **una sostenibilidad débil (formulada desde la racionalidad propia de la economía estándar) y otra sostenibilidad fuerte (formulada desde la racionalidad de esa economía de la física que es la termodinámica; y de esa economía de la naturaleza que es la ecología).** En lo que sigue nos ocuparemos de esta sostenibilidad fuerte, que se preocupa directamente por la salud de los ecosistemas en los que se inserta la vida y la economía de los hombres, pero sin ignorar la incidencia que sobre los procesos del mundo físico tiene el razonamiento monetario. Pues es la sostenibilidad en el sentido fuerte indicado, la que puede responder a la sostenibilidad de las ciudades y de los asentamientos humanos, en general, sobre la que se centra este documento

Metáforas sustentables: El Potencial de Derechos Humanos “El potencial humano, no únicamente se deja inexplorado, sino que en muchos se usa en detrimento de la humanidad misma; esquema en el que los seres humanos quedan como enemigos de sí mismos, desarrollando un círculo vicioso donde “su salida” solo esta en el pensamiento humano. Frecuentemente se invocan los Derechos Humanos, sin asociarlos a la Responsabilidad Humana. Los Derechos Humanos no pueden asegurarse, sin asegurar las Responsabilidades Humanas; vía sus conductas y, falta de consideración del destino y las cuestiones **éticas**²⁹ (). Valga la metáfora “Quien no está preso de la necesidad, está preso del miedo”; unos no duermen por la ansiedad de tener las cosas que no tienen, y otros no duermen por el pánico de perder las cosas que tienen. El mundo al revés “espanta pájaros” que, nos entrena para ver al prójimo como una amenaza y no como una promesa, nos reduce a la soledad y consuela con drogas químicas y amigos cibernéticos. Nuestra condena es “morirnos de hambre, morirnos de

Comentario [SdC3]:

²⁹ Jonas Hnas “Imperativos Viejos y Nuevos” La Etica de la Responsabilidad.

miedo o morirnos de aburrimiento”; si es que alguna bala perdida no abrevia nuestra existencia" ⁽³⁰⁾. Debemos superar la inercia destructiva; reconsiderar nuestra visión del mundo para reestructurar los sistemas de energía, economía, gobierno, transporte y alimentación, así como la generación, distribución y uso de recursos y servicios. El tiempo para modificar nuestros pensamientos y acciones a fin de evitar el colapso, es cada día más escaso. Frente a la insustentabilidad global, se hace necesario mirar de frente las consecuencias de nuestras acciones y nuestros pensamientos. Modificar nuestra forma de pensar y actuar, significaría evitar llegar al punto crítico donde no hay retorno.

El concepto de sustentabilidad se funda en el conocimiento de los límites y las potencialidades de natura, así como en la complejidad ambiental, inspirando una nueva comprensión del mundo para enfrentar los desafíos de la humanidad en el tercer milenio. Tal concepción promueve hacer una alianza "natura-cultura" para "refundar" la economía global, reorientando los potenciales de la ciencia y de la tecnología aplicada; construyendo una nueva cultura política fundada en creencias, "saberes" y sentimientos; valores éticos de la sustentabilidad que, renueven el sentido existencial, el modo de vida y las formas de habitar el planeta Tierra.

^{30 30} Galeano Eduardo, *la escuela del mundo al revés* . .

Conclusiones (del sub capítulo)

Es sabido que el crecimiento económico sin límites ¡es imposible! dadas las restricciones dimensionales de la Tierra, se hacen las siguientes conclusiones:

1. No son necesarias más definiciones, sino acciones que garanticen la sustentabilidad que a pesar de la hegemónica dimensión económica cuyo insaciable crecimiento desestabiliza el plano equilibrado de los tres pilares social, ecológico y económico, pues no se consideran los límites globales finitos en que ese crecimiento está inserto y limitado por los mismos, que ya han sido estudiados desde finales del siglo XX.

2. Es necesario que los estados como actores sociales y, empresas y empresarios como actores económicos; lleguen a una convención en la ONU que sea equivalente a los "bonos de CO₂" para que primero los Estados Unidos y China firmen los protocolos de Kyoto, Río de Janeiro, Johannesburgo y; se reconozca la necesidad de contar con ordenamientos y organismos dotados de poder político económico que se encargue de arbitrar las actividades que afectan la sustentabilidad del orbe; pudiendo hacer sanciones que se cumplan y la beneficien.

3. La gradual aportación que se hace a partir de la optimización de sistemas de generación de energía dentro del escenario nacional, en términos cuantitativos es pequeña; pero en términos cualitativos puede ser mayor, además, permite una mirada a la importancia que tiene considerar el crecimiento sustentable a nivel local regional y mayor aun a nivel global. De lo que se debiera tomar nota para llegar a las convenciones necesarias que eviten las condiciones insustentables desagregadas en el contenido que se presenta aquí, en las que podemos caer, sino es que hace mucho estamos en ellas,

Referencias bibliográficas

- Boullón, Roberto (2006). "Espacio Turístico y Desarrollo Sustentable". Aportes y Transferencias (En línea), Volumen 10, núm. 2, pp. 17-24, Argentina. Disponible:
- Brundtland, G.H. (1987) "Our common Future" (, Oxford, Oxford University Press. (Trad. en castellano, Nuestro futuro común, Madrid, Alianza Ed., 1988).)
- Daly, H.E. (1990) "Toward some operational principles of sustainable development" (Ecological economics, vol. 2, n. 1, pp.1-6.)
- Dixon, J.A. y Fallon, L.A. (1991) "El concepto de sustentabilidad: sus orígenes, alcance y utilidad en la formulación de políticas" (Vidal, J. (Comp.) Desarrollo y medio ambiente, Santiago de Chile, CIEPLAN, (la versión original en inglés apareció en Society and Natural Resources, Vol. 2, 1989).)
- Ehrlich, P.R. (1989) "The limits to substitution: Meta resource depletion and new economic-ecological paradigm" (Ecological economics, vol. 1, n. 1 p.10.)
- Guimarães, R.P. (1994) "El desarrollo sustentable: ¿propuesta alternativa o retórica neoliberal? (Revista EURE, Vol. XX, n. 61.)
- Malthus, T.R. (1827) "Definitions in Political Economy. Preceded by an Inquiry into the Rules which Ought to Guide Political Economists in the Deviation from the Rules in their Writings" (Londres (Ref.

Naredo, J.M. (1987,) "La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico" (Madrid, Siglo XXI.)

Meadows, D.H. y D.L. (1991) "Beyond the Limits". ((Hay traducción en castellano de El País & Aguilar, Madrid, 1992).)

J.S. Mill (1848) "Principles of Political Economy" (Nuestra referencia corresponde a la traducción del F.C.E., México, realizada sobre la 7. edición inglesa de 1871 corregida por el autor, pp. 641-642.)

M'Mwereria, G.K. (1996) "Technology, Sustainable Development and Imbalance: A southern Perspective" (International Conference on Technology, Sustainable Development and Imbalance, Tarrasa, Spain.)

Norgaard, R.B. (1994) "Development Betrayed. The end of progress and a coevolutionary revisioning of the future" (Londres y Nueva York, Routledge, p. 22.)

Norgaard, R.B. (1996) "Globalization and unsustainability" (International Conference on Technology, Sustainable Development and Imbalance, Tarrasa, Spain.)

Norton, B.B. (1992) "Sustainability, Human Welfare and Ecosystem Health" (Ecological Economics, vol. 14, n. 2, pp. 113-127.)

O'Riordan, T. (1988) "The politics of sustainability" (en Sustainable Management: Principle and Practice, Turner, R.K. (ed), Londres y Boulder, Belhaven Press y Westview Press.)

Sachs, I. (1994) (Entrevista en Science, Nature, Societé, Vol. 2, n. 3, 1994.)

Sachs, W. (1992) "The Development Dictionary. A Guide to Knowledge as Power" (Londres y New Jersey, Zed Books, p.1.)

Solow, R. (1991) "Sustainability: An Economist's Perspective" (Dorfman, R. y Dorfman, N.S. (eds.), Economics of the Environment, 3. Ed., Nueva York.)

Solow, R. (1992) "An almost Practical Step towards Sustainability" (Conferencia pronunciada con motivo del 40 aniversario de Resources for the Future, 8-10-1991.)

*la escuela del mundo al revés * Eduardo Galeano. .
www.encontrarse.com/notas/pvernota.php3?nnota=26500

VII.2 Cambio Climático

VII.2 Cambio Climático

Introducción (VII.2.):

Derivado de la noción del calentamiento global reflejado en extremo cambio del clima en diferentes regiones de la Tierra, fue la causa motivo para derivar la convención del "Cambio Climático", fenómeno que no solo implica aumento de temporadas torridas y frías extremas sino la alteración regional de habitats; por lo que en las Reuniones sobre el ambiente en La Organización de las Naciones Unidas (ONU) se incluyó este tema que: dentro de los trabajos de las cumbres de la ONU, Organismos agremiados y Comisiones en busca de convenios y definiciones acerca de la "sustentabilidad" se dio lugar al convenio de "Cambio Climático, cuyos antecedentes más importantes se desagregan a continuación:

- Del 3 al 14 de junio de 1992, se celebra la Conferencia de la ONU del Medio Ambiente y Desarrollo (Segunda "Cumbre de la Tierra") en Río de Janeiro, donde nace la Agenda 21, **se aprueban el Convenio sobre el Cambio Climático**, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (Declaración de Río) y la Declaración de Principios Relativos a los Bosques.
- 11 de diciembre de 1997 - **Se aprueba el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático**, el cual entra en vigor en 2005.
- 2007 - Cumbre de Bali que busca redefinir el Protocolo de Kioto y adecuarlo a las nuevas necesidades **respecto al cambio climático**. En esta cumbre intervienen los Ministros de Medio Ambiente de la mayoría de los países del mundo aunque Estados Unidos de Norte América y China (principales emisores y contaminantes del planeta) se niegan a suscribir compromisos.

Entre las exploraciones y experimentos relacionados con el Cambio Climático, se han hecho mediciones de la alteración de la humedad atmosférica y en los suelos, cambio de humedad que ha repercutido en varios fenómenos ecológicos como crecimiento poblacional de algunas especies en la atmósfera y de crecimiento inusitado de pastos y maleza en algunos sitios, así como desertificación en otros que no tenían tales características edafológicas. El fenómeno del "calentamiento global" se considera que es producido por la alteración de la composición atmosférica debida a la mayor actividad industrial reciente e incremento del transporte masivo, y personal, que refleja en mayor producción de bióxido de carbono y de otros óxidos concomitantes como el SO_x y el NO_x, los cuales son producidos por el consumo de combustibles fósiles derivados del petróleo crudo y del carbón mineral, con lo que se produce en primer término el "CO₂ fósil" que altera la producción de "CO₂ contemporáneo" producto de la respiración de la masa crítica de seres vivos del mundo.

VII.2.1 Cambio Climático

El fenómeno del "calentamiento global" se considera producto de la alteración de la composición atmosférica debida a la mayor producción de bióxido de carbono y de otros óxidos contaminantes como el SO_x y el NO_x, los cuales son producidos por el consumo

de combustibles fósiles, como, los derivados del petróleo crudo y del carbón mineral en sus diversas modalidades, con lo que se produce en primer término el "CO2 fósil" que altera la producción de "CO2 contemporáneo" producto de la respiración de la masa crítica de seres vivos del mundo. Debido al aumento de la concentración de CO2 atmosférico, se considera técnicamente que:

1. Mayor concentración de CO2 atmosférico produce **fenómeno de efecto invernadero**.
2. Dado que el CO2 filtra los rayos infrarrojos y, por fenómeno químico aleatoriamente lo hace con los rayos ultravioleta de la radiación solar; esto, debido a ozono O3 atmosférico que reacciona con los compuestos orgánicos atmosféricos principalmente CH4 formando CO2, éste impide el paso de radiación IR y algo UV; induciendo aislamiento térmico; pero "desde dentro hacia afuera" de la atmósfera que impide que salga parte del calor solar reflejado en la superficie terrestre, "**ocasionando calentamiento global**".
3. La suma de fenómenos descritos contribuye al fenómeno invernadero que produce el calentamiento global, **responsable del cambio climático**.

Así mismo, la presencia de gases ácidos contaminantes en la atmósfera, producidos, por la quema de combustibles con azufre, dan lugar al SOx. Cuando la combustión tiene alta temperatura, produce ionización del nitrógeno del aire, efecto químico que da lugar al NOx. Esos gases ácidos al precipitarse con la lluvia, producen el fenómeno conocido como "lluvia ácida que al caer y filtrarse al subsuelo produce:

A.- Daño superficial de los suelos, al infiltrarse al subsuelo da origen a sulfatos de sodio calcio, hierro, magnesio Etc. que en su mayoría tiene efecto fertilizante

B.- La precipitación de los NOx da lugar también al fenómeno conocido como "lluvia ácida" que al infiltrarse en el subsuelo, produce nitritos y nitratos; e inclusive el efecto notable de nitrificación en los ríos y lagos con sus consecuencias indeseables, en algunos casos.

C.- Al igual el CO2 atmosférico en las precipitaciones pluviales produce "lluvia carbonatada" cuyos escurrimientos e infiltraciones da lugar a formación de carbonatos en calizas.

Conviene hacer notar que en el "ABC" de conceptos anterior tienen aceptación de la ciencia oficial en general; pero, eso hace surgir la hipótesis que: *"si ese fuera el mecanismo de formación de yacimientos de esas sales formadas fortuitamente; al haber mayor actividad industrial que produce los gases "ácidos" que dan lugar a la formación de sulfatos, nitratos, y carbonatos al depositarse en el suelo e infiltrarse en el subsuelo estarían aumentando sus respectivos yacimientos naturales"*; pero al precipitarse juntos estarían formando una mezcla de esas sales en "sus yacimientos", lo cual no se aprecia ni observa en las afloraciones como producto de tales fenómenos.

Los depósitos naturales de rocas sedimentarias de sulfatos y nitratos, recientemente no han aumentado, ni se encuentran mezcladas, dando lugar a otra hipótesis "que la formación natural de esas sales es de origen distinto al descrito en el "ABC", del comentario anterior; por lo que debe investigarse en mayor detalle los procesos geológicos; definiendo así, el grado verdadero de contribución al calentamiento global

que produce el cambio climático. Ya que la formación de CO₂ en mayor grado es producida por respiración biológica de la masa crítica de seres vivos, que se considera que da lugar a la formación posterior de carbonatos en calizas. Es conveniente definir en términos sustentables y ambientales, lo siguiente:

- 1). Sí el origen de formación de óxidos de azufre (SO_x) y de nitrógeno (NO_x). Los óxidos de azufre derivan de combustión primitiva que haya producido la oxidación del azufre elemental responsable de la existencia de la masa crítica de sulfatos. Los nitratos, por alta temperatura atmosféricas que ioniza al N₂ atmosférico como se argumenta en el "ABC" anterior.
- 2).- Sí el origen geológico de formación de rocas sedimentarias que dan lugar a los sulfatos y nitratos, pudiera ser diferente al de combustión primitiva.
- 3) Sí hay procesos geológicos que por oxidación "anaerobia" puedan dar lugar a la formación por desplazamiento químico de unas sales en otras, o para la "síntesis" de sulfatos y nitratos ya que sus respectivos óxidos son gaseosos.

Investigar, sí el cambio climático vendría ser el efecto sinérgico de los procesos geológicos y/o químicos antes citados, que darían lugar al aumento regional de temperatura que produzca mayor evaporación en los océanos originando mayor actividad meteorológica produciendo un mayor número de huracanes. O si trata de un efecto producto de actividades de naturaleza nuclear o de otra índole no denunciada oficialmente.

Otras generalidades definiciones y convenciones son compatibles a las obtenidas para el tema de la Sustentabilidad desagregadas en el capítulo anterior por lo que, se obvia volver a repetir lo considerado; per de similar aplicabilidad.

Conclusiones:

- 1) Aun no se han determinado con precision cuales son las causas del Cambio Climatico, por lo que solo se han hecho mediciones de temperatura en diferntes regiones del planeta originando una lestadistica sobre la cual se hacen estudios en busca del comportamiento clave, que derive la causa regional o global del cambio climatico.
- 2) Los protagonistas de la economia del mundo, principalmente los empresarios mas que los gobiernos de los estados deben llegar a un acuerdo respecto los limites del crecimiento economico, con objeto de no sigan contribuyendo al cambio climático por las actividades industriales
- 3) Es necesario evitar la desmedida tala de selvas y bosques cuya funcion biologica via la fotosíntesis clorofiliana que consume bióxido de carbono, compuesto principal causante del "efecto nvernadero".
- 3) La reforestacion de bosques y selvas es una asignatura pendiente que el hombre debe resolver para evitar una de posible causa del cambio climático.
- 4) la ONU vía alguno de sus organismos afiliados debe impulsar ante los empresarios trasnacionales y los gobiernos de los estados asociados la firma de los protocolos de Kyoto, Rio, Bali, y Johannesburgo para obligarse a observarlo y que promuevan la reforestacin de bosques y selvas para remitir una de las posibles causas del cambio climatico.

VII. Comparacion opciones generaci3n energ3a diversos esquemas.

VIII. Comparacion opciones generación energía diversos esquemas.

Contenido:

VIII.1. Cogeneración (IGCC): en Centrales Termoeléctrica de energía y vapor con “Gas de síntesis” (GS) de gasificación de RV ó Coque.

VIII.2. Sinergia de Nueva Refinería de Crudo y Cogeneración (IGCC) Energía y Vapor por gasificación de Residuo de Vacío (RV) y/o Coque del petróleo (Petcoque)

VIII.3. Ciclo Combinado CC con GN “producido” de su líquido (Gas Natural Licuado – GNL-).

VIII.4. . Ciclo Convencional Rankine con Lavado de Gases.

VIII. 5. Comparación resultados generación energía; diversos Tecnologías de proceso

Resumen:

En este apartado se comparan los resultados obtenidos en cada capítulo del estudio, mediante análisis de “sensibilidad” de los resultados de diferentes esquemas de ciclos termodinámicos y proceso para la generación de energía (potencia). Lo cual se resume en gráficos para comparación rápida de los esquemas de generación de energía, confirmándose con el análisis de sensibilidad la viabilidad de los casos estudiados como entre otros: la sinergia propuesta de una planta de cogeneración (IGCC) de vapor y potencia junto a una nueva refinería que consuma esos servicios articulándose un modelo de refinería energética producto de los resultados de este estudio de optimización. Así mismo se pondera los valores de Tasa Interna de Rendimiento y del valor agregado (VPN) en cada uno de ellos. Así como la conveniencia de integrar un sistema de lavado de gases de caldera tecnología FGD, por sus siglas en inglés “flue Gas Desulfur” para reducir las emisiones contaminantes atmosféricas para no sustituir la combustión de combustóleo que es más costoso que el gas natural ponderado en costo USD/MM BTU (dolares americanos por millón de BTU). Todo ello bajo enfoque responsable que contribuya a la sustentabilidad; contraria al irresponsable crecimiento económico sin límites

VIII. Comparación opciones generación de energía en diversos esquemas.

VIII.1. Cogeneración Energía y Vapor con “gasificación” RV ó Coque (IGCC)

Cuyos resultados se resumen en el cuadro y graficos siguientes:

Cuadro VIII.1 Resumen Optimización Sinergia” Nueva Refinería y cogeneración con Residuales

Caso analizado		No.	1	2	3	4
Concepto	Unidades		Refinería Convencional al + cogeneración n 1	Refinería Convencional cogeneración-2 con RV	Refinería Coker + cogeneración -3 con Coke (1)	Refinería Coker + cogeneración-4 con Coke (2)
Lugar			Tula	Tula	Tula	Tula
Proceso						
Capacidad Modular Crudo a Refinación	BPD		164,954.0	164,954.0	164,985.1	164,985.1
Capacidad Total Crudo a Refinación	BPD		329,907.9	329,907.9	329,970.2	329,970.2
Capacidad Modular de Productos de Refinación	BPD		164,994.2	164,999.3	143,480.2	143,480.2
Capacidad Total de Productos de Refinación	BPD		329,988.3	329,998.6	286,960.4	286,960.4
Capacidad producción de Coke	TPD		-	-	8,000.0	8,000.0
Cogeneración						
Potencia Actual por unidad IGCC	MW		176.3	163.4	176.3	163.4
Potencia Actual Total IGCC	MW		352.6	326.8	352.6	326.8
Capacidad Total Vapor Exportación	T/ Hr		380.0	380.0	380.0	380.0
Combustible			R. V.	R. V.	petcoke	petcoke
Finanzas < Capital>						
Inversión Modulo Refinería (165MBPD)	MM USD		1,281.8	1,281.8	1,582.9	1,582.9
Inversión Total Refinería (330 MBPD)	MM USD		2,563.6	2,563.6	3,165.9	3,165.9
Inversión Total Cogeneración IGCC)	MM USD		730.4	686.6	730.4	686.6
Inversión Total refinería Bicentenario IGCC	MM USD	+	3,293.9	3,250.2	3,896.2	3,852.5
TIR % "Refinería + IGCC cogeneración"	%		22.703%	24.487%	20.9%	20.9%
VPN "Refinería + IGCC cogeneración"	M USD		6,303,608.3	5,774,244.3	5,598,361.8	5,707,841.2

Fig VIII.1. Sensibilidad TIR y VPN por cambio Capital de Sinergia Nueva Refinería y cogeneración

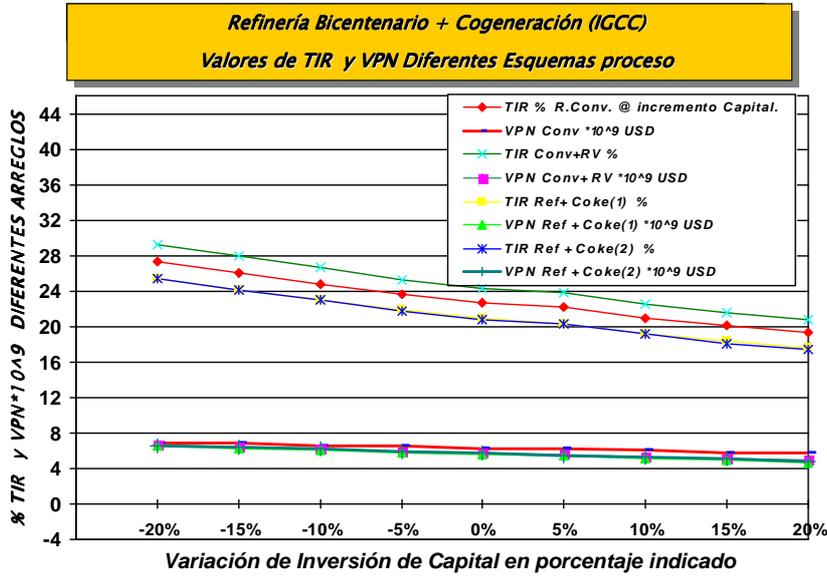


Fig. VIII.2 Sensibilidad TIR y VPN por cambio precios sinergia Nueva Refinería + Cogeneración

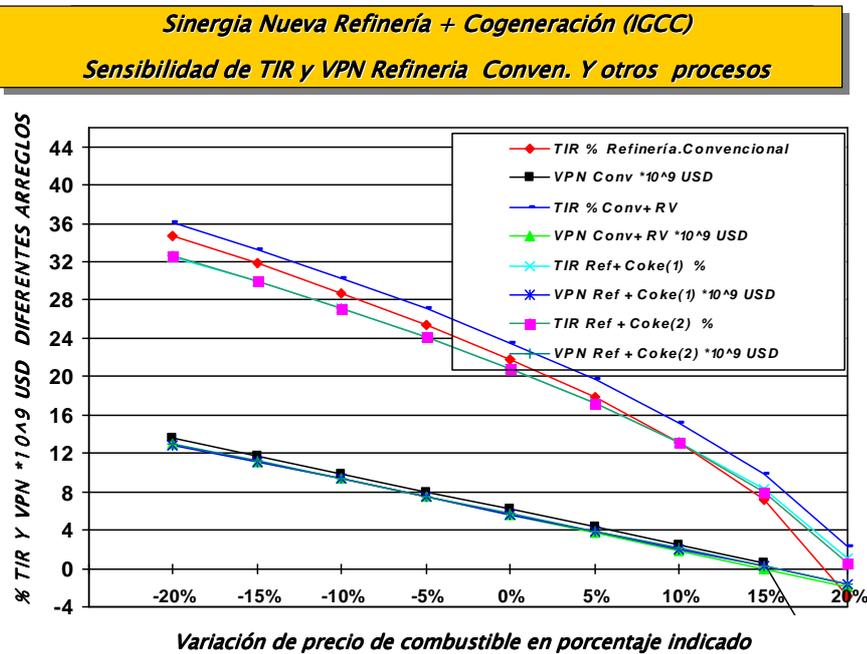
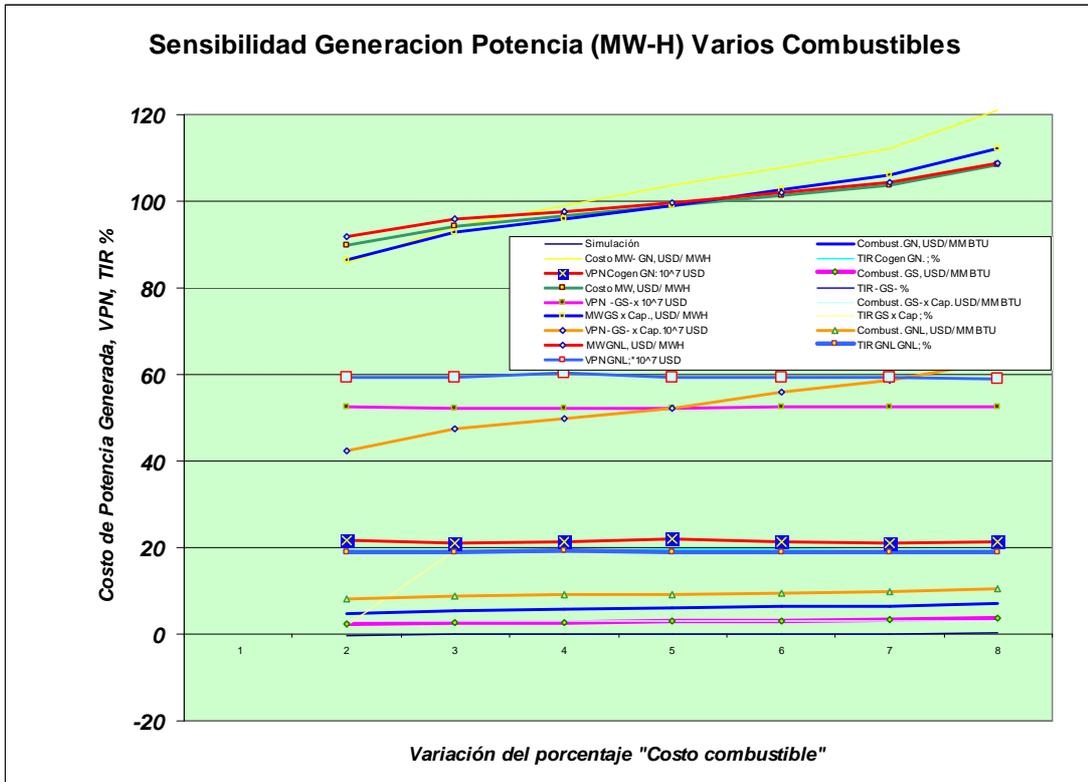


Fig. VIII.3. Sensibilidad Cogeneración Energía y Vapor combustibles RV, Coque, y Gas Natural del GNL



Cuadro VIII.2. Comparación Optimización de Generación de Energía Eléctrica en el mercado nacional

Opción	Unidades	Refinería Bicentenario Cogeneración Gasificación RV, ó Pet-Coke	Cogeneración Gasificación Coque	Evaporación GNL	Repotenciación	C. Rankine Existente con Lavado de Gases-
Lugar		Tula	Salamanca ó Tula	Manzanillo	Manzanillo	Salamanca
Pot. Nominal	MW-H	300	300	0	916	900
	TM/Hr	485	485	0	600	1600
Combustible	sustancia	Residuo de Vacío	Residuo de Vacío	GNL	Gas de GNL	Combustóleo
Emisión Atmosférica	SOx	SOx	SOx		SOx	SOx
Antes Cambio	PPM SOx/m3 aire	2725	2725	0	2725	2725
Después Cambio	PPM SOx/m3 aire	0	0	0	0	136
Antes Cambio	Tm/A SOx	38,827.3	38,827.3	0	116,482	116,482
Después Cambio	Tm/A SOx	0	0	0	0	5,450
Inversión	USD	3,293,900,000.0	443,286,830.7	738,494,820.0	1,043,200,000.0	61,300,000.0
TIR %	%	22.35%	21.8%	14.78%	15.86%	128.3% (*)
VPN	USD	6,303,608,300.0	1,655,273,524.0	358,065,000.00	769,215,000	603,203,000.0

(*) La TIR del Ciclo Rankine con lavado de Gases es producto de la utilidad que produce NO cambiar COPE por GN

(**) El VPN del Ciclo Rankine con lavado de Gases es producto de la utilidad que produce NO cambiar COPE por GN

Optimización de Generación de Energía Eléctrica en el mercado nacional

VIII.2 1. Objetivos que se cumplen:

1.- Optimización de los esquemas de generación de electricidad vapor

El objetivo (1), se cumple al demostrar que puede lograrse tasa interna de retorno (TIR) "agregada" del orden de 22%, en la sinergia de una nueva refinería y la cogeneración de vapor y potencia en esquema IGCC: consumiendo residuo de vacío (RV) ó coque ("petcoke") de planta "coquizadora". Mediante el logro de este objetivo, por optimización de los esquemas energéticos, se contribuye tanto con la "Sustentabilidad" como al "Control Climático"

2.- Solución al problema de "fondo de barril"

El objetivo (2) se cumple, mediante el empleo del residuo de vacío que se emplea para producción de combustóleo; mismo que, cuando baja su consumo "inunda las refinerías"; debido a que su consumo ha disminuido por restricciones ambientalistas en conformidad a la LGEPPA que, ordena el uso de combustibles limpios, limitando el

consumo del COPE. Con el cumplimiento de este objetivo se contribuye al “control climático, mediante la reducción de emisiones atmosféricas, al no emplear el residuo de vacío en producción de combustóleo.

3. Disminución de “emisiones contaminantes a la atmósfera”:

El objetivo (3) se cumple tanto en la aplicación de generación de potencia mediante el proceso IGCC que produce “generación de valor” por “recuperación de azufre” en forma integrada con la producción de “gas de síntesis” como combustible limpio, o mediante la incorporación de un sistema de “lavado de gases de chimenea (FGD)”. Así mismo, en términos cuantitativos y de conformidad al cuadro VIII.6, se reduce la emisión de contaminantes atmosféricos a razón de 900 PPM de SO_x/Nm³ de gases de combustión ó 13,000 Tm/año por cada 100 MW de generación de potencia. “En términos verdes”, la reducción de emisión de contaminantes atmosféricos, contribuye tanto a la Sustentabilidad como al “Control del cambio Climático”.

VIII.2.2. Resumen de Análisis de Sensibilidad de casos estudiados

En los gráficos anteriores se puede intepretar que:

- A) La “sensibilidad” de los valores de TIR “aumentan por incremento del costoo de “potencia generada” mayor a 87 USD/MW,
- B) El valor de la TIR, por aumento de inversión de capital, su efecto es menor”; de conformidad a los rangos de “sensibilidad” del incremento de -20% a +20% de capital comparado con el aumento de costo de potencia en ambos rangos de los parámetros.
- C). Es decir: la “rentabilidad” en términos de TIR será menos acentuada por variaciones a la alza de precios del mercado del acero, que por el alza de los precios del mercado de combustibles o los de energía (potencia) generada.

IX. Conclusiones del Estudio Optimización de generación de energía

IX.1. Aplican todas las conclusiones particulares hechas en cada capítulo, donde se analizan en detalle los pros y contras de cada uno de los sistemas de generación de potencia con: GN, gas del GNL, y cogeneración con Residuo de Vacío (RV) mediante el sistema IGCC.

IX.2. En síntesis resulta ventajoso cogeneración de potencia y vapor de alta presión con Residuales y coke o "Pet coke", sin embargo las plantas tipo IGCC son las de más largo tiempo de construcción, lo cual se refleja en un retraso de tiempo para inicio de generación de vapor y potencia, que refleja en retraso del tiempo de recuperación de la inversión respecto de los Ciclos Combinados que usan GN.

IX.3. El problema de la cogeneración empleando RV ó "petcoke"; la premisa, es establecer un esquema idóneo de financiamiento con recursos públicos, aprovechando la sinergia entre la industria petrolera y la industria eléctrica del sector energético del País.

IX.3. La "Tasa Interna de Retorno TIR, y el Valor Presente Neto VPN obtenidos para las opciones de cogeneración con Residuo de Vacío (RV) de 43.35% son las más altas y de paso contribuyen a la solución del problema del "fondo de barril" en PEMEX, reduciendo también el consumo de gas natural en 70 MM SCFD que es equivalente a generación de 300 MW. Por igual, la TIR 43.5% de cogeneración con "petcoke", es altamente ventajosa, a la par que resuelven los problemas de escasez de gas natural producto de la declinación natural de su producción.

IX.4. La generación de potencia a partir del "Gas de GNL" es la más costosa a Tasa Interna de Retorno (TIR) de 19.06% a 98 a 103.30 USCD/MW, produce Valor Presente Neto (VPN) igual al capital invertido en 20 años, en el proyecto "Repotenciación con gas natural del GNL contra 87 USCD/MW de otras opciones con gas natural. Sin embargo tiene la ventaja de aportar la seguridad estratégica de proveer "gas del GNL" ante un evento de reducción de gas natural de parte de Petróleos Mexicanos, tanto por la declinación natural de los yacimientos como por falta de inversiones idóneas para evitar tal situación estratégica indeseable

IX.5. El costo de interrupción (confiabilidad) de producción de energía en la Región Occidente, con la utilidad anual que produce la Terminal de Gas Natural Líquido pagaría la generación equivalente a 250 MW-H; resultando ventajoso en relación al sobre costo del precio del "gas del GNL". Esto, aunado al invaluable costo-beneficio, que significa la disponibilidad de ese combustible que da seguridad a su suministro y confiabilidad estratégica operacional a la Red Nacional de Energía Eléctrica.

IX.6. La opción de investigación aplicada para un "sistema de lavado de gases de caldera" permitiría continuar consumiendo combustoleo (COPE) respecto de cambiar su consumo por gas natural, resultando una TIR de 128.3%, que es muy ventajoso respecto al uso de COPE, y es la más alta e interesante tanto por su bajísima inversión

en comparación con las otras opciones, así como ¿contribuye a resolver “el problema de fondo de barril”¿ en la Refinería de Salamanca primero y en todas las demás refinerías de petróleo del sistema nacional, al consumirlo mediante una “Central Termoeléctrica” de la CFE, liberando en este caso 50 a 70 Millones de pies cúbicos de gas natural por día, que es incentivo ecológico; opción, que fue medido en la optimización global del sector petrolero a razón de 300 MMSCFD, que refleja la creación de valor ¿como renta! de 562 MM USD/Anuales.

IX.7. Es indispensable llegar a una convención rectora entre los factores del poder económico y los factores del poder político del orbe para establecer convenientes restricciones de crecimiento económico que sea verdaderamente sustentable, pues los límites finitos de la Tierra no permiten crecimiento ilimitado que nos lleve a un estado ecológico, verdaderamente insustentable y potencialmente irreversible a mediano plazo.

IX.8. Por igual, se hace énfasis en el sentido de aportación de evidencias “teóricas” que contribuye a resolver “la hipótesis convencional del “cambio climático””, en la que, “la producción de SO_x y NO_x por el consumo de combustibles fósiles junto a su producción de CO₂, sean la causa directa del “calentamiento global””; puede decirse que esos gases no tienen efecto nocivo directo en la sustentabilidad y/o sean la causa directa del “cambio climático”. Ya que, se considera que esos gases al precipitarse forman ácidos (H₂SO₄), y (HNO₃) que producen el fenómeno de “lluvia ácida”, lo cual ya en el suelo produciría la formación de sulfatos y nitratos de sodio, calcio, hierro, magnesio, etcétera que afectarían los cuerpos corrientes cercanos incrementando con ello las rocas sedimentarias de ese tipo junto con los carbonatos por el CO₂ fósil, “fenómeno geológico” que no se ha visto crecimiento en los afloramientos de esas rocas sedimentarias; por lo que la hipótesis, no se ha probado. Es posible que tanto nitratos como sulfatos así producidos, puedan estar funcionando como hiper-fertilizantes aumentando la flora cercana a lugares de “lluvia ácida”.

Índice de Figuras:

Figura Número	Descripción	Pág
II.1.1.	Esquema de arreglo típico de un "Ciclo Rankine"	16
II.1.2.	Esquema arreglo típico de Cogeneración con Residuales	17
II.1.3.	Balance Producción/Demanda Nacional de Gas Natural,	18
II.1.4.	Producción Real de Gas Natural en México	18
II.1.5.	Comparación costos generación potencia en función costo combustible	21
II.1.6.	Sinergia Cogeneración consumo PEMEX. Beneficios económicos/Año.	22
II.2.1	Diagrama General de Flujo de Refinería Convencional	39
II.2.2	Diagrama General de Flujo de Refinería Coquizadora	39
II.2.3.	Sensibilidad de TIR respecto cambio de precio del combustible	45
II.2.4.	Sensibilidad de VPN respecto cambio de precio del combustible	45
II.2.5.	Sensibilidad de TIR y VPN respecto cambio de precio del combustible	46
II.2.6.	Sensibilidad de TIR y VPN respecto cambio de precio de Capital.	46
III.1.	Esquema de Proceso para Cogeneración en Refinería Salamanca	56
III.2.1	Alternativa 1 Balance materia y energía + Coquizadora (incremento proceso):	57
III.2.2.	Alternativa 1: Incremento Proceso + Coquizadora. Balance Vapor	58
III.3.1.	Alternativa 2: Balance materia, energía y costos; IGCC con Residuo de Vacío	59
III.3.2.	Alternativa 2: Cogeneración IGCC con Residuo de Vacío; Balance Vapor	60
III.4.1.	Alternativa 3: Diagrama Balance materia, energía y, costos : IGCC con coque	61
III.4.2.	Alternativa 3 IGCC con coque. Balance de Vapor	62
IV.1.	Sinergia Terminal Gas Natural Líquido y Repotenciación Termoelectrícula Manzanillo	86
VI.1.	Diagrama de Flujo "Lavado de Gases de Caldera" Tecnología FGD	119
VIII.1	Sensibilidad TIR y VPN cambio precios sinergia Nueva Refinería + Cogeneración	151
VIII.2	Sensibilidad TIR y VPN cambio precios sinergia Nueva Refinería + Cogeneración	151
VIII.3	Sensibilidad Cogeneración Energía y Vapor con RV, Coque, Gas Natural del GNL	152

Índice de Cuadros

Cuadro Número	Descripción	Pág.
II.1.1	Comparativo de proyecciones de producción	19
II.1.2	Potencial de cogeneración PEMEX en función del vapor de proceso	20
II.1.3.	Potencial de cogeneración PEMEX en función energía eléctrica.	21
II.1.4	Resumen Financiero de "Casos" IGCC Cogeneración R. Salamanca, y Tula	23
II.1.5.	Gas de Síntesis GS Análisis, y Balance	24
II.1.6.	Balance de Materia y Energía	25
II.1.7.	Análisis Ciclos termodinámicos plantas IGCC, Cogeneración c/ coque, residuo vacío	26
II.1.8.	Ganancia IGCC, Cogeneración Con Residuo V.,Coque) Refinerías Salamanca y Tula	28
II.1.9.	Capital, Inversión física de opciones IGCC Cogeneración c/ residuales en	29
II.1.10	Tasa Interna de Retorno (TIR) Cogeneración Salamanca con coque; Cálculo de	30
II.1.11	Tasa Interna de Retorno (TIR) Cogeneración Tula c/Resido Vacío (RV); c álculo de	31
II.1.12	Valor Presente Neto (VPN) Cogeneración Salamanca con Coque 1; cálculo de	32
II.1.13	Valor Presente neto (VPN) Cogeneración Salamanca con Coque 2	32
II.1.14	Valor Presente Neto (VPN) Cogeneración Tula con Residuo de Vacío (RV)	33
II.1.15	Valor Presente neto (VPN) Cogeneración Tula c/ Residuo de Vacío	33
II.2.1.	Resumen de Optimización Refinería + Cogeneración (RV, Coque)	44
II.2.2.	Sensibilidad de Sinergia Refinería+ Cogeneración IGCC (Coque ó RV)	44
II. 2.3	Capital <inversión Física> Refinería + Cogeneración IGCC	47
II.2.4.	Costos Fijos Refinería + Cogeneración IGCC (Coque o RV)	48
II.2.5.	Costos Variables: Refinería Convencional: RV Coque + Cogeneración IGCC	49
II.2.6..	Ganancia en opciones de proceso IGCC c/Coque, y Residuo de Vacío (RV)	49
II.2.7.	Ganancia Refinería, producción proceso Convencional, Residuo Vacío y Coquizadora	50
II.2.8.	(TIR) "Tasa interna de Retorno caso Refinería Convencional <sola>	51
II.2.9.	VPN Valor Presente Neto Refinería Convencional <sola>	51
II.2.10	(TIR) Tasa Interna de Retorno caso Refinería Convencional + Residuo Vacío IGCC	52
II.2.11	(VPN) Valor Presente Neto caso Refinería Convencional + Residuo de Vacío IGCC	52
II.2.12	(TIR) Tasa Interna de Retorno caso Refinería Convencional + Coque IGCC	53
II.2.13	(VPN) Valor Presnte Neto; caso Refinería Convencional + Coque IGCC	53
III.1.	Turbogeneradores Actuales en Refinería Salamanca	64
III.2.	Calderas Actuales en Refinería Salamanca	65
III.3.	Balance de Energía eléctrica en a Refinería Capacidad de potencia en MW	66
III.4.	Calderas Refinería Salamanca Capacidad Toneladas/Hora (T/H)	66
III.5.	Capital y Costos de Operación /C. Fijos + C. Variables/	67
III.6.	Ganancia, Utilidad Bruta del Proceso = Costos Productos – Costos Insumos	68
III.7.	Tasa Interna de Retorno (TIR) Caso Residuo de Vacío (RV); Determinación	68
III.8.	Valor Presente Neto(VPN)y Anualidad(A) Caso Residuo (RV); Determinación	69
III.9.	Tasa Interna de Retorno (TIR) Caso Coque; Determinación de	69
III.10	Valor Presente Neto (VPN) y anualidades (A) Caso Coque; Determinación de	70
IV.1.	Balance de Masa y Energía de TGNL	77
IV.2.	Ganancia <Utilidad Bruta> de Operación de Terminal de Gas Natural Licuado (TGNL	79
IV.:3.	Capital por Inversión Inicial de infraestructura Terminal Gas Natural Líquido	80
IV.4.	Costos Fijos de la TGNL estructura, y determinación	82
III.5.	Costos Variables de la TGNL,, estructura y determinación	82
IV.6.	IV.6. Precios Evaluación TGNL	83
IV.7.	TIR Terminal Gas Natural Líquido; caso dos (2) Tanques Refrigerados, cálculo	84
IV.8.	VPN Terminal GNL Manzanillo; caso dos (2) Tanques Refrigerados, cálculo	84
IV.9.	TIR Terminal Gas Natural Líquido GNL Manzanillo; caso seis (6) Tanques Refrigerados,	85
IV.10.	VPN Terminal Gas Natural Líquido GNL Manzanillo; caso seis (6) Tanques Refrigerados,	85

Cuadro Número	Descripción	Pág.
IV.11	Diseño del Evaporador de Gas natural Líquido (GNL) @ MLTD Constante	94
IV.12.	Diseño del Evaporador de Gas natural Líquido (GNL) @ MLTD Variable	95
V.1	Resumen Proyecto Repotenciación Occidente	98
V.2.	Ganancia <utilidad> CT Manzanillo con GN "producido" del GNL	99
V.3.	Capital: Inversión Física en los proyectos	100
V.4.	TIR "Tasa Interna de Retorno" Manzanillo I	101
V.5.	VPN "Valor Presente Neto Manzanillo I	101
V.6.	TIR "Tasa Interna de Retorno CT Guadalajara; Repotenciación Occidente	102
V.7.	VPN "Valor Presente Neto" CT Guadalajara; Repotenciación Occidente	102
VI.1.	Análisis de combustión de calderas CT Salamanca casos I, y II	111
VI.2	Ganancia (Utilidad Bruta) de los casos analizado	112
VI.3.	Capital (Inversión Física(para la opción	113
VI.4.	Costos de Operación = "Costos Fijos más Costos Variables"	114
VI.5.	TIR Tasa Interna Retorno Sistema Desulfuración gases de caldera CT. Salamanca I	115
VI.6.	VPN Valor Presente Neto Sistema Desulfuración gases de caldera CT. Salamanca I	116
VI.7	TIR de Tasa Interna de Rendimiento Sistema lavado gases de caldera Salamanca II	117
VI.8.	VPN Valor Presente Neto SistemaDesulfuración" gases de chimenea" CSalamanca II	118
VIII.1	Resumen Optimización Sinergia" Nueva Refinería y cogeneración con Residuales	150
VIII.2	VIII.2. Comparación Optimización de Generación de Energía Eléctrica en el mercado	153

A- 1. Definiciones:

:B.T.U.

Unidad térmica británica deriva de sus siglas en inglés British Thermal Unit; cuya equivalencia es el calor necesaria para elevar un grado Fahrenheit a una libra de agua de 57 a 58°F

Caloría:

Unidad de calor, sistema "cgs": Equivalente al calor necesario para elevar un grado Centigrado 1.0 °C, a un gramo de agua en el intervalo 14.5 a 15.5 °C.

Ciclo

Serie de pasos de un proceso termodinámico que al reiniciarse repitiendo el "paso inicial" se establece un ciclo. Hay varios ciclos de interés para este estudio: "Ciclo Carnot", "Ciclo Termodinámico", "Ciclo Brayton", "Ciclo Rankine".

Ciclo Carnot"

Es el ciclo que tiene la máxima eficiencia termodinámica entre dos fuentes de calor Q1 y Q2 a temperatura inicial Ti o T1 y temperatura final Tf o T2, que pueda obtenerse por una máquina ideal entre dos reservorios de calor.

Ciclo Brayton

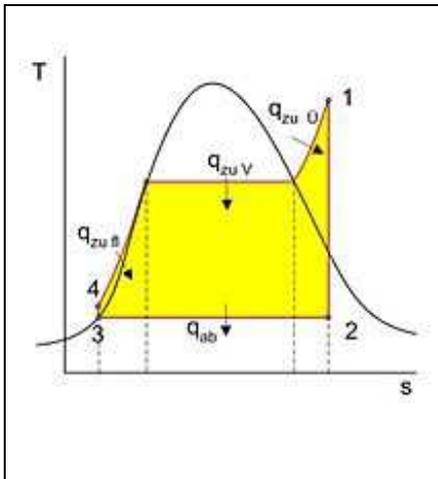
Es un ciclo termodinámico consistente, en su forma más sencilla, en una etapa de compresión adiabática (2-3), una etapa de calentamiento isobárico (2-3) ó (B-C) y una expansión adiabática (3-4) ó (C-D) de un fluido termodinámico compresible. Es un ciclo termodinámico de más amplia aplicación, al ser la base del motor de turbina de gas, por lo que el producto del ciclo puede ir desde un trabajo mecánico que se emplee para la producción de energía eléctrica en el caso de la industria eléctrica. Del que se aprovecha el flujo de gases de combustión en el que su calor (Q) se transforma en trabajo útil (W) en la turbina de gas. En la que temperatura inicial o de admisión del aire Ti, pasa a una Temperatura T2 producto de compresión adiabática que mediante adición de calor, pasa al punto 3 a temperatura T3. Los gases se expanden adiabáticamente pasando al punto 4 a temperatura T4; expansión (3-4) que es transformada en trabajo mecánico en la que T4 < T3 y, T4 > T2. Del punto 4, se produce el escape de los gases del ciclo para volver a iniciarlo en el punto 1 a T1.

<p>Ideal Negro; Real Azul</p>	<p>Ciclo Brayton f(Presión-Volumen)</p>
<p>C. Brayton; f(T-Temperatura, S-Entropía)</p>	<p>Ciclo Brayton f(Presión-Volumen)</p>

Ciclo Ranking.

Es el ciclo termodinámico que tiene como objetivo la conversión de calor en trabajo, constituyendo lo que se denomina un ciclo de potencia. Como cualquier otro ciclo, su

eficiencia está acotada por la eficiencia termodinámica de un ciclo de Carnot que operase entre los mismos focos térmicos (límite máximo que impone la Segunda Ley de la Termodinámica). El diagrama T-S de un ciclo de Rankine con vapor de alta presión sobrecalentado ilustra lo dicho.



El diagrama T-s de un ciclo Rankine ideal está formado por cuatro procesos: dos isoentrópicos y dos isobáricos. La bomba y la turbina son los equipos que operan según *procesos isoentrópicos* (adiabáticos e internamente reversibles). Caldera y Condensador operan sin pérdidas de carga, y por tanto sin caídas de presión (isobáricamente). Los estados principales del ciclo quedan definidos por los números del 1 al 4 en el diagrama T-s (1: vapor sobrecalentado; 2: mezcla bifásica de título elevado o vapor húmedo; 3: líquido saturado; 4: líquido subenfriado). Los procesos que tenemos son los siguientes para el ciclo ideal (procesos internamente reversibles):

- **Proceso 1-2:** Expansión isoentrópica del fluido de trabajo en la turbina desde la presión de la caldera hasta la presión del condensador. Se realiza en una turbina de vapor y se genera potencia en el eje de la misma.
-
- **Proceso 2-3:** Transmisión de calor a presión constante desde el fluido de trabajo hacia el circuito de refrigeración, de forma que el fluido de trabajo alcanza el estado de líquido saturado. Se realiza en un condensador que hace el (intercambio de calor), idealmente sin pérdidas de carga.
-
- **Proceso 3-4:** Compresión isoentrópica del fluido de trabajo en fase líquida mediante una bomba, lo cual implica un consumo de potencia. Se aumenta la presión del fluido de trabajo hasta el valor de presión en caldera.
-
- **Proceso 4-1:** Transmisión de calor hacia el fluido de trabajo a presión constante en la caldera. En la primera parte del proceso, el fluido de trabajo se calienta hasta la temperatura de saturación, luego tiene lugar el cambio de fase líquido-vapor y, finalmente se obtiene vapor sobrecalentado. Este vapor, de alta presión es utilizado en la turbina para generar la potencia del ciclo. La potencia neta del ciclo se obtiene descontando la consumida por la bomba,

Ciclo Combinado CC

Es el sistema termodinámico para generación de potencia mediante una turbina de gas que opera conforme ciclo Braytón, de cuyos gases de escape, se recupera el calor para la generación de vapor que impulsa una turbina de vapor que opera conforme el ciclo Rankine. La ventaja del ciclo combinado permite la obtención de 30% más de generación de potencia, sin tener mayor consumo de combustible que el empleado en la turbina de gas. Otra de las ventajas del ciclo combinado es que su construcción, sea, en el menor tiempo, respecto los demás recursos de generación de potencia disponibles. Lo que Permite a la vez, el inicio de recuperación de capital, en el menor tiempo posible

Ciclo Termodinámico

Es un proceso especial en el cual el estado inicial coincide con el estado final. Aunque un sistema ha vuelto a su estado original y ha terminado un ciclo, el estado de los alrededores pudo haber cambiado.

Cogeneración

Es el proceso termodinámico en el que se producen en forma simultánea dos formas de energía secundaria. Por lo general electricidad y vapor de agua a alta temperatura y presión, son las dos energías de cogeneración. De Conformidad a la Ley del Servicio Público Eléctrico "la cogeneración es la producción de electricidad y vapor por un particular para consumo propio, o por un grupo de consumidores privados; pudiendo inclusive, exportar algún excedente de hasta 30MW hacia la Comisión Federal de Electricidad. Ver Anexo "marco jurídico"

Equivalencia

Relación metrológica de unidades de magnitudes físicas que representan la longitud, masa, tiempo, calor, energía, trabajo, y potencia para el análisis de los fenómenos físicos de los ciclos termodinámicos. La relación de valores de magnitudes de interés para este estudio, se presentan en los cuadros del apartado "unidades magnitudes y equivalencias de este anexo. IGCC.

ES el sistema de generación de potencia que consume "gas de síntesis" obtenido del proceso de gasificación de combustibles residuales como coque o residuo de vacío. Combustible que alimenta un ciclo combinado integrado a la gasificación de residuales. Sus siglas derivan de su nombre en Inglés "Integrated Gas Combined Cycle". Ver mayores detalles en el anexo....

Joule

Unidad de energía, calor, trabajo del sistema internacional (SI) de medidas. Ver equivalencia en cuadros de Unidades y magnitudes físicas

Flujo de Efectivo

Método cálculo financiero para el análisis de viabilidad de proyectos. El flujo de efectivo involucra el análisis del cambio de valor del dinero en el tiempo mediante la aplicación del interés compuesto. El cual se emplea para determinar los valores de los parámetros "anualidad" (A), "tasa interna de retorno" (TIR), "valor presente neto" (VPN) en los que deriva el método de flujo de efectivo. A partir de su interpretación se determina la posible conveniencia de un proyecto que en función del valor de los parámetros desagregados, se determina la viabilidad de un proyecto.

Anualidad

Conocido también como "annuity" es un parámetro financiero de los pagos uniformes derivados del método de flujo de efectivo empleado en el análisis de viabilidad.

"Capital"

Es la inversión inicial I ó A) de capital de los recursos financieros que incluye todos los costos que conforman el "bien de capital" para instalación de la infraestructura, equipo, instrumentación, y tuberías de un proyecto industrial.

Costos Variables

Se determinan en función de la sumatoria de los costos de operación cuando el bien de capital opera, es decir la suma de los costos de: "consumo de potencia" servicios agua, aire, e "insumos de las operaciones" de acondicionamiento de los servicios

Costos fijos

Se determinan de la sumatoria de los costos de: mantenimiento en función de un "índice" de 3% del "Capital", "costo de administración" y, costo de "mano de obra".

Ganancia

Es el parámetro "ganancia" o utilidad que se aplica en la serie de "flujo de efectivo" de la evaluación de viabilidad técnico económica. Debido a que su con su valor: se "pagan" los costos de operación <fijos y variables>, la depreciación del capital y, el impuesto causado (ISR), tanto, para el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) o del "valor presente neto". La "ganancia" se calcula del balance de la diferencia de "ingresos menos egresos". Los ingresos los representa la cantidad de producto multiplicada por su precio menos los egresos del proceso representados por la sumatoria de insumos. El valor diario de la Ganancia se anualiza para que durante el flujo de efectivo, se le descuenten los costos de operación (C Op). Durante el tiempo de evaluación.

Tasa Interna de Retorno, ("TIR)

La **tasa interna de retorno** o **tasa interna de rentabilidad** (TIR) de una inversión, está definida como el promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión, y que implica el supuesto de una oportunidad para "reinvertir". En términos simples es la tasa de interés (o la tasa de descuento) con la cual el valor presente neto (VPN) es igual a cero. La TIR es un indicador de la rentabilidad de un proyecto. Se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte. El costo de oportunidad usado es la tasa de rentabilidad libre de riesgo al que se compara la TIR; si esta supera "la tasa de corte", se acepta la inversión, de no serlo, se rechaza.

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno

La *Tasa Interna de Retorno* TIR es "la tasa de descuento" que hace el Valor Presente Neto (VPN) o "Valor Actual Neto" (VAN), sea igual a cero

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I = 0$$

Donde:

F_t es el Flujo de Efectivo en el periodo t.

n es el número de periodos.

I es el valor de la inversión inicial.

La aproximación de Schneider usa el teorema del binomio para obtener una fórmula de primer orden:

$$(1 + TIR)^{-n} \approx 1 - n * TIR$$

$$I = F_1 * (1 - TIR) + F_2 * (1 - 2 * TIR) + \dots + F_n * (1 - n * TIR)$$

$$I - (F_1 + F_2 + \dots + F_n) = -TIR * (F_1 + 2 * F_2 + \dots + n * F_n)$$

De donde: *

$$TIR = \frac{-I + \sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n i * F_i}$$

Sin embargo, el cálculo obtenido puede estar bastante alejado de la TIR real.

Uso general de la TIR

Como ya se ha comentado anteriormente, la **TIR** o tasa de rendimiento interno, es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para conocer la factibilidad de diferentes opciones de inversión.

El criterio general para saber si es conveniente realizar un proyecto es el siguiente:

- Si $TIR \geq r \rightarrow$ Se aceptará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (el costo de oportunidad).
- Si $TIR < r \rightarrow$ Se rechazará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.

r representa el costo de oportunidad.

Dificultades en el uso de la TIR

- **Criterio de aceptación o rechazo.** El criterio general sólo es cierto si el proyecto es del tipo "*prestar*", es decir, si los primeros flujos de caja son negativos y los siguientes positivos. Si el proyecto es del tipo "*pedir prestado*" (con flujos de caja positivos al principio y negativos después), la decisión de aceptar o rechazar un proyecto se toma justo al revés:
 - - Si $TIR > r \rightarrow$ Se rechazará el proyecto. La rentabilidad que nos está requiriendo este préstamo es mayor que nuestro costo de oportunidad.
 - Si $TIR < r \rightarrow$ Se aceptará el proyecto.

Valor Presente Neto, "VPN"

Aplican las premisas del concepto "TIR". El **Valor Presente Neto**, se calcula al 10% de interés anual, que debe ser superior a la "tasa LIBOR" pero menor que la "tasa interna de retorno". El VPN significa el valor de "capital actual" que podría obtenerse, después de la amortización del "costo de capital", y del pago de su "depreciación en línea recta"; El VPN se obtiene del flujo de efectivo que produce la ganancia a la que se le descuentan los "costos de operación" <fijos y variables> menos y 32% de impuesto sobre la renta. Con el VPN, se refleja el tiempo del retorno del "costo de capital" invertido para cada opción.

Leyes de la Termodinámica.

Primera Ley de la Termodinámica

Existe para cada sistema termodinámico una propiedad llamada energía. El cambio de energía de un sistema es igual al trabajo mecánico realizado en el sistema en un proceso adiabático. En un proceso no adiabático, el cambio en la energía es igual al calor agregado al sistema menos el trabajo mecánico realizado por el sistema.

Es también conocida como *principio de conservación de la energía* para la termodinámica «en realidad el primer principio dice más que una ley de conservación», establece que si se realiza trabajo sobre un sistema o bien éste intercambia calor con otro, la *energía interna* del sistema cambiará. Visto de otra forma, esta ley define al calor Q como energía necesaria que intercambia el sistema para compensar las diferencias entre trabajo y energía interna. Fue propuesta por Nicolas Léonard Sadi Carnot en 1824, en su obra *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego, y sobre las máquinas adecuadas para desarrollar esa potencia*, en la que expuso los dos primeros principios de la termodinámica. Esta obra fue incomprendida por los científicos de su época, y más tarde fue utilizada por Rudolf Loreto Clausius y Lord Kelvin para formular, de una manera matemática, las bases de la termodinámica.

La ecuación general de la conservación de la energía es la siguiente:

$$E_{entra} - E_{sale} = \Delta E_{sistema}$$

Que aplicada a la termodinámica teniendo en cuenta el criterio de signos termodinámico, queda de la forma:

$$\Delta U = Q - W$$

Donde:

- U es la energía interna del sistema (aislado),
- Q es la cantidad de calor, energía en transferencia aportada al sistema y
- W es el trabajo realizado, que entra o sale del sistema.

Esta última expresión es igual de frecuente encontrarla en la forma

$$\Delta U = Q + W.$$

Ambas expresiones, aparentemente contradictorias, son correctas y su diferencia está en que se aplique el convenio de signos IUPAC o el Tradicional (véase criterio de signos termodinámico).

La primera ley en términos de entalpía

Comenzamos con la primera ley en forma diferencial

$$dU = \delta Q - \delta W \tag{50}$$

valida para cualquier proceso, despreciando el cambio en la energía cinética ΔE_k y el de la energía potencial ΔE_p , y sustituimos PdV para establecer dW cuando se asume un proceso reversible.

$$dU = \delta Q - PdV \tag{51}$$

Un punto complicado, y que será clarificado posteriormente, es que todos los procesos reversibles son cuasiestáticos pero no todos estos, son reversibles, 4].

Un proceso suficientemente lento tal que se aplica la ecuación

$$\delta W_{rev} = PdV \tag{52}$$

Se denomina frecuentemente cuasiestático, y los estados a largo de la trayectoria de tal proceso son referidos como cuasiestáticos. Si el proceso es suficientemente lento así que éste puede ser visto como una secuencia de estados de equilibrio, entonces el proceso es reversible. Si por alguna razón, los estados intermedios durante el proceso cuasiestático no son mantenidos como estados de equilibrio (*i.e.* si cada estado no puede ser representado como un punto en el plano bidimensional como el diagrama P-v) entonces el proceso es no reversible y se le denomina proceso irreversible.

La definición de entalpía

$$H = U + PV \tag{53}$$

puede ser diferenciada aplicando la regla de la cadena al término PV

$$dH = dU + PdV + VdP \tag{54}$$

sustituyendo $dU = \delta Q - \delta W$ tomada de la Primera Ley, obtenemos:

$$dH = \delta Q - \delta W + PdV + VdP \tag{55}$$

válida para cualquier proceso. Por otro lado, para cualquier proceso reversible tal que

$$\delta W = PdV \text{ se tiene}$$

$$dH = \delta Q + VdP$$

Aplica en el caso: “Estrangulamiento de un gas, proceso adiabático permanente”; gas fluyendo a través de una válvula u otra restricción

En la figura (14) se muestra un tubo con un gas que fluye en la dirección de las flechas y que pasa a través de una válvula. Deseamos saber la relación entre las propiedades aguas-arriba de la válvula, denotado con el subíndice "1" y las propiedades aguas-abajo denotadas por el subíndice "2".

El sistema se define como una unidad de masa de gas en los siguientes dos estados (teniendo en cuenta que la correcta elección del sistema es crítica para solucionar de manera eficaz el problema). En el estado inicial el gas está inicialmente aguas-arriba de la válvula y apenas a través de ésta. En el estado final el gas está aguas-abajo de la válvula y apenas a través de ésta. Las figuras a la izquierda de la figura, muestran la configuración del gas antedicha. En términos de comportamiento del sistema, podemos sustituir el flujo de fluido del sistema por dos pistones que ejercen la misma presión que el fluido ejerce, como lo ilustra la figura 14

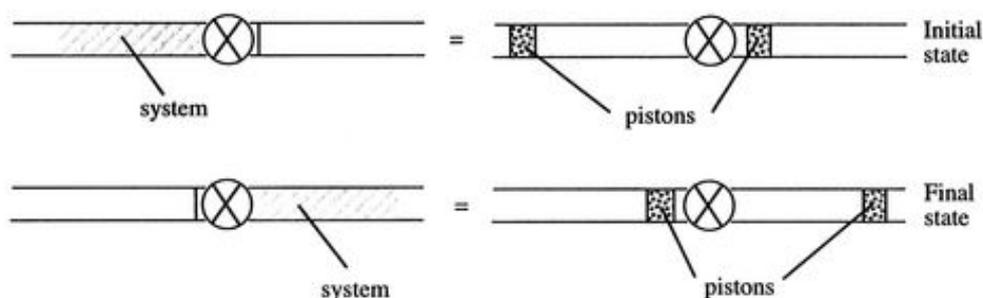


Figure 14: Equivalencia del sistema mediante pistones

El proceso es adiabático, y considerando que los cambios en la energía potencial y cinética son insignificantes, podemos escribir la primera ley como:

$$\Delta U = -W \quad (36)$$

y tratándose de un proceso reversible podemos escribir:

$$W = P_2 V_2 - P_1 V_1 \quad (37)$$

tal que

$$U_2 + P_2 V_2 = U_1 + P_1 V_1 \quad (38)$$

Es decir, el estado inicial y el estado final del sistema tienen el mismo valor que la cantidad $U + PV$. Para el caso estudiado ya que nos ocupamos en un análisis por unidad de masa, el valor es $U + Pv$. Esta cantidad es definida como "Entalpía" y se denota generalmente por " H " y en términos de propiedades específicas, la entalpía por unidad de masa es

$$h = u + Pv = u + P/\rho \quad (39)$$

La entalpía (H) es una función de estado del sistema y, presenta unidades de energía como Joules o bien h en Joules por kilogramo. En términos simples, podemos pensar en la entalpía como: "cuando evaluamos la energía de un objeto de volumen V debemos tener presente que el objeto tuvo que "empujar" los alrededores para ocupar su propio espacio". Con la presión P en el objeto. El trabajo requerido para hacer un lugar para sí mismo está dado por PV . Esto ocurre para cualquier objeto o sistema y no se puede despreciar (la fuerza ejercida por la atmósfera en un metro cuadrado es equivalente al de una masa de 10 toneladas). Así, la energía total de un cuerpo es su energía interna más la energía adicional que tiene el volumen V a una presión P dada. Llamamos a esta energía total la entalpía $H = U + PV$;

Segunda ley de la termodinámica.

Esta ley, trata la degradación de la calidad de la energía en uso y; de manera general considera que: la cantidad de entropía (S) del universo tiende a incrementarse en el tiempo.² Esta, es una de las leyes más importantes de la física; pudiéndose formular de muchas maneras todas llevan a la explicación del concepto de irreversibilidad y al de entropía. Este último concepto, cuando es tratado por otras ramas de la física, sobre todo por la mecánica estadística y la teoría de la información, queda ligado al grado de desorden de la materia y la energía de un sistema. La termodinámica, tampoco ofrece una explicación física de la entropía, que queda asociada a la cantidad de energía no utilizable de un sistema. Sin embargo, esta interpretación meramente fenomenológica de la entropía es totalmente consistente con sus interpretaciones estadísticas. Así, tendrá más entropía el agua en estado gaseoso con sus moléculas dispersas y alejadas unas de las otras que la misma en estado líquido con sus moléculas más juntas y más ordenadas.

El segundo principio de la termodinámica dictamina que si bien la materia y la energía no se pueden crear ni destruir, sí que se transforman, y establece el sentido en el que se produce dicha transformación. Sin embargo, el punto capital del segundo principio es que, la teoría termodinámica, se refiere única y exclusivamente a estados de equilibrio. Toda definición, que de él se extraiga sólo podrá aplicarse a estados de equilibrio, por lo que, parámetros tales como la temperatura o la propia entropía quedarán definidos únicamente para estados de equilibrio. Así, según el segundo principio, cuando se tiene un sistema que pasa de un estado de equilibrio A, a otro B, la cantidad de entropía en el estado de equilibrio B será la máxima posible, e inevitablemente mayor a la del estado de equilibrio A. Evidentemente, el sistema sólo hará trabajo cuando esté en el tránsito del estado de equilibrio A al B y no cuando se encuentre en uno de estos estados. Sin embargo, si el sistema era cerrado, su energía y cantidad de materia no han podido variar; si la entropía debe de aumentarse en

cada transición de un estado de equilibrio a otro; el desorden interno del sistema debe aumentar, se ve claramente un límite natural: cada vez costará más extraer la misma cantidad de trabajo, pues según la mecánica estadística el desorden equivalente debe aumentar casi exponencialmente.

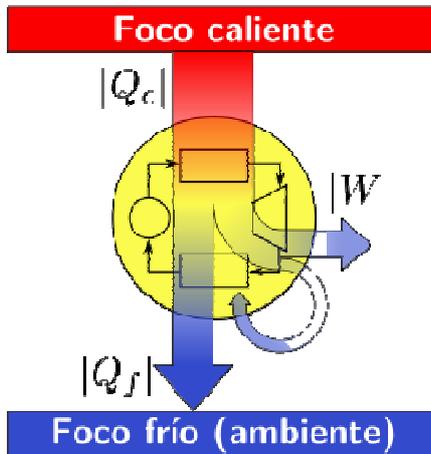


ilustración de la segunda ley mediante una máquina térmica

[Definición axiomática

La definición formal del segundo principio de la termodinámica establece que:

En estado de equilibrio, los valores que toman los parámetros característicos de un sistema termodinámico cerrado son tales que maximizan el valor de una cierta magnitud que está en función de dichos parámetros, llamada entropía.

3

La entropía de un sistema es una magnitud física abstracta que la mecánica estadística identifica con el grado de desorden molecular interno de un sistema físico. La termodinámica clásica, en cambio, la define como la relación entre el calor transmitido y la temperatura a la que se transmite. La termodinámica axiomática, en cambio, define a la entropía como una cierta función *a priori*, de forma desconocida, que depende de "parámetros característicos" del sistema, y que sólo puede definirse para los estados de equilibrio del sistema. Dichos parámetros característicos se establecen a partir de un postulado derivado del primer principio de la termodinámica, llamado a veces el principio de estado. Según éste, el estado de equilibrio de un sistema queda definido por medio de la energía interna del sistema, su volumen y composición molar. Cualquier otro parámetro termodinámico, como podrían serlo la temperatura o la presión, se define como una función de dichos parámetros. Así, la entropía será también una función de dichos parámetros.

El segundo principio de la termodinámica establece que dicha entropía sólo puede definirse para estados de equilibrio termodinámico, y que de entre todos los estados de equilibrio posibles –que vendrán definidos por los parámetros característicos, sólo se puede dar el que, de entre todos ellos, maximice la entropía. Las consecuencias de este enunciado son sutiles: al considerar un sistema cerrado tendente al equilibrio, los estados de equilibrio posibles incluyen todos aquellos que sean compatibles con los límites o contornos del sistema. Entre ellos se encuentra, evidentemente, el estado de equilibrio de partida. Si el sistema varía su estado de equilibrio desde el de partida a otro, ello es debido a que la entropía del nuevo estado es mayor que la del estado inicial; si el sistema cambia de estado de equilibrio, su entropía sólo puede aumentar. Por tanto, la entropía de un sistema aislado, sólo puede incrementarse. Suponiendo que el universo partió de un estado de equilibrio inicial, que en todo instante de tiempo el universo no se aleja demasiado de ese equilibrio termodinámico inicial, y que el universo es un sistema aislado, el segundo principio de la termodinámica puede formularse de la siguiente manera; La cantidad de entropía del

universo tiende a incrementarse con el tiempo. Sin embargo, la termodinámica axiomática no reconoce al tiempo como una variable termodinámica.

Formalmente, la entropía sólo puede definirse para estados en equilibrio. En el proceso que va de un estado de equilibrio a otro no hay estados de equilibrio, por lo que la entropía en dichos estados de no-equilibrio no puede definirse sin incurrir en inconsistencias formales dentro de la propia termodinámica. Así, la entropía no puede ser una función del tiempo, por lo que hablar de variaciones de la misma en el tiempo es formalmente incorrecto. Cuando se hace, es debido a que se ha considerado que en el proceso de un estado de equilibrio a otro se ha pasado por infinitos estados intermedios de equilibrio, procedimiento que permite introducir al tiempo como parámetro. En tanto en cuanto el estado de equilibrio final sea aquél de máxima entropía posible, no se habrá incurrido en una inconsistencia frontal por cuanto dichos estados de equilibrio intermedios no han afectado al único real (el final).

La formulación clásica defiende que el cambio en la entropía S es siempre mayor o igual — exclusivo para procesos reversibles — que la transferencia de calor Q producida dividido por la temperatura absoluta de equilibrio T del sistema:⁴

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

[Descripción general

Suponiendo estados iniciales y finales de equilibrio, el principio establece que los sistemas físicos saltan de un estado con cierto *orden* a un estado menos *ordenado*, aumentando su entropía. Por lo que, el proceso inverso es imposible. El enunciado axiomático del segundo principio pone inmediatamente de manifiesto su principal característica: se trata de una de las pocas leyes ontológicas de la Física, en tanto que distingue, de manera general, aquellos procesos y estados físicos que son posible de aquellos que no lo son; esto es, el segundo principio permite determinar la posibilidad de un proceso o estado. De hecho, en un sentido histórico el segundo principio surgió, en plena *Revolución Industrial* en el contexto de las máquinas térmicas como una explicación empírica de por qué éstas se comportaban de una manera determinada y no de otra. En efecto, aunque parezca trivial, siempre se observaba, por ejemplo, que para calentar una caldera era necesario emplear combustible ardiendo a mayor temperatura que la de la caldera; sin embargo, jamás se observaba que la caldera se calentara tomando energía de su entorno, el cual a su vez se enfriaría. De hecho, podría razonarse que, en virtud del primer principio de la termodinámica, nada impide que, espontáneamente, sea posible extraer calor de un cuerpo frío, por ejemplo a 200K, para transmitírselo a otro caliente, por ejemplo a 1000K: basta con que se cumpla el balance energético correspondiente, a consecuencia del cual el cuerpo frío se enfriaría aún más, y el caliente se calentaría más aún. Sin embargo, esto, es contrario a toda experiencia; y aunque parezca común y hasta trivial, tenía un extraordinario impacto en las máquinas empleadas en la Revolución Industrial: por ejemplo, de no haber sido así, las máquinas podrían funcionar sin necesitar combustible, pues la energía necesaria podría transferirse de manera espontánea del resto del ambiente. Sin embargo, las máquinas térmicas parecían obedecer una determinada ley, que se materializó en el segundo principio: para producir trabajo mecánico, era necesario aportar energía adicional (el combustible), que a su vez era siempre mayor que la cantidad de trabajo extraído. El concepto de máquina térmica aparece así íntimamente ligado al enunciado inicial del segundo principio.

“Una máquina térmica es aquella que provee de trabajo eficaz gracias a la diferencia de temperaturas entre dos cuerpos”. Dado que cualquier máquina termodinámica requiere una diferencia de temperatura, se deriva pues que ningún trabajo útil puede extraerse de un sistema aislado en equilibrio térmico, esto es, se requerirá de la alimentación de energía del exterior. Ese principio empírico, extraído de la observación

continua de cómo funciona el universo, constituye uno de los primeros enunciados del Segundo Principio de la Termodinámica: *es imposible todo proceso cíclico cuyo único resultado sea la absorción de energía en forma de calor procedente de un foco térmico (depósito o reservorio térmico), y la conversión de toda esa energía en forma de calor, en energía en forma de trabajo.*

[Enunciados clásicos

Enunciado de Clausius.

«Es imposible un proceso cuyo único resultado sea la transferencia de energía en forma de calor de un cuerpo de menor temperatura a otro de mayor temperatura».

Enunciado de Kelvin-Planck.

«Es imposible todo proceso cíclico cuyo único resultado sea la absorción de energía en forma de calor procedente de un foco térmico (reservorio o depósito térmico), y la conversión de toda ésta energía en forma de calor, en energía en forma de trabajo».

Enunciado de John De Saint.

«Para todo sistema potencialmente cíclico es imposible una única transferencia de calor tal que dicho proceso sea recíproco y eventualmente reversible.».

Algunos corolarios del principio, empleados como enunciados alternativos, serían:

«Ningún proceso cíclico es tal que el sistema en el que ocurre y su entorno puedan volver a la vez al mismo estado del que partieron».

Corolario del principio, debido a Clausius.

«En un sistema aislado, ningún proceso puede ocurrir si a él se asocia una disminución de la entropía total del sistema.»

Visualmente, el segundo principio se puede expresar imaginando una caldera de un barco de vapor. Ésta no podría producir trabajo si no fuese porque el vapor se encuentra a temperaturas y presión elevadas comparados con el medio que la rodea.

Matemáticamente, se expresa así:

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

donde S es la entropía y el símbolo de igualdad sólo existe cuando la entropía se encuentra en su valor máximo (en equilibrio).

Esta ley “toma en cuenta” la dirección en la que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos y, por lo tanto, la imposibilidad de que ocurran en el sentido contrario. También establece, la imposibilidad de convertir totalmente la energía de un tipo en otro sin pérdidas. De esta forma, la segunda ley impone restricciones para las transferencias de energía que hipotéticamente pudieran llevarse a cabo teniendo en cuenta sólo el primer principio. Esta ley apoya todo su contenido aceptando la existencia de una magnitud física llamada **entropía**, de tal manera que, para un sistema aislado (que no intercambia materia ni energía con su entorno), la variación de la entropía siempre debe ser mayor que cero.

Debido a esta ley también se tiene que el flujo espontáneo de calor es unidireccional siempre; desde los cuerpos de mayor temperatura hacia los de menor temperatura, hasta lograr un equilibrio térmico.

La aplicación más conocida es la de las máquinas térmicas, que obtienen trabajo mecánico mediante aporte de calor de una fuente o foco caliente, para ceder parte de este calor a la fuente o foco o sumidero frío. La diferencia entre los dos calores tiene su equivalente en el trabajo mecánico obtenido.

Existen numerosos enunciados equivalentes para definir este principio, destacándose el de Clausius y el de Kelvin

¿Qué se entiende por termodinámica?

Debe quedar claro que la **termodinámica** es una ciencia y, quizá la herramienta más importante en la ingeniería, ya que se encarga de describir los procesos que implican cambios en temperatura, la transformación de la energía, y las relaciones entre el calor y el trabajo.

La **termodinámica** está íntimamente relacionada con la **mecánica estadística**, de la cual se pueden derivar numerosas relaciones termodinámicas. Es importante tener en mente que la termodinámica estudia los sistemas físicos a nivel macroscópico, mientras que la mecánica estadística suele hacer una descripción microscópica de los mismos.

La termodinámica es una **ciencia factual** que estudia hechos o auxiliándose de la observación y la experimentación por lo que tiene que apelar al examen de la **evidencia empírica** para comprobarlos. Así, la termodinámica puede ser vista como la generalización de una enorme cantidad de evidencia empírica.

Quizá la complicación principal del análisis termodinámico como herramienta en ingeniería se deba a que es práctica común restringir los estudios a sistemas simples, definidos como sistemas que son microscópicamente homogéneos, isotropos, y desprovistos de carga eléctrica, y son suficientemente grandes para que los efectos de frontera puedan ser ignorados. Básicamente la termodinámica en la ingeniería se enfoca en la **producción de trabajo**, a menudo bajo la forma de **energía cinética** a partir de calor como resultado de los procesos de la combustión, aunque no siempre es este el caso.

Definiciones de conceptos, e ideas fundamentales de la termodinámica

Como toda ciencia, la termodinámica involucra un **modelado matemático** del mundo real. Para que sus deducciones matemáticas sean consistentes, necesitamos obtener **definiciones exactas** de los conceptos básicos.

Modelo del Medio Continuo:

La **materia** se puede describir a nivel molecular (o microscópico) usando las herramientas de la **mecánica estadística** y de la **teoría cinética**. Para la ingeniería es suficiente conocer la información como un **promedio**, es decir, una descripción macroscópica y no una descripción microscópica.

La mayor parte de los problemas en ingeniería están relacionados con **dimensiones físicas** y en la mayoría de los casos se presume un **medio continuo** donde las variaciones de las propiedades físicas que constituyen el medio son tan suaves, que se puede utilizar el cálculo diferencial para el análisis. Se puede decir que el término **medio continuo** se usa tanto para designar un modelo matemático, como cualquier porción de material cuyo comportamiento se puede describir adecuadamente por ese modelo. Existen tres grandes grupos de medios continuos: **Mecánica del sólido rígido**, **Mecánica de sólidos deformables**, **Mecánica de fluidos**, (que distingue a su vez entre: **Fluidos compresibles** y **Fluidos incompresibles**).

El concepto de Sistema

Un **sistema** es un conjunto de elementos con relaciones de interacción e interdependencia que le confieren entidad propia al formar un todo unificado. Un **sistema** puede ser cualquier objeto, cualquier cantidad de materia, cualquier región del espacio, etc., seleccionado para estudiarlo y aislarlo (mentalmente) de todo lo demás. Así todo lo que lo rodea es entonces el entorno o el medio donde se encuentra el sistema (Abbot, 1991). El sistema y su entorno forman el universo, como se muestra en la **Figura 3**.

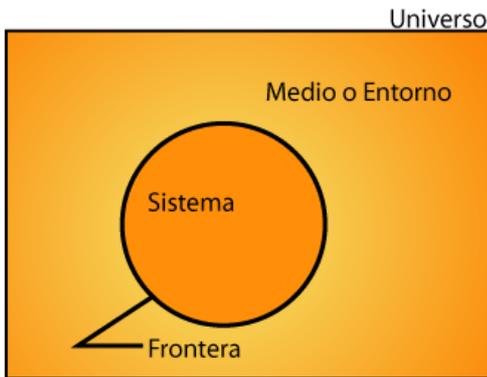


Figura 3. Sistema, Medio, Frontera y Universo

en termodinámica.

La envoltura imaginaria que encierra un sistema y lo separa de su entorno se llama **frontera del sistema** y puede pensarse que tiene propiedades especiales que sirven para **aislar el sistema de su entorno** o para **permitir la interacción de un modo específico entre el sistema y su ambiente**. Es muy importante definir la frontera del sistema como una **superficie** y no otro sistema, debe quedar claro que el espesor de una superficie es matemáticamente cero por lo que la frontera no puede contener materia u ocupar algún lugar en el espacio. El valor de una propiedad que es medida en el punto exacto de la frontera, es el valor del sistema así como su entorno, ya que el sistema y el entorno están en contacto en ese punto.

Los **sistemas termodinámicos** se pueden clasificar como: **aislados, cerrados y abiertos**.

Sistema aislado es el sistema que no puede intercambiar materia ni energía con su entorno y este es un modelo imaginario cuya frontera o límite del sistema impide cualquier tipo de intercambio como se muestra en la **Figura 4**.

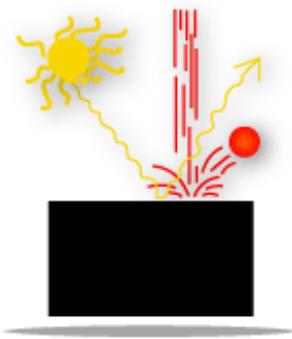


Figura 4. Sistema aislado.

El **sistema cerrado** es el sistema que sólo puede intercambiar energía con su entorno, pero no materia, es decir, aquel cuya frontera admite únicamente el intercambio de energía como se muestra en la **Figura 5**.

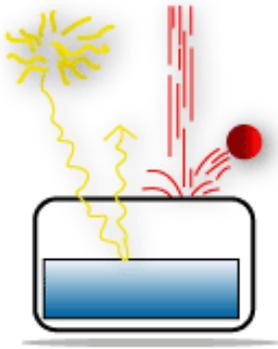


Figura 5. Sistema cerrado.

En la **Figura 6** se muestra lo que se denomina sistema abierto que es el sistema que puede intercambiar materia y energía con su entorno.

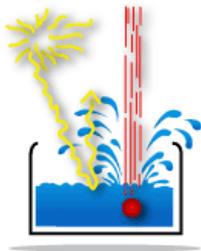


Figura 6. Sistema Abierto.

Al trabajar con sistemas tales como motores es útil definir el sistema dentro de un volumen identificable ya sea fijo o deformable donde se presentan tanto flujo de entrada como flujo de salida. Esto se llama un **volumen de control** como se muestra en la **Figura 7**

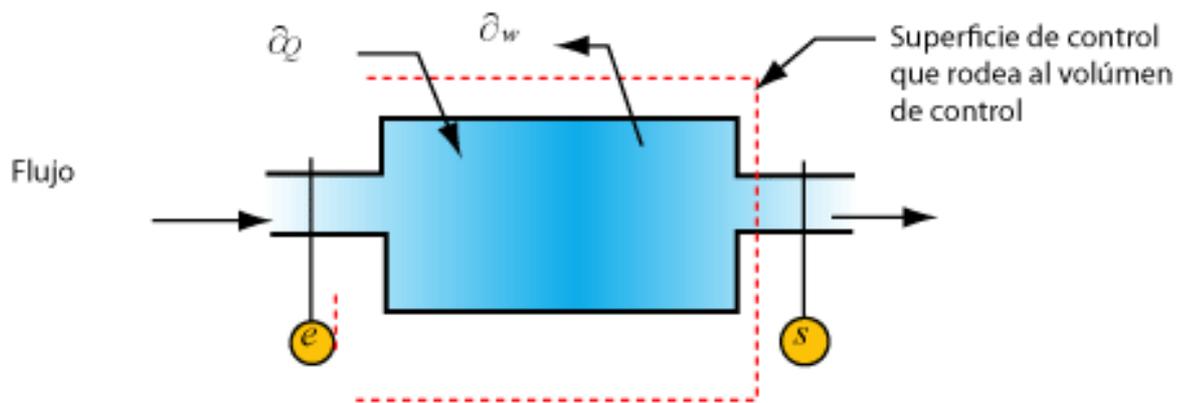


Figura 7. Volumen de Control y Superficie de Control.

Concepto de Estado

La condición o existencia de un **sistema termodinámico** en un punto particular y en un determinado instante de tiempo se describe por un conjunto interrelacionado de cantidades susceptibles de ser medidas llamadas **propiedades termodinámicas**. Nos referimos a la condición descrita por dichas propiedades como **Estado**.

Un punto importante que requiere ser resaltado es que no todas las cantidades (valores numéricos) que el ingeniero, el físico o alguien más, puede calcular o medir en conexión con cierto sistema son propiedades termodinámicas. Las **propiedades termodinámicas** son sólo aquellas cantidades cuyos valores numéricos no dependen de la historia del sistema, es decir, son independientes de la ruta seguida entre dos diferentes estados. Las cantidades como **presión** y **temperatura** son propiedades termodinámicas ya que sus valores

dependen estrictamente de la condición instantánea durante la cual son medidos. Como ejemplo de cantidades que **NO** son propiedades termodinámicas son **trabajo, calor, transferencia de masa, transferencia de entropía, generación de entropía, pérdida de trabajo disponible, pérdida de exergía** y muchas otras.

Las propiedades termodinámicas cuyos valores dependen del tamaño del sistema son llamadas **propiedades extensivas** (por ejemplo: volumen, entropía, energía interna). Las propiedades denominadas **propiedades intensivas** son aquellas que no dependen del tamaño del sistema (por ejemplo: presión, temperatura).

Es claro entonces que las propiedades extensivas son aditivas, así, si el sistema se divide en un número de subsistemas, el valor de la propiedad para el sistema entero es igual a la suma de los valores de los subsistemas. El volumen es pues una propiedad extensiva.

Por otro lado las propiedades intensivas no dependen de la cantidad presente de materia y éstas no pueden ser obtenidas como la suma de todos los subsistemas, como es el caso de la temperatura. La colección de todas las propiedades intensivas de un sistema constituye un **Estado Intensivo**.

Una cierta **Fase** de un sistema es la colección de todas las partes del sistema que tienen el mismo estado intensivo y los mismos valores por unidad de masa de las propiedades extensivas. En el caso de un sistema bifásico, trifásico, o multifásico es posible asociar a cada estado de agregación molecular las propiedades intensivas que lo describen. Como ejemplo la mezcla vapor, vapor-agua, y agua de un generador de vapor es un sistema multifásico donde a cada estado de agregación molecular le corresponde una fase.

Las propiedades específicas son propiedades extensivas por unidad de masa y comúnmente se denotan por letras minúsculas. Por ejemplo el **volumen** específico v es:

$$v = \frac{V}{m} \quad (1)$$

donde V es el volumen y m es la masa del sistema.

De esta manera **las propiedades específicas son intensivas** porque no dependen del tamaño del sistema.

Las propiedades de un **sistema simple** son uniformes en todas partes. Sin embargo, las propiedades de un sistema pueden variar de un punto a otro punto. Generalmente podemos analizar un sistema subdividiéndolo (ya sea conceptual o en la práctica) en un número de sistemas simples en los cuales las propiedades se asumen como uniformes.

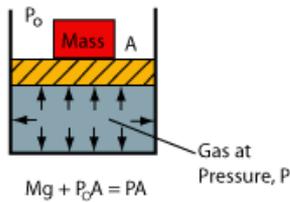
Es muy importante observar que las propiedades termodinámicas describen un estado solamente cuando el sistema está en equilibrio. Sin embargo cualquier sistema que muestre un conjunto de variables identificables tiene un estado termodinámico, ya sea que esté o no en equilibrio [Abbot, 199, Ness 1983].

Concepto de Equilibrio

Un **sistema** está en **equilibrio termodinámico** cuando no se observa ningún cambio en sus propiedades termodinámicas a lo largo del tiempo. Los estados de equilibrio son, por definición, estados independientes del tiempo (ver **Figura 8**).

Un sistema en equilibrio termodinámico satisface:

1. **Equilibrio mecánico** (ningunas fuerzas desequilibradas).
2. **Equilibrio térmico** (ningunas diferencias de la temperatura).
3. **Equilibrio químico**.



Equilibrio mecánico

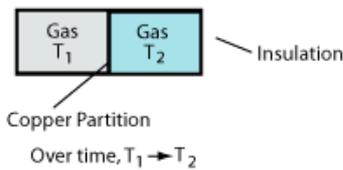


Figura 8. Equilibrio mecánico y térmico.

Un estado de **no equilibrio** es un estado con intercambios netos de masa o energía y sus parámetros característicos dependen en general de la posición y del tiempo. Si no dependen del tiempo, pero necesitan la intervención del entorno para mantener sus valores se dice que se trata de un **estado estacionario fuera del equilibrio**.

Proceso:

El concepto **proceso** se refiere al cambio de estado desde un estado inicial hasta un estado final. Proceso significa conocer no sólo los estados final e inicial sino las interacciones experimentadas por el sistema mientras está en comunicación con su entorno; ejemplo: transferencia de: trabajo, calor, masa, entropía) [Bejan, 2006].

La **trayectoria o ruta del proceso** es la historia o la sucesión de estados que ha seguido o recorrido el sistema desde el estado inicial hasta el estado final.

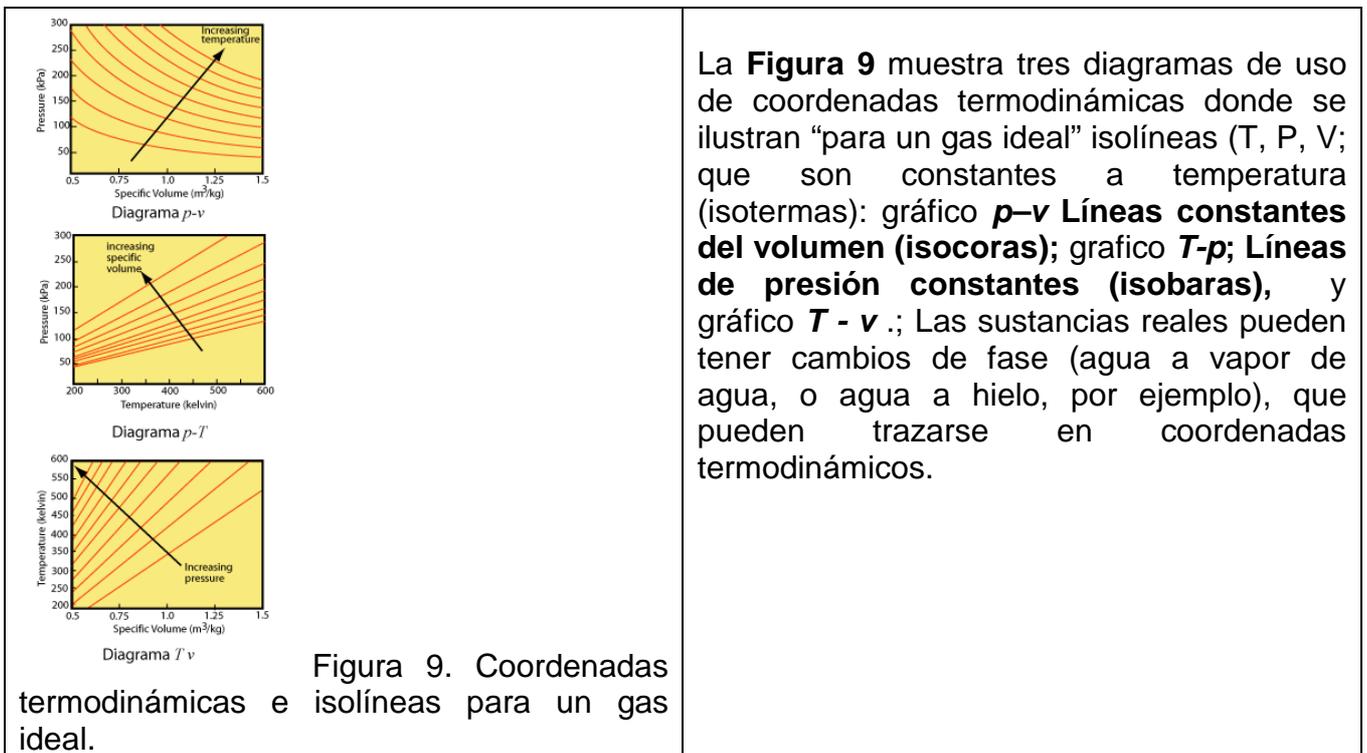
1.2.6. Procesos de Casi-Equilibrio

Ocurre una transformación en el sistema si, como mínimo, cambia de valor una variable de estado del sistema a lo largo del tiempo. Si el estado final es muy próximo al estado inicial, la transformación es **infinitesimal**.

En el **estudio termodinámico** a menudo estamos interesados en planear procesos entre estados a través de coordenadas termodinámicas, es decir como una sucesión de estados. Sin embargo, las propiedades definen solamente un estado cuando el **sistema está en equilibrio**. Si un proceso implica fuerzas finitas, desequilibradas, el sistema puede pasar a través de estados fuera del equilibrio que no podemos tratar.

Sin embargo, una idealización útil es que solamente existen fuerzas alejadas del equilibrio que son **infinitesimales** y que permiten ver al proceso como si ocurriera en una sucesión o serie de estados de casi-equilibrio. **Para que esto sea verdad el proceso debe ser lento referente al tiempo necesario para que el sistema llegue al equilibrio internamente.**

Ejemplo, “sí una molécula de gas dada, experimenta cerca de 10^{10} colisiones moleculares por segundo, de modo que, si solo diez colisiones son necesarias para llegar al equilibrio, el tiempo de equilibrio es de 10^{-9} segundos. Este tiempo es muy pequeño comparado con el tiempo relativo al flujo de fluido. También hay una gama grande de parámetros donde este tiempo característico de equilibrio es muy pequeño, por lo tanto, es una buena aproximación para observar los procesos termodinámicos como “sucesión de estados del equilibrio” [Van Wylen, 2002]



La **Figura 9** muestra tres diagramas de uso de coordenadas termodinámicas donde se ilustran “para un gas ideal” isolíneas (T, P, V; que son constantes a temperatura (isotermas): gráfico **p-v** **Líneas constantes del volumen (isocoras)**; gráfico **T-p**; **Líneas de presión constantes (isobaras)**, y gráfico **T - v** .; Las sustancias reales pueden tener cambios de fase (agua a vapor de agua, o agua a hielo, por ejemplo), que pueden trazarse en coordenadas termodinámicas.

1.2.7 Ecuaciones de Estado

Es un hecho experimental que dos propiedades son necesarias para definir el estado de cualquier sustancia pura en equilibrio o que experimenta un proceso permanente o cuasi-permanente [Van Wylen, 2002]. Así para un gas compresible simple como aire,

$$P = P(v, T), \text{ o bien } v = v(P, T), \text{ o bien } T = T(P, v) \quad (2)$$

Donde T es la temperatura, P la presión y v es el volumen por unidad de masa (el inverso de la densidad $1/\rho$). En pocas palabras, si conocemos dos de las

$$f(P, v, T) = 0 \quad (3)$$

esta es conocida como **Ecuación de Estado**.

La **ecuación de estado** de un gas ideal, la cual es una muy buena aproximación de un gas real en condiciones que son típicamente de interés en ingeniería, es

$$P\bar{v} = RT \quad (4)$$

donde \bar{v} es el volumen por mol del gas y R es la constante universal de los gases $8.314510 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Una forma más común utilizada en mecánica de fluidos es aquella que se obtiene al dividir por el peso molecular M :

$$Pv = RT, \text{ o bien, } P = \rho RT \quad (5)$$

donde R es R/M , la cual presenta diferentes valores para los distintos gases debido a los diferentes pesos moleculares. Por ejemplo, para aire a condiciones normales : $R = 0.287 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

1.3 Cambio de Estado de un sistema debido al Calor y Trabajo

Los **cambios de estado en un sistema** son producidos por interacciones con el entorno a través del calor y del trabajo, que son dos distintos modos de la transferencia de energía. Durante estas interacciones es necesario considerar **equilibrio termodinámico** (un proceso estático o cuasiestático) para que las ecuaciones sean validas al relacionar una con otra las propiedades del sistema.

Calor

1. La transferencia de calor puede alterar el estado del sistema.
2. Los cuerpos no contienen calor; el calor es energía en tránsito y se identifica mientras ésta pasa a través de los límites del sistema.
3. La cantidad de calor necesaria para ir de un estado a otro es dependiente de la trayectoria.
4. Los procesos adiabáticos son aquellos en los que no se transfiere calor $Q = 0$.

La convención de signos utilizada para una cantidad de calor Q es opuesta a la que se utiliza para el trabajo. El **calor añadido** a un sistema se da con un número **positivo**, en tanto que el **calor extraído** de un sistema se da con un número **negativo**.

Un **depósito de calor**, aunque es mal empleado el término, pues el calor no se deposita o almacena ya que siempre está en tránsito, es un cuerpo capaz de absorber o desprender cantidades ilimitadas de calor sin ningún cambio de temperatura. La atmósfera y los océanos se aproximan a lo que son los depósitos de calor, por lo general utilizados como sumideros de calor. Un horno y un reactor nuclear en funcionamiento continuo son equivalentes a los depósitos de calor.

Ley Cero de la termodinámica

La **Ley de Cero de la Termodinámica** se basa en la observación y en su comprobación experimental. Consideremos dos observaciones como punto de partida:

1. Si dos cuerpos están en contacto térmico por un tiempo suficientemente largo, si se aprecia que no hay cambio alguno, se dice que: el **equilibrio térmico prevalece**.
2. Cuando dos sistemas que están individualmente en equilibrio térmico con un tercero y estos dos están en equilibrio térmico uno con el otro, entonces los tres sistemas tienen el mismo valor de la propiedad llamada temperatura.

Ley Cero. Existe para cada sistema termodinámico en equilibrio una propiedad llamada **temperatura**. La igualdad de la temperatura es una condición necesaria y suficiente para el equilibrio térmico. Se define así una propiedad (temperatura) y describe su comportamiento. Conviene decir que esta ley es verdadera sin importar cómo medimos la propiedad temperatura. Las escalas de temperaturas empíricas y la temperatura termodinámica; pueden presentarse las dos escalas absolutas utilizadas actualmente. **La escala Kelvin**

$$K = 273.15 + ^\circ C \quad (6)$$

donde $^\circ C$ son los grados centígrados y **la escala Rankine**

$$R = 459 + ^\circ F \quad (7)$$

donde $^\circ F$ son los grados Fahrenheit

Trabajo

Todo mecanismo de transferencia de energía en un sistema que no sea motivado por la diferencia de temperatura, se llama **trabajo**. El **trabajo** en termodinámica siempre representa un intercambio de energía entre un sistema y su entorno, y presenta dimensiones de energía. Podemos tener trabajo de movimiento recíproco (v. g. en un pistón-cilindro, levantando un peso), trabajo eléctrico y magnético (v. g. un motor eléctrico), trabajo químico, trabajo de tensión superficial, trabajo elástico, etc.

Por convención se considera que el **trabajo realizado por el sistema es positivo** y el **trabajo efectuado sobre el sistema es negativo**.

El **trabajo mecánico** ocurre cuando una fuerza actúa sobre el sistema lo mueve a una cierta distancia. Tal como en mecánica este trabajo se define por la integral

$$W = \int Fdl \quad (8)$$

donde F es la componente de la fuerza que actúa en la dirección del desplazamiento dl . En forma diferencial esta ecuación se escribe:

$$\delta W = Fdl \quad (9)$$

donde δW representa una cantidad diferencial de trabajo.

En **termodinámica**, a menudo se encuentra trabajo efectuado por una fuerza distribuida sobre un área, por ejemplo, por una presión P que actúa a través de un volumen V , como en el caso de una presión de fluido ejercida sobre un pistón. En esta situación, el trabajo diferencial se expresa más convenientemente como:

$$\delta W = PdV \quad (10)$$

donde P es la presión externa ejercida sobre el sistema [Abbot, 1991]. Se puede

Cuando el trabajo se debe al desplazamiento de las fuerzas de presión exteriores que producen aumento o disminución de volumen del sistema se llama trabajo de expansión y se expresa por

$$\delta W = PdV \quad (11)$$

Con medios eléctricos es posible realizar trabajo de modo más conveniente y medirlo a su vez con más exactitud (el trabajo es realmente mecánico al final, pero intervienen en él fuerzas eléctricas como por ejemplo un motor eléctrico).

Si consideramos una sustancia compresible simple, por ejemplo, un gas (el sistema), ejerciendo una fuerza en los alrededores vía un pistón, que se mueve con una cierta distancia dl . El trabajo hecho en los alrededores W_{abr} es

$$\begin{aligned} dW_{abr} &= \text{Fuerza} \times dl \\ &= \frac{\text{Fuerza}}{\text{área}} \times \text{área} \times dl \\ &= \text{Presión} \times (\text{área} \times dl) \\ &= \text{Presión} \times d\text{Volumen} \\ &= P_x \times dV \end{aligned} \quad (12)$$

por lo tanto:

$$W_{abr} = \int_{V_1}^{V_2} P_x dV \quad (13)$$

La presión externa solo se puede relacionar con la presión de sistema si $P_x \approx P_{sis}$. Para que esto ocurra, no debe existir ninguna fuerza de fricción y; el proceso debe ser bastante lento de modo que las diferencias de la presión debido a las aceleraciones no sean significativas. Es decir requerimos un proceso cuasiestático $P_x \approx P_s$. Al considerar $P_x = P_{sis} \pm dp$ podemos escribir

$$W_{abr} = \int_{V_1}^{V_2} P_x dV = (P_{sis} \pm dp)dV = \int_{V_1}^{V_2} (P_{sis} dV \pm dPVP) \quad (14)$$

Por lo tanto, cuando dp es pequeño el proceso es cuasiestático,

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P_{sis} dV \quad (15)$$

y el trabajo hecho por el sistema es igual que el trabajo hecho en los alrededores.

Bajo estas condiciones, decimos que el **proceso es reversible**. Cabe señalar que un proceso es reversible si su dirección puede invertirse en cualquier punto mediante un **cambio infinitesimal** en las condiciones externas. Para los **procesos reversibles** es posible basar los cálculos en las propiedades del sistema (con independencia de las del entorno). En los procesos reversibles, el sistema nunca se desplaza más que diferencialmente de su equilibrio interno o de su equilibrio con su entorno.

Las condiciones para la reversibilidad son:

1. Si se invierte el proceso, el sistema y los alrededores serán vueltos a los estados originales.
2. Para invertir el proceso necesitamos aplicar solamente un diferencial infinitesimal dp de las condiciones externas.

Es importante resaltar algunas aclaraciones:

1. Las propiedades dependen solamente del estado, pero el trabajo es dependiente de la trayectoria (depende de la trayectoria tomada entre los estados); por lo tanto **el trabajo no es una propiedad termodinámica**, y por tanto no es una variable de estado.
2. Cuando decimos W_{1-2} el trabajo entre los estados 1 y 2, debemos especificar la trayectoria.
3. Para los procesos irreversibles, no podemos utilizar $\int PdV$ y el trabajo debe un dato del problema o debe ser encontrado por algún otro método.

1.3.4. Características y diferencias entre Trabajo y Calor

El calor, al igual que el trabajo, se considera en termodinámica como energía en tránsito a través de la frontera que separa a un sistema de su entorno. Sin embargo, a diferencia del trabajo, la **transferencia de calor** se origina por una diferencia de temperatura entre el sistema y su entorno y el simple contacto es el único requisito para que el calor sea transferido por conducción. No se considera que el calor se almacena en un sistema. Se debe enfatizar que las **unidades de calor** son las de **trabajo** y **energía**. Entre trabajo y calor podemos tener uno, el otro, o ambos: depende de qué traspase el límite o la frontera del sistema. Si en un tanque lleno de agua tenemos una resistencia eléctrica que calienta el agua

1. Si el agua es el sistema, entonces el estado del sistema cambiará por el aumento de temperatura por la transferencia de calor suministrada por la resistencia eléctrica.
2. Si el sistema es el agua y el resistor combinados, entonces el sistema cambiará por el trabajo eléctrico.

Conclusiones

En relación con las propiedades termodinámicas, comúnmente existe confusión sobre cuál **propiedad es extensiva** y cuál es **intensiva**. Por ejemplo, la energía, el volumen, la entalpía son propiedades extensivas. El valor de dichas propiedades no sólo depende de la temperatura o de la presión, sino también de la masa del sistema. Muy a menudo resulta útil trabajar en términos de propiedades que no dependan de la masa o extensión del sistema, y para este propósito utilizamos propiedades específicas como: el **volumen específico**, la **energía específica**, la **entalpía específica**, etc., que son los valores del volumen, de la energía, y de la entalpía por unidad de masa. Para un sistema de masa m las relaciones entre las propiedades específicas y las propiedades extensivas son $V=mv$, $U = mu$, $H = mh$ para el volumen, la energía interna y la entalpía, respectivamente.

Otra definición importante es saber ¿Cuándo se ha realizado trabajo?. Podemos pensar en lo siguiente, **toda aquella transferencia de energía que no ha sido provocada por diferencia de temperatura es a lo que llamamos trabajo en termodinámica**. Puede resultar un poco ambigua esta respuesta, pero es muy útil al momento de analizar un sistema y llevar a cabo un balance de energía y masa.

Optimización

Por su etimología el sustantivo “optimización” proviene del vocablo **óptimo**, (proveniente del latín *optimus*,) que, es un adjetivo que significa “lo que no puede ser mejor”. En relación a su definición matemática “optimización”, consiste en la aplicación del cálculo de “máximos y mínimos de una función”, cuyo resultado, de ser positivo significa la obtención del máximo de la función y si su valor es negativo, se refiere al “mínimo de la misma”. Para mayor detalle ver anexo de “Optimización”.

Precios

Los precios del estudio de viabilidad económico financiero están en relación a los precios del mercado internacional, Además para otros materiales e insumos de construcción, se completan mediante el "catálogo Nacional de Precios Prisma", y "los costos de servicios auxiliares" del IMP

Gas Natural

Hidrocarburo combustible compuesto principalmente de metano y algo de etano. El metano, es el más ligero de los hidrocarburos

Gas Natural Licuado GNL

El líquido del gas natural se licua y mantiene a -163°C para su transportación marítima. El gas natural líquido y el gas natural tienen una relación en peso que equivale a 600 veces el volumen del gas respecto al líquido. Lo cual justifica su transporte.

Terminal de Gas natural Licuado

Infraestructura de recepción de barcos para almacenamiento, gasificación de gas natural licuado (GNL) y distribución que, se completa con envío por gasoducto de Manzanillo a Guadalajara, y a Central Termoeléctrica

Sistema de llenado o “filling”

El sistema de llenado recupera los vapores que se forman durante la operación del llenado del tanque criogénico. Esos vapores de gas natural se comprimen y expanden para volverlos a condensar para regresarlos al tanque criogénico.

Sistema de holding”

Es un sistema que recupera comprime y expande los vapores formados por los cambios de temperatura ambientales reflejados dentro del tanque criogénico.

Tanque de Gas Natural Licuado

Es un tanque refrigerado que opera a -163°C formado por tanque interno de acero especial que opera a la temperatura indicada, y tanque externo de concreto armado diseñado para trabajo a temperaturas criogénicas en su cara interna, mientras que entre las paredes de los tanques se tiene una capa a base de “carlita” que lo aísla,

Evaporador de Gas Natural Líquido

La transferencia de calor que se hace para el calentamiento y gasificación de gas natural de -163°C a 2°C empleando agua de mar como medio calefactor en el rango de 16°C a 5°C , en el contenido de este estudio se muestra el cálculo de la superficie de transferencia de calor que tiene congruencia con lo suministrado por el tecnólogo. Se emplean las premisas de las Guías de estudio de Transferencia de Calor de la MSE así como las premisas recomendadas por los tecnólogos publicadas en la Revista Hydrocarbon Processing que se detalla en el capítulo y bibliografía relativa

Tiempo

Aunque algunos autores consideran al tiempo no es una variable termodinámica, esto resulta inexacto pues en las generalidades del análisis termodinámico del universo considera que en la transferencia del calor en trabajo útil hay inevitable generación de entropía, es decir que no se puede volver al estado inicial cuando se esta en el siguiente estado, lo cual implicaría que entre ambos eventos diga se “estados” hay un lapso de tiempo por infinitesimal que sea, lo que nos señala que las propiedades de la termodinámica no son atemporales. Más aun, cuando deben hacerse las determinaciones en uso de propiedades termodinámicas específicas ya que para llevar el resultado a la realidad debe hacerse en uso del flujo másico en unidades de masa sobre tiempo lo cual convierte al trabajo útil determinado por la eficiencia termodinámica del ciclo aplicado que: al aplicarlo por unidad de tiempo se transforma en potencia, lo cual es su inevitable realidad práctica. En cuanto balance general de energía, ésta incluye energía cinética, energía potencial energía eléctrica, y energía interna. Solo con excepción de esta última; todas las demás energías están expresadas en función del tiempo; además los análisis de la mecánica estadística se hacen con valores vectoriales puntuales y promedio de las propiedades de las partículas en función del estado energético que se analiza, lo cual es también en función del tiempo debido a que se hace análisis vectorial que al manejar vectores de velocidad implica la variable tiempo; por lo que inevitablemente al final el análisis termodinámico práctico se hace en función del tiempo. Aun cuando las propiedades termodinámicas se hayan definido de manera atemporal; al llevarlas a la realidad; su condición atemporal se transforma en temporal. Motivo este que obliga a considerar que el trabajo útil W_u de la energía interna U para darle significado a la eficiencia del sistema o del ciclo en el que se produce el trabajo útil; es decir, la transferencia del calor en trabajo útil se expresa aplicando el flujo másico que alimenta al ciclo de la maquina analizada transformando la energía en potencia. Lo cual podría postularse como “La Cuarta Ley de la Termodinámica, que trata “la transformación del trabajo en potencia” .

Unidades Magnitudes físicas, y Equivalencias en varios sistemas de medidas

Dimensión	SI	MKS	CGS	FPS
Longitud	m	m	cm	pie
Tiempo	s	s	s	s
Masa	Kg	Kgm	g	lbm
Temperatura	°K	°C	°C	°F
Calor	Joule	kcal	cal	BTU

Magnitudes físicas: símbolos y dimensiones asociadas

Magnitud	Símbolo	Dimensión primaria	Dimensión SI	Unidad
Longitud	L,x	L	L	metro
Tiempo	t	t	t	segundo
Masa	M	M	Kg m	Kilogramo
Temperatura	T	T	°K	° K
Velocidad	v	L/t	m/s	m/s
Aceleración	a	L/t ²	m/s ²	m/s ²
Fuerza	F	ML/t ²	Kg· m/s ²	Newton
Trabajo, Energía, Cal	E,q	ML ² /t ²	Kg m ² /s ²	Julio
Potencia	W	ML ² /t ³	Kg· m ² /s ³	Watt
Flujo de calor	Q	M/t ³	Kg /s ³	Watt/m ²
Presión	P	M/t ² L	Kg /s ² · m	N/m ²
Densidad	D	M/L ³	kg/m ³	kg/m ³
Calor específico	Ce	L ² /t ² T	m ² /s ² · °K	J/Kg °K
Conductividad térmica	C	ML/t ³ T	Kg· m/s ³ · °K	W/m °K
Conductancia térmica	k	M/t ³ T	kg/s ³ · °K	W/m ² °K
Resistencia térmica	R	Tt ³ /ML	s ³ · °K/kg	m ² °K/W

Equivalencias de unidades de Energía - calor - trabajo

<i>E</i>	<i>Joule</i>	<i>kgf m</i>	<i>lbf ft</i>	<i>kw h</i>	<i>litro atm</i>	<i>kcal</i>	<i>B.T.U.</i>
Joule	1	0.102	0.738	2.78 E-7	0.00987	0.000239	0.000948
kgf m	9.8	1	7.23	2.74 E-6	0.0968	0.00234	0.0093
lbf ft	1.36	0.138	1	3.77 E-7	0.0134	0.000324	0.00129
kw h	3.6 E6	3.67 E5	2.66 E4	1	35.5 E3	860	3420
litro atm	101	10.3	74.7	2.82 E-5	1	0.0242	0.0961
kcal	4180	427	3090	0.00116	41.3	1	3.97
B.T.U.	1050	108	778	0.000293	10.4	0.252	1

Unidades de Potencia

<i>Potencia</i>	<i>Watt</i>	<i>kgf m/s</i>	<i>H.P.</i>	<i>lbf ft/s</i>	<i>BTU</i>
Watt	1	0.102	0.00134	0.738	0.29329719
kgf m/s	9.8	1	0.0131	7.23	107.670442
H.P.	746	76	1	550	0.00039332

ANEXOS DEL SECTOR ENERGETICO

Petróleos Mexicanos PEMEX

Comisión Federal de Electricidad CFE

Anexos

A-2.1. Industria del Petróleo PEMEX

En los términos aplicables al presente estudio, se conjunta la información general de la Industria del Petróleo y su potencial prospectiva. Información en base la que , se han hecho las inferencias deductivas en función de los balances oferta demanda de combustibles y la potencialidad de “cogeneración” de las refinerías del sistema base de la argumentación del estudio.

Diagnóstico del potencial de generación de energía eléctrica

Instalaciones	Capacidad Cogeneración función de consumo vapor MW	Consumo Interno MW	Capacidad Disponible MW	Combustible propuesto	Eliminación emisiones SOx
PGPB	950	85	865		
Nuevo Pemex	750	50	700	GN	No, (2)
Cactus	200	35	165	GN	No, (2)
PPQ	1210	240	970		
Cangrejera	430	110	320	GN	No, (2)
Morelos	310	70	240	GN	No, (2)
Pajaritos	140	30	110	GN	No, (2)
Escolín	65	20	45	GN	No, (2)
Independencia	265	10	255	GN	No, (2)
PR	2645	630	2015		
Tula	480	80	400	RV	Si
Salamanca	440	85	355	RV	Si
Cadereyta	375	100	275	GN	No, (2)
Madero	310	125	185	RV (1)	Si
Minatitlán	475	110	365	RV, C	Si
Salina Cruz	565	130	435	RV	Si
PEP	63	30	33		
Atasta	63	30	33	GN	
Total	4868	1300	3568		

(1) Al entrar capacidad ociosa

(2) El gas natural no contiene compuestos de azufre

GN: Gas natural

RV: Residuo de vacío

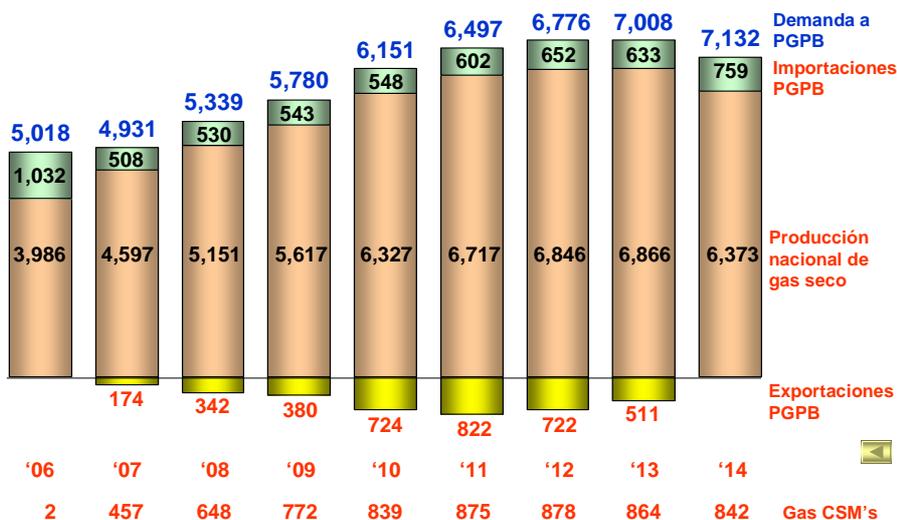
C: Coque

Fuente Petróleos Mexicanos, y Datos propios .Tesis.

Balance nacional de gas natural 2006 - 2014

Millones de pies cúbicos por día

Escenario medio de oferta

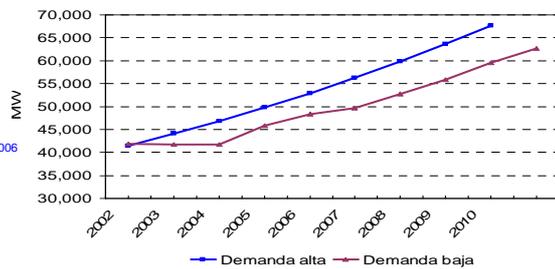


Fuente: Prospectivas SENER, Petróleos Mexicanos y, Datos propios .Tesis-

Balance de gas natural – combustóleo 2002 - 2010

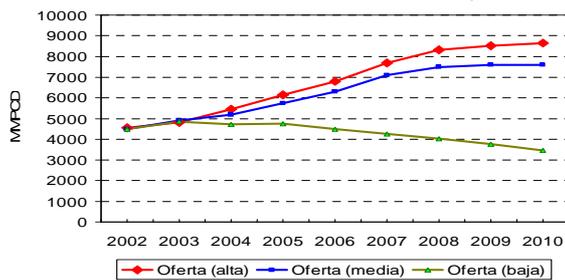
1 Crecimiento de la demanda de energía eléctrica

Alta: Programa Sectorial Energía, 2001 – 2006
Baja: Grupo de Combustibles, 2002



2 Oferta de gas natural de PEP

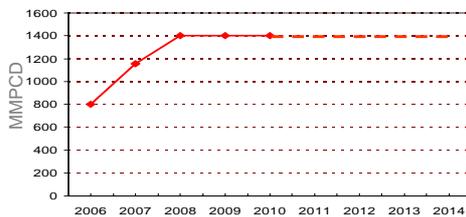
Alta: PEP, Julio 04/2002.
Media: PEP, Septiembre 11/2002
Baja: PEP, Septiembre 12/2002.



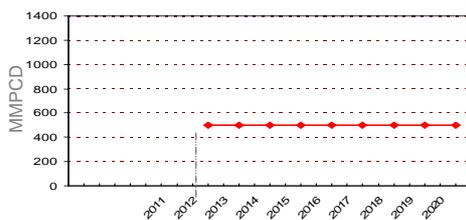
Fuente: Datos propios Tesis

Balance de gas natural – combustóleo 2006- 2014

3 Posibilidad de aumentar la capacidad de importación de gas natural por ducto

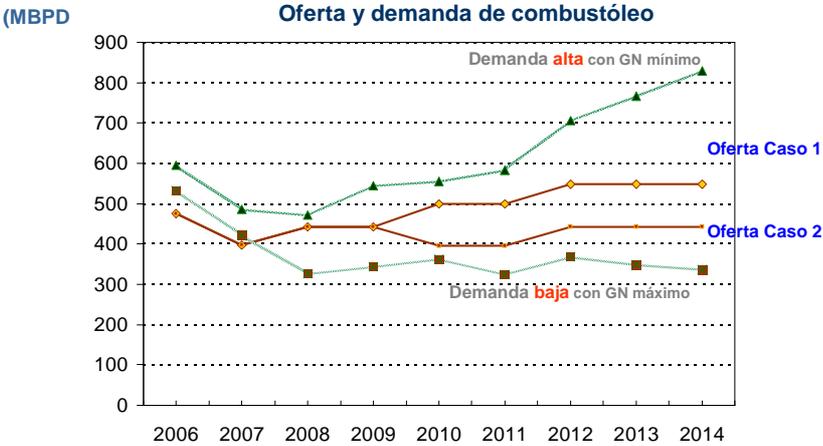


4 Importación de Gas Natural Licuado (GNL) por CFE



Balance de gas natural – combustóleo 2006- 2014

El gráfico muestra que, en función de la disponibilidad de gas natural (nacional más importado), presenta variaciones en la demanda nacional de combustóleo

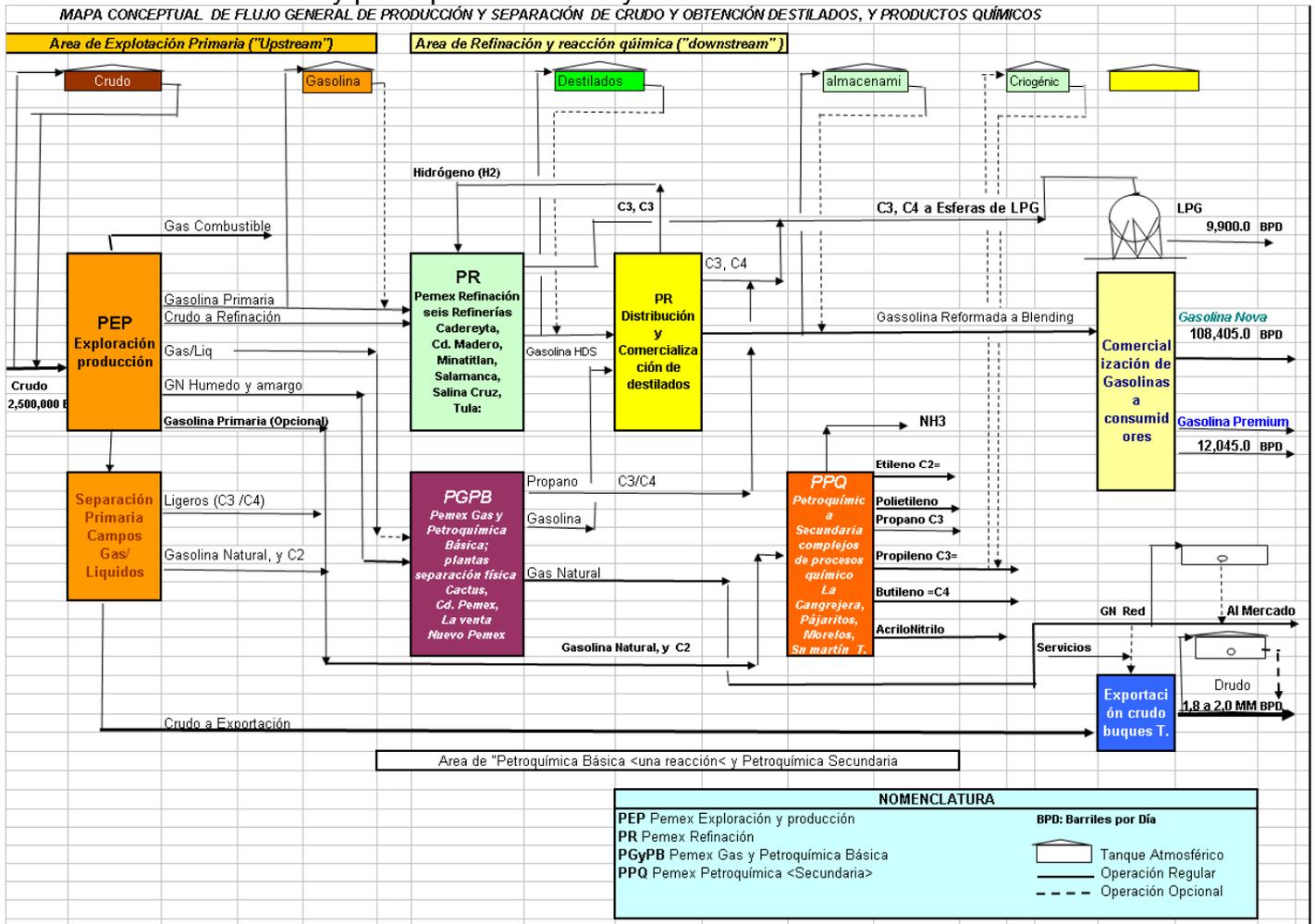


Nota: 100 MMPC de gas natural equivalen a 17 MB de combustóleo

MBPD : Miles de Barriles por Día.

Fuente Datos Propios – Tesis -

En el diagrama se muestra la ruta del petróleo (crudo) que sigue desde explotación <up stream> hasta refinación y petroquímica básica y secundaria <down stream>

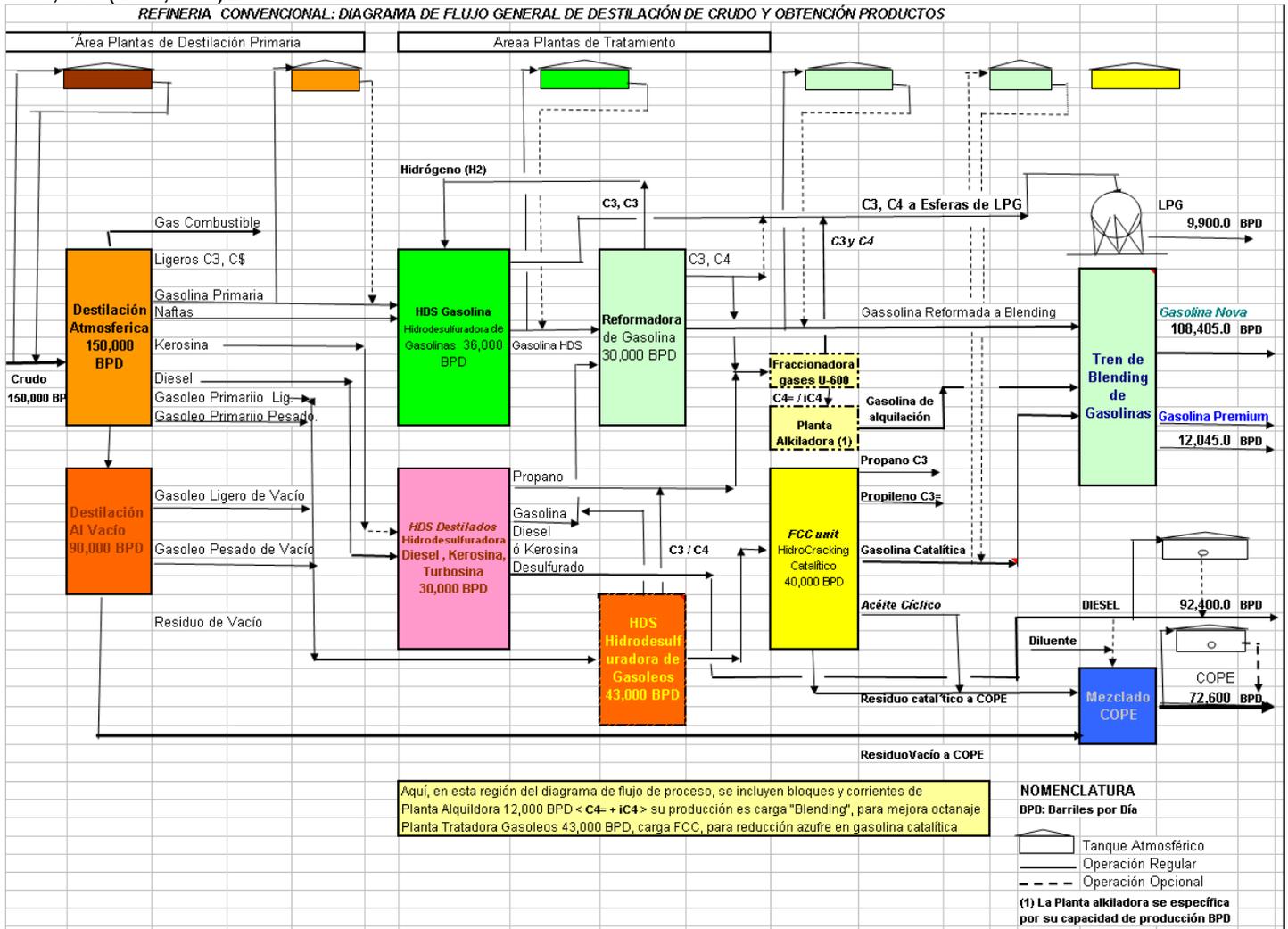


Fuente dAtos propios –Tesis -

Refinería Convencional

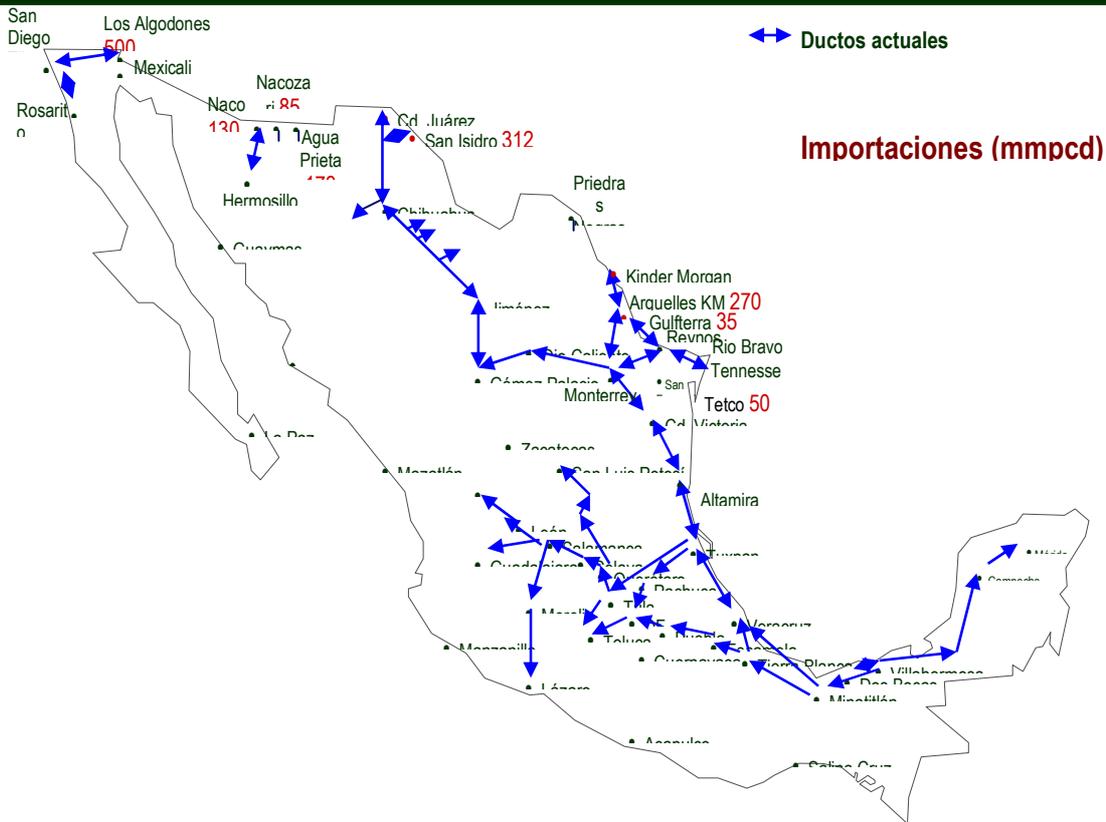
Se aprecia el arreglo de plantas de destilación primaria compuesta de sección atmosférica y sección al vacío y las plantas de tratamiento de destilados gasolinas, diesel, kerosina, turbosina y formación de combustóleo, base del problema de fondo de barril. Además se integran las plantas de "Hidrodesulfuración de gasoleos" y Catalítica <"Cracking catalítico tipo FCC">>

Se muestran los flujos de balance típico de tren de refinación de 150,000(165,000)Barriles/día

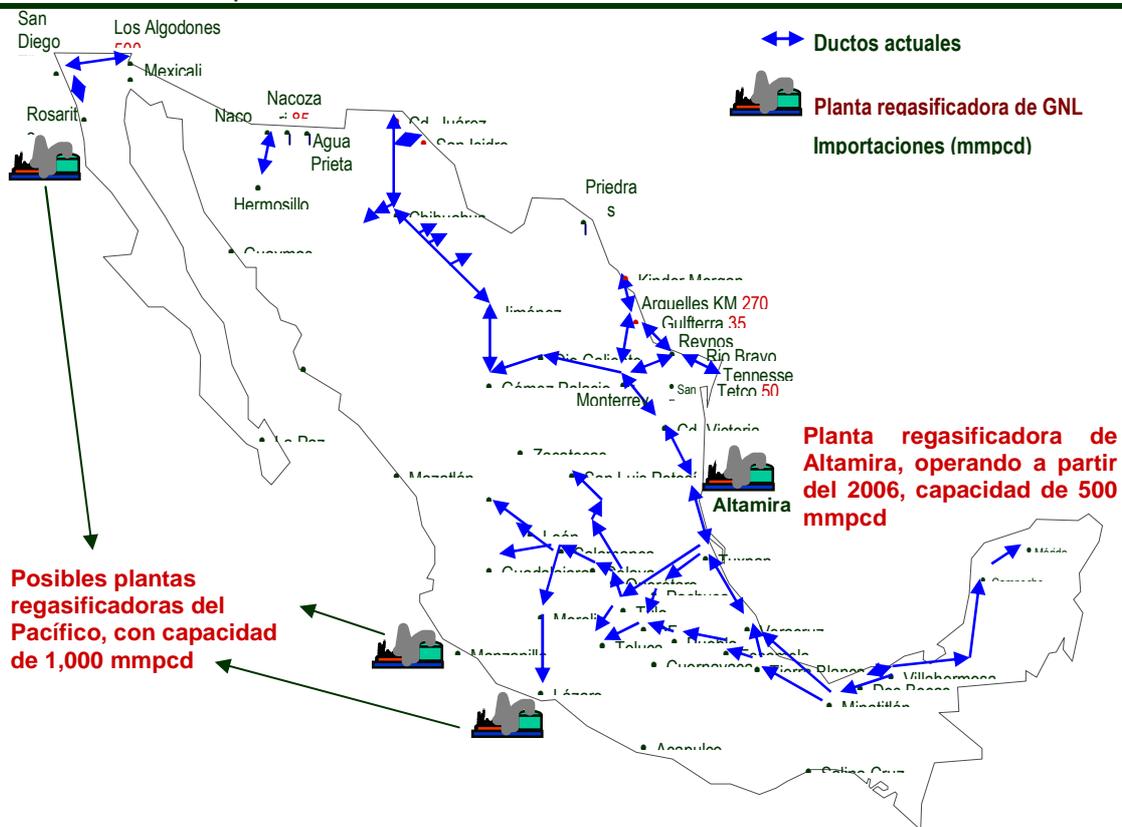


Fuente: Datos Propios .Tesis-

Capacidad de ductos de importación



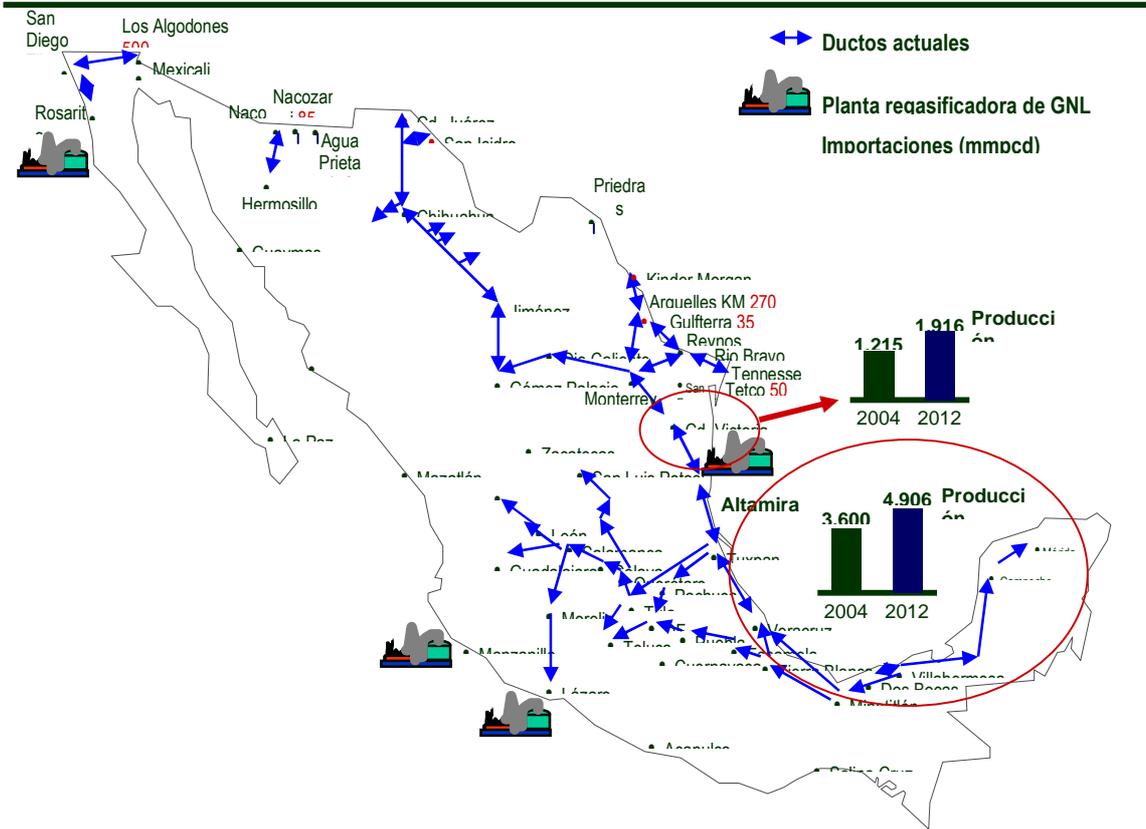
Planeación de importación de Gas Natural Licuado LNG



Clasificación de Reservas de crudo pag 29, 30

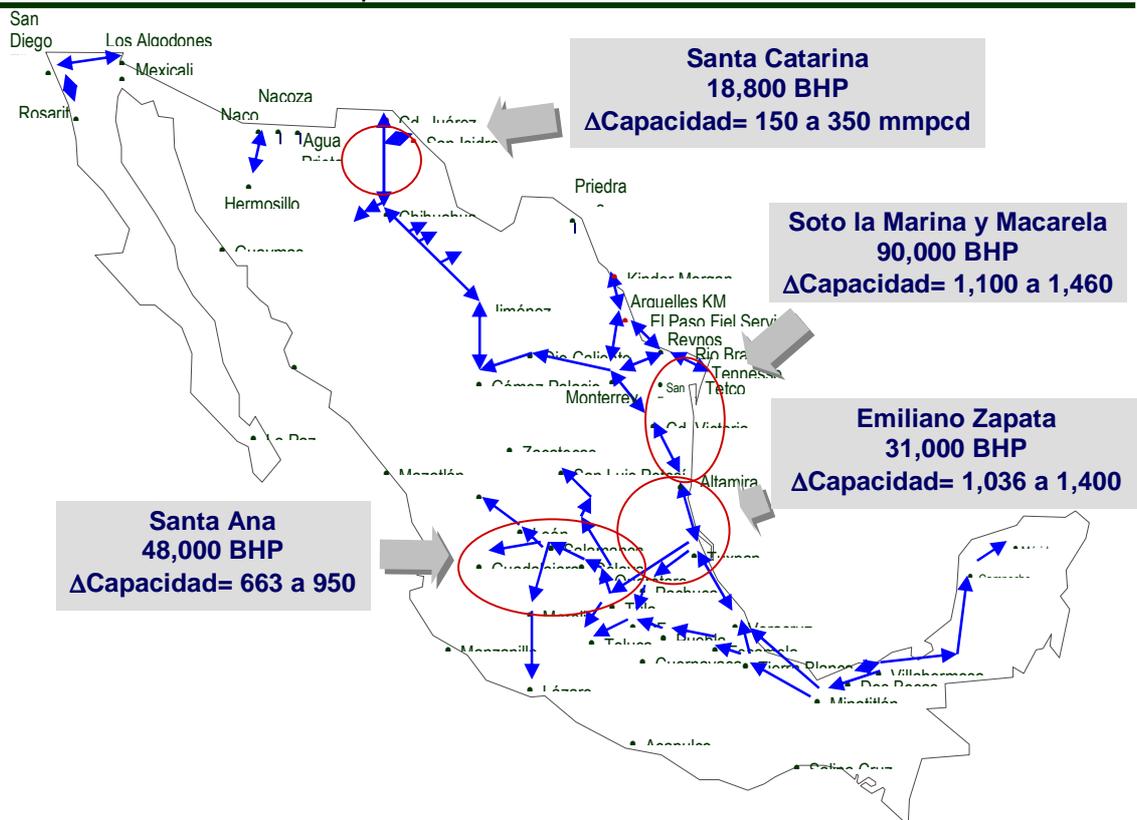
Gas Natural estaciones de compresión

ESC. MEDIO ALINEADO AJUSTADO CON RIESGO



(*) Fuente: Petróleos Mexicanos, y Anuarios PEMEX

Nuevas estaciones de compresión



(*) Fuente: Petróleos Mexicanos, y Anuarios PEMEX

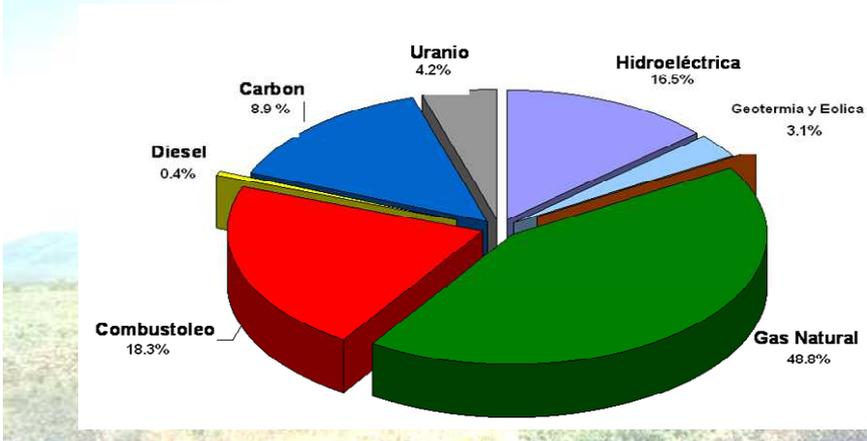
Conclusiones

- La capacidad de conducción de gas natural se incrementará mediante el refuerzo de los sistemas de compresión.
- La ampliación del sistema nacional de gasoductos se hará mediante proyectos con participación privada.
- PEMEX tiene planeada la construcción de poliductos prioritarios, entre otros los de Guadalajara a Lázaro Cárdenas y desde Minatitlán al Distrito Federal y a Salina Cruz.
- Está en evaluación la alternativa de almacenamiento de gas natural o petróleo crudo en domos salinos.

EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Sistema Eléctrico Nacional

Generación de Energía Eléctrica por combustible: del total **235 871 GWh**

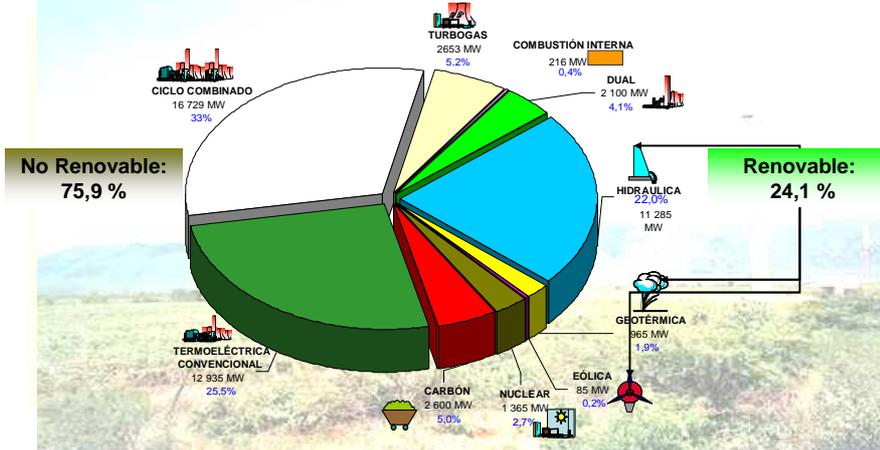


CFE en Cifras

Sistema Eléctrico Nacional

La Capacidad instalada en CFE incluyendo los PEEs es de:

52684 MW



Fuente: Comisión Federal De Electricidad

1. En los últimos diez años el costo por kWh se redujo en más de 30% y se espera una reducción adicional de 30 % para el año 2010.

Mientras que en 1981, la unidad promedio de 25 kW producía 45,000 kWh al año, en 1998, la unidad promedio era de 750 kW y producía 2.5 millones de kWh por año.

Obra Pública Financiada (OPF)



Centrales Electricas en Operación y Proyecto

Fuente: CPT de SPyC DPIF, Comisión Federal De Electricidad

CENTRALES TERMOELÉCTRICAS 1998 – 2012

3.- Construir Arrendar y Transferir

Proyecto	Capacidad (MW)	Fecha de Inicio	Fecha de Operación Comercial
CC Samalayuca II	505.8	28 MAY 96	05 DIC 98
CC Rosarito III	497.6	01 SEP 99	05 JUL 01
CC Monterrey II	437	29 JUN 98	17 SEP 00
CC Chihuahua	445	12 OCT 98	09 MAY 01
CD Puerto San Carlos II	39.3	07 SEP 99	23 DIC 01

4.- Programa de Acción Inmediata

Proyecto	Capacidad (MW)	Fecha de Inicio	Fecha de Operación Comercial
PTG El Sauz	121.6	27 ABR 98	07 DIC 98
PTG Hermosillo	140.4	24 ABR 98	21 DIC 98
PTG Huinala	139.5	20 ABR 98	02 MAR 99
PTG Río Bravo	152.8	07 ABR 98	14 ABR 99
PTG Rosarito	163.2	07 ABR 98	06 MAY 99

Fuente: CPT de SPyC DPIF, Comisión Federal De Electricidad

CENTRALES TERMOELÉCTRICAS, TERMINAL DE GAS Y GASODUCTOS 1998 – 2012**5.- Recursos Propios**

Proyecto	Capacidad (MW)	Fecha de Inicio	Fecha de Operación Comercial
Valle de Mexico	246.8	20 SEP 00	14 JUL 03 (*)
TG El Sauz II	132.74	27 JUN 01	04 JUN 02
UTG Tuxpan	162.54	01 MAR 03	02 ENE 04
TG El Encino	130.8	29 JUN 01	07 JUN 02
UTG San Lorenzo	264.325	01 MAR 03	29 DIC 03

(*) Ciclo Combinado

6.- Prestación de Servicios

Proyecto	Capacidad	Fecha de Inicio	Fecha de Operación
TGNL Manzanillo	500 MMPCD	27 MAR 08	28 MAY 12 (*)
Gasoducto Manzanillo - Guadalajara	500 MMPCD	26 MAY 09	15 JUN 11
Gasoducto Morelos	300 MMPCD	10 NOV 11	01 JUN 13
Gasoducto Corredor Chihuahua	850 MMPCD	04 ENE 12	30 JUL 13
Gasoducto Tamazunchale – El Sauz	630 MMPCD	29 MAR 12	09 MAR 14

(*) Fecha reprogramada

Fuente: CPT de SPyC DPIF, Comisión Federal De Electricidad

Energías Renovables

Proyectos de generación de energía eléctrica con sistemas renovables de energía

Los proyectos más atractivos de uso de recursos “renovables” son los que mejoran la disponibilidad de combustibles fósiles para autoabastecimiento a PEMEX por 1,400 MW, y por igual la liberación de hidrocarburos para contribución a la sustentabilidad y mejoría del ambiente. Los proyectos con recursos renovables propician lo siguiente:

1. *Promueven la conservación de recursos no-renovables*
2. *Permiten el acceso de áreas remotas a los servicios de electricidad*
3. *Su costo no depende de los precios de gas y petróleo*
4. *Generan menores impactos ambientales*
5. *Pueden ser motor de desarrollos regionales*
6. *Están atadas a una determinada localización*
7. *Su disponibilidad es intermitente*
8. *Requieren grandes extensiones de terreno*
9. *El kWh suele ser más caro que la energía convencional*
10. *En los primeros años la amortización de capital domina la estructura de costos*
11. *Financiamiento complejo*

Alto Potencial en México

- Alto potencial en pequeñas plantas hidráulicas
- 3,500 MW
- Campos Geotérmicos por desarrollar
- 1,500 MW
- Zonas con alta intensidad de vientos
- >5,000 MW en Oaxaca
- Potencial de la biomasa en agroindustria
- 1,000 MW en la industria cañera

Capacidad total de energía renovable

Grandes Avances en

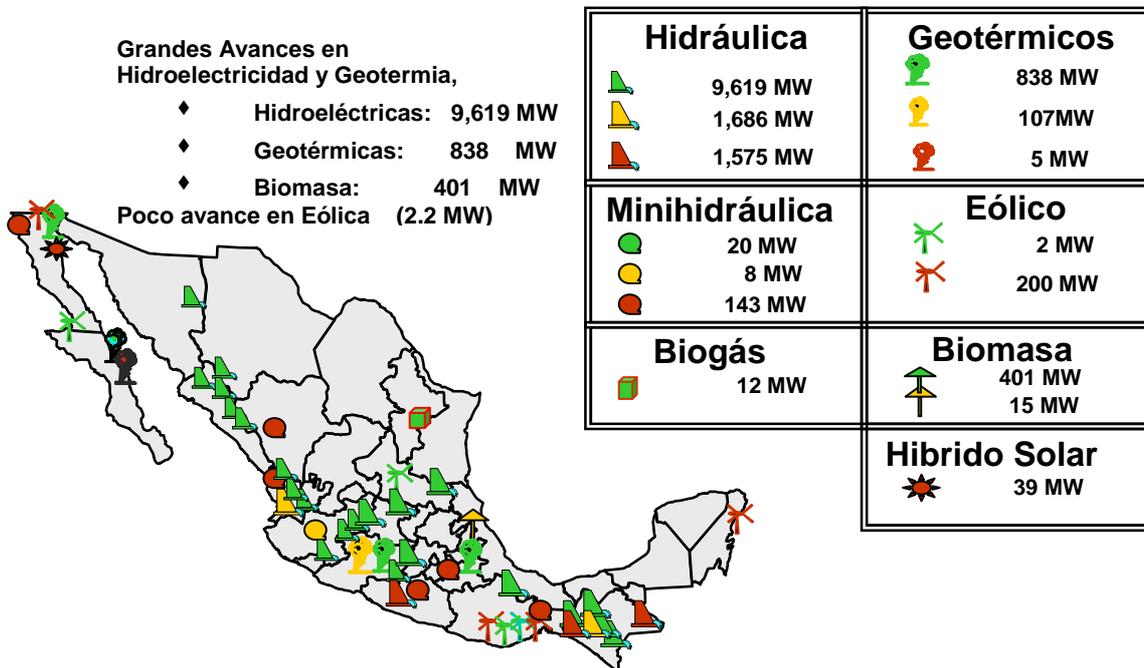
Hidroelectricidad y Geotermia,

- ♦ Hidroeléctricas: 9,619 MW
- ♦ Geotérmicas: 838 MW
- ♦ Biomasa: 401 MW

Poco avance en Eólica (2.2 MW)
y Solar (14 MW)

Fuente: Comisión Federal De Electricidad

Capacidad Total Energía Renovable : 10,906 MW



Fuente:, Comisión Federal De Electricidad

PROYECTO ENERGÍAS RENOVABLES A GRAN ESCALA
(FONDO PARA MEDIO AMBIENTE MUNDIAL (GEF) / BANCO MUNDIAL / SENER)

Monto Total = 70 MM USD (Fase I = 25 MM USD; Fase II 45 MM USD)

Meta = 400-500 MW (Fase I = 100 MW; Fase II = 300-400 MW)

Periodo = 10 - 12 años

Principales Acciones:

- Incentivo temporal 0.0075-0.015 USD/kWh generado (Fondo Verde)
- Asistencia técnica, desarrollo institucional y capacidades.

Fondos aprobados para preparación (1 año) = 350,000 USD

1. PROYECTO ENERGÍAS RENOVABLES A GRAN ESCALA
(FONDO PARA MEDIO AMBIENTE MUNDIAL (GEF)/BANCO MUNDIAL/SENER)

2. Proyecto energías renovables a gran escala
3. Etapa preparatoria (2004 – 2005)
4. Manual de operación del fondo verde.
5. Evaluación de recursos otras fuentes renovables diferentes a eólica.
6. Identificación y análisis de políticas, regulaciones y aspectos técnicos/ necesidades de implementación y / o modificación.
7. Evaluación de externalidades ambientales de fuentes fósiles, impacto en la red por aumento en la capacidad eólica.
8. Metodología costo total de generación de largo plazo.
9. Exportación de electricidad.
10. Fuentes adicionales de recursos (bonos de carbono).
- 11.

PLAN DE ACCIÓN PARA REMOVER BARRERAS A LA IMPLANTACIÓN A GRAN ESCALA
DE ENERGÍA EÓLICA (GEF/PNUD/SENER-IIIE)

Fase I (4.5 MM USD)

1. Desarrollo de un centro de investigación de energía eólica.
 - Mapeo de potencial nacional eólico.
 - Evaluación tecnológica, desarrollo de capacidades, adopción de estándares y mejores prácticas internacionales.

Fase II (6.5 MM USD)

1. Desarrollo de 3 proyectos piloto eólicos (20 MW c/u).
 - Monitoreo de los proyectos.

Acciones inmediatas:

1. Negociar con SAGARPA y SFP traspaso de terreno a manos de INIFAP.
2. Cerrar convenio de convivencia IIE-INIFAP en terreno de La Venta, Oaxaca.

Funciones y actividades de la Comisión Reguladora de Energía

- Contrato de interconexión para fuentes renovables no intermitentes.
- Reconocimiento de capacidad por parte de CFE.

Conclusiones

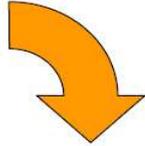
1. A nivel mundial se reconoce la necesidad de promover distintos apoyos y estímulos para aprovechar las fuentes renovables.
2. En México existe un importante potencial de aprovechamiento de energías renovables que no ha sido adecuadamente aprovechado, particularmente en energía eólica, mini-hidráulica y de biomasa.
3. En lo que se refiere a la generación de electricidad, las energías renovables compiten de manera desventajosa con las plantas convencionales, al tenerse criterios de corto plazo para evaluar el costo marginal.
4. Se están desarrollando esquemas que facilitarán la realización de más proyectos de generación de electricidad a partir de energías renovables:
 - a. Fondo Verde
 - b. Modificaciones Normativas: interconexión, transmisión y respaldo
5. La participación de estos proyectos en el mercado internacional de “Bonos de Carbono” incrementará su viabilidad económica.

Características de reactores de plantas de “gasificación”

Shell Gasification Processes – Dedicated to feedstock

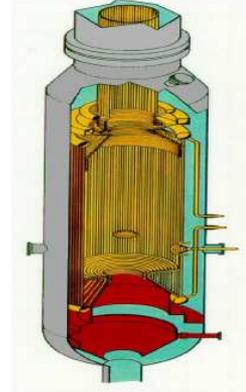
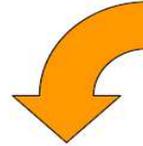


Liquid refinery residues
SGP



⇒ Differences:

Coal & coke
SCGP



SGP - **Non-slugging** condition

SGP - **Refractory lined** gasifier gasifier

SGP - Liquid feed system

SGP - Fire tube boiler

SGP - Soot water handling handling

SCGP - **Slugging** condition

SCGP - **Membrane wall**

SCGP - Dry feed system

SCGP - Water tube boiler

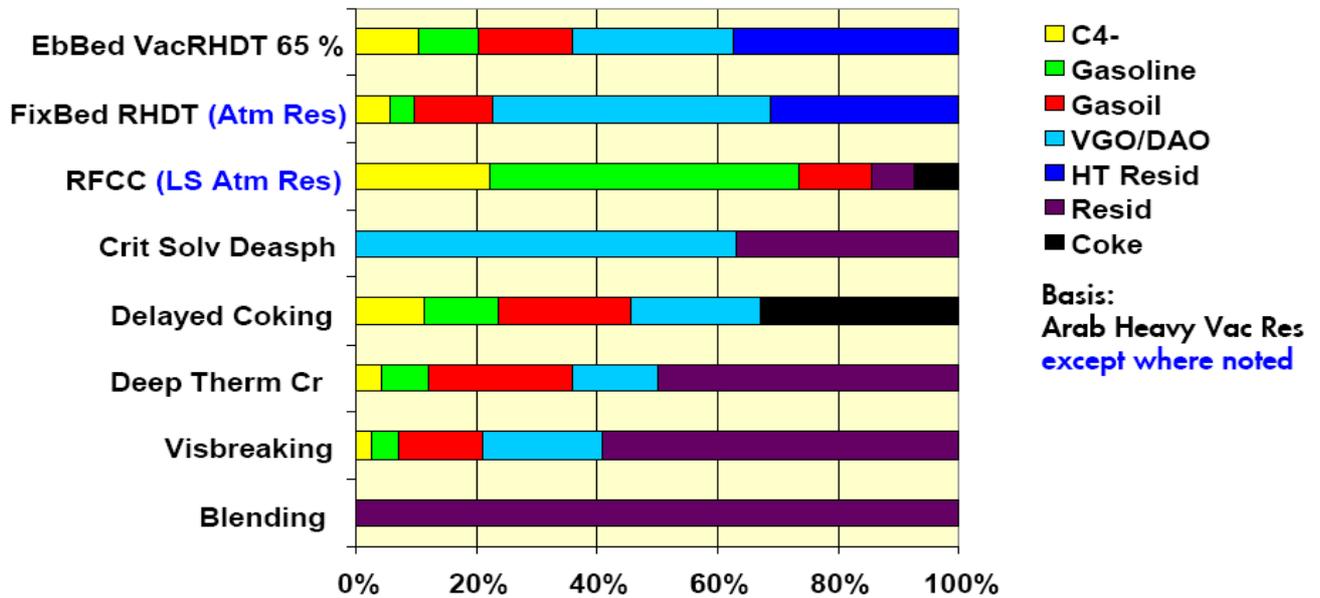
SCGP - Solid slag

www.shellglobalsolutions.com

Fuente: tecnólogo indicado

Comparación de Rendimiento de “varias tecnologías” de gasificación

Yield Comparison of Various Technologies



Highly different product yields and qualities

Shell Global Solutions

Fuente Tecnólogo Indicado

Apéndice:

Apéndice 1:

Agradecimiento y Dedicatoria entrañable a mis amados Padres:

Quienes juntos dieron sin igual ejemplo de conducta para la vida. Mi Padre, de manera única sirvió, sirve y servirá para mi vida su labor de Carpintero construyo el porvenir alimentario, y educacional de sus hijos. Y, al igual en forma ejemplar mi Madre “como ama de casa” alimentándonos en todas las formas convenientes nos forjó día con día

Fortino Bárcena Santillán Hijo de Valente Barcena y Petra Santillán y Josefina López Vargas hija de Delfina Vargas y José López (Hijo de Mi “Conchita”) quienes Dios permitió ser la luz la fuerza y motivo de mi existencia. Mi Padre ejemplarmente estableció las costumbres de mi vida. Como hábil Carpintero labró mi madera en casos la barnizo como las de mis demás hermanos para quienes no solo construyo el porvenir alimentario, y educacional de sus hijos sino los valores morales patrimonio de nuestra vida. Al igual, en ejemplar forma mi Madre “Ama de casa”; criada por Concepción González (mi “Conchita”) de quien heredó sus habilidades culinarias forjaron alimentaron en modo exquisito nuestra vida y costumbres, en disciplinadas formas, día a día. Mis padres al unísono formaron un modelo de pareja; que nunca expresó diferencia alguna entre ellos ante sus hijos y, en su propia intimidad, lo cual humanamente es un hito, al formar una familia, así.

A mis Hermanos

Raymundo, Blanca Rosa, Raúl, Manuel, Crescencio, Consuelo, María Luisa, Silvia, y Yolanda; que juntos al reflejo de nuestros Padres han sido y son fortaleza de mi vida que, en conjunto formamos verdadera Familia ...

Raymundo, el mayor, aguerrido épico como el solo; forjo fama “El Aguililla” en su época escolar preparatoria que trascendió a sus hermanos menores como segundo y tercer tomo del epíteto “alias” que me honra. Él con Micaela son padres de Luís Raymundo, Raúl Miguel, Roberto José, Rogelio Arturo, y Rubí Michel son cinco hijos y amados amables sobrinos que han conquistado cada cual grandes logros fraternales primero, profesionales después. Por su parte, Raúl M. con Rosaura engendraron a Rafael, Gabriel y Uriel R., Quienes son “Sal y Pimienta y, “Canela Ppura” que por igual son el idilio de la familia en gozo pleno. Rubi en Diciembre próximo alumbrara a la “cara Natalia”.

Raymundo como ingeniero geólogo al igual desde 1963 a 2008, busco y encontró oro y plata en Fresnillo Zacatecas, Azufre en las Choapas y Acayucan, Veracruz. siderita, perlita en las Truchas Michoacán y, Como subdirector de Exploración en el Consejo Nacional de Recursos Minerales, en Pachuca, Hidalgo

Raúl con Francis en Culiacán, Sin son padres de Rocío, Raúl, y Nancy tres agradables sobrinos que se han convertido en aceptables profesionales de la contabilidad y, el derecho. Raúl conquisto buena fama en su patria chica como basquetbolista que nuestra estatura no fue óbice para que destacara siendo jugador de mas de veinte puntos por partido. En la etapa de tiros de tres puntos habría acumulado más de treinta puntos. Eso le valió ser seleccionado por Hidalgo en juegos nacionales muchas veces, siendo en todas del cuadro titular. Al igual sucedió en la ESIME-IPN en juegos intertécnicos. En lo profesional abrió durante mas de treinta años las oficinas de Distribución CFE en Culiacán. Su disciplinada puntualidad como laboral fue base para dirigir los trabajos de cambio de cableado de distribución en toda la ciudad desde cable con forro, cable desnudo cobre, aluminio, hasta instalaciones subterráneas. Así fue su labor "trabajando en caliente" pues el clima de la ciudad no tolera interrupciones cumpliendo las metas del TIU que iniciaba junto al mantenimiento y construcción de líneas de distribución. Dándose tiempo para su jugadita de basket o dominó con sus amigos entre ellos Los Vega...

Blanca Rosa: Rosa por su elección, a pesar de ser profesional de la contabilidad eligió acompañar a mi madre en la labor hogareña aprendiendo de ella lo que mas le adorna en el arte culinario y, algo más

Manuel y Crescencio: Manuelito entre gracia y vida a temprana Hora voló dejando enorme hueco de frialdad en mis padres que en mi Madre nunca cicatrizó. Chenchanito, por si fuera poco al igual que el otro amado vástago desde la cuna voló a la zona celestial, aumentando la herida en mis padres. El llanto de mi madre perduro por sus ausentes hijos hasta su final que "El altísimo le compenso a Ella en su regreso al Espíritu adornándole el brazo en el que carga a uno de ellos, el otro volvió a nacer haciendo la felicidad de una familia deseosa de Hijos".

Ana Consuelo: Chelo gran entrega por la familia, a los doce años, fue soporte al sostén económico familiar ¡su gran merito!. Contemplación del cielo en deleite embelezo en busca de Dios es su mayor satisfacción. Chelo estudio la preparatoria contabilidad e inicio la Carrera de Derecho que puso en práctica en su empleo en la

SHCP. Excelentes chalupas y pambazos que degustamos de sus manos en Fiestas Patrias. Con Manuel Santos vive feliz matrimonio ...

Maria Luisa: "Mariposa" epíteto otorgado recibido al mas Alto Nivel. Su estudio contable la llevó a laborar en varias empresas, al final fuen la SHCP donde recibio su Jubilación laboral. Mary, su belleza fue su carta ábrete sésamo en sus mejores momentos de juventud de fiestas y bailes que tanto amó.

Silvia con Antonio procrearon a Patricia quien con denuedo en el estudio aspira a pronto convertirse en maestra en "químico farmacéutica" y, posiblemente doctorarse en lo mismo en la Universidad de Montreal en Canadá.

Yola: "Campanita epíteto recibido desde el más Alto Linaje al igual labora en lo secretarial en varias dependencias oficiales. Grandes habilidades de diseño y decoración asiduidad gratuita adorna su persona cosa muy grave en La Navidad cuando sale a relucir gran entrega al Creador y su Divina Madre. Por igual sus cualidades culinarias son notables a la hora de la preparación de los guisos con cierto sabor a lo que preparaba mi madre.

A mi Esposa e Hijos

Sarasvati Magdalena Rosa mi Quid; cuya suavidad y docilidad en el trato, no menoscaba su disciplinada conducta en la vida y en el hogar constituye fortín de la familia. Su formación de contador administrativo se refleja de continuo en ahorro ha constituido el patrimonio material del hogar, que el ingreso del trabajo nos ha permitido ...

Mi esposa en una es inefable en una palabra de ella tengo y obtengo las mejores Enseñanzas de vida Venidas de Dios Es Luz para la Familia y para muchos que le buscan para orientación y salud: Ella es alguien venida de Dios a dar Consuelo al Prójimo, con las excelsa manifestaciones de las Advocaciones de Dios en todos sus Honorables Nombres de Avatares Excelsos. Ella, es Puerta donde las manifestaciones celestiales surgen de manera inefable e innumerable para solución de nuestros problemas de salud y de otra sana índole por las Manifestaciones de Dios en Esa Puerta.

A mi hijo Ángel Israel por sus logros personales son enormes satisfacciones filiales que llevo. Dado su buen desempeño escolar y en la vida a logrado avanzar a insospechados vuelos para el, mas lo que le espera, desde tal plataforma y protección que goza.

Mi Hija Brenda su sorprendente elección de ser ingeniero químico; pero mayor aun es su ferviente dedicación a Dios y; al estudio y practica de la religión. Por su parte esa dedicación disciplinada, le ha permitido a su vez alcanzar pleno desarrollo creyente, humano y profesional por igual.

Ella ferviente creyente en Dios en su práctica y estudio religioso destaca por la gracia de su voz como "soprano coloratura" en los coros de la Iglesia en el Templo. Eso con sencillez lo ostenta para adorar con sus repiqueteos a Dios. Eso lo hace con tanto o mas gusto que como estudiosa profesional de la ingeniería química

A mi Familia en general todos por igual

Mis tíos Raymundo Santillán y Virginia Barcena, formaron una familia pachuqueña transterrada a Dallas Texas, USA, desde 1921 donde nacieron todos sus hijos; María Josefina, Maria Luisa (Lu) Raymundo (Jr.) Ana Maria, Jorge Luís (Chico), Maria del Pilar, Rosa Maria, Roberto, Teresa (Pet), Evangelina (Lynn), y Eduardo. Formaron familia Cristiana feligrés practicante tal que Lu fue ministro de culto pastor oficiante

encargada de un Templo en Dallas Tex. Mi tío Raymundo tuvo que enfrentar la "Recesión del 29" en tierra extraña y sin asideras, en la que no había algo para comer; solo con la Ayuda Dios, salió de ese trance. Y a en época estable trabajo afanosamente hasta doble turno por años para darle estudios profesionales que se graduaron sus hijos varones como ingenieros civil, mecánico, arquitecto, administrador y; algunas de sus hijas en idiomas y ministros de culto metodista.

Mis Tíos Luís Barcena S. y Sofía Velásquez formaron unido matrimonio del que procrearon a Rafael (mi carnal), Valente, Luís, Juan Mateo Ernestina y Roberto, todos ellos nacidos en México Distrito Federal. Mi tío Luís como chofer de autobuses foráneos y luego transportista forjó a sus hijos con su labor recorriendo las nacientes carreteras de México Pachuca Cd. Valles.

Mi tío Jorge Santillán y mi tía Esperanza Bracho formaron idílica pareja que vivió dulce alimento en su armoniosa vida conyugal; con residencia en Pachuca Hidalgo, Su trato afable a la familia es inolvidable.

Mis Tíos Pascual Pérez y Rita Barcena formaron matrimonio procreando a Felipe, Humberto, Daniel, Ernestina, y María Elena (Pico). Cada uno con denuedo ha dejado buena huella a su paso por la vida.

Mi Tío Rafael Vargas Rodríguez y Esther González procreo a Rafael, Víctor, Marcos, Miguel Ángel y Lourdes, Edgar, Gabriela ...

Mis Tíos Demetrio Hernández R. y Concepción López V matrimonio en el que procrearon a mis primos Darío, María Dolores, Alicia, Martha Daniel, David, Irma, Margarita, Carlos, José Luís con los que convivimos muchos felices años en Ángela Peralta No.18 Pachuca Hidalgo..

A mis tíos Roberto Navarro y María Cristina Vargas ellos engendraron tres amados hijos y primos nuestros: María Cristina, Como médico especializada en urgencias. Roberto como operador de sistemas y algo más. Georgina Coqui <"Codoskoskis"> que hace 26 años voló a la eternidad; ella, de quien han recibido protección mis hijos en muchos momentos aciagos; "sin ellos saberlo", Labor de Amor Espiritual.

El Abuelo Manuel Vargas Durante sesenta años atendió su "Relox de Arena" en Pachuca; debiendo madrugar muchos años a las 4:00 de la mañana para esperar el ferrocarril con el pulque y poderlo seleccionar oportunamente. De ese negocio

Cantina, salió no solo buenísimas bebidas tragos inefables sino el sustento de la familia en gran forma. Y, de quien recibimos enseñanza administrativa gran ahorrador por “partidas” en botecitos que ahora es de gran rimbombancia su práctica.

A mis Maestros:

En especial a los ingenieros: Carlos Escurdia y Vertiz, y Jesús Cruz Wilson. Que en términos epicúreos su imitable labor magisterial y profesional constituyeron acabado modelo académico profesional cuya volitiva aceptable influencia dieron orientación en mi vida profesional laboral y personal; por lo que:

El ingeniero Carlos Escurdia y Vertiz maestro de: algebra, geometría, trigonometría, geometría analítica, calculo infinitesimal, diferencial e integral, matemáticas en una palabra, de la escuela Vocacional Única perteneciente a la Escuela de Estudios Técnicos No,15 Pachuca, Hidalgo. El maestro Escurdia, forjó durante más de cuarenta años, generaciones de jóvenes estudiantes del área de ingeniería, quienes fueron favorecidos de la férrea disciplina que el maestro inducía en su clase “solo se escuchaba el ruido del gis” al revisar los alumnos al pizarrón los ejercicios de la tarea cotidiana que dejaba”, condicion para asistir a clase era parte de la disciplina de su cátedra. Eso forjó costumbre y sistema, que permitió sólida formación de generaciones de estudiantes que lograron su aprendizaje más que solo aprobación; en su mayoría, les hizo triunfar en la escuelas de ingeniería de la Universidad Nacional, y del Politécnico Nacional en la ciudad de México D. F. Por esa constante ardua labor el Maestro Escurdia “forjador de ingenieros” merece se le honre con una aula que lleve su nombre en su Honor.

Por su parte el ingeniero Jesús Cruz Wilson cuya preparación no solo académica llegó a niveles de erudición en varias disciplinas, fue él, foco de enseñanza fortuita de múltiples ingenieros químicos, mecánicos, civiles y eléctricos dentro de Petróleos Mexicanos en el área de procesos, e ingeniería de proyecto de la subdirección de Proyectos y Construcción de obras (SPCO), hoy desaparecida. El ingeniero Cruz Wilson es ejemplo personal y profesional por su sencilla y honesta manera de ser; él, entre muchos trabajos ejemplares desarrolló por su cuenta “la primera ingeniería de proceso por mexicano para una planta de absorción del Complejo Ciudad PEMEX” ocurrido en los años 1964 a 1966, mérito personal que fue luego otorgado como currículo al Instituto Mexicano del Petróleo. Al igual, al final de los años setentas, magistralmente resolvió en forma personal el problema del descontrol del pozo “Iztoc I” que había caído en la condición de ¡pozo descontrolado”. que después de noventa

días de infructuosos esfuerzos de los profesionales y recursos humanos y materiales del área de Explotación de Petróleos Mexicanos, junto con especialistas extranjeros que, después de ese tiempo, sus esfuerzos, fueron insuficientes para resolverlo. Situación que le fue informada a “Cruz Wilson” para buscar una solución de parte de la “gente de ingeniería”. Y Eso, JCW lo hizo en solo tres días de estudio del comportamiento del pozo y cálculos de “mecánica de fluidos” en tres fases y mecánica de partículas”; analizó el comportamiento del pozo descontrolado, permitiéndole diseñar la solución mecánica primero para taponarlo “bajándole la presión al pozo” mediante la inyección de “balines” de acero y plomo aprovechando los preventores del pozo. Luego, al personal de SPCO le dio diseños y recomendaciones para recuperación y quemado de hidrocarburos gaseosos. Permitiendo esa situación la colocación de válvulas de corte. Al final, la solución implementada por Cruz Wilson, fue en menos de veinte días.. Para tener idea de la dimensión técnico académica de ese logro la British Petroleum (2011) tuvo un pozo descontrolado en la costa del Golfo en Estados Unidos con multimillonarias pérdidas que lograron resolver ese problema después de mas de cincuenta días. Si Jesús Cruz Wilson sin duda fue, y es un prototipo de “hombre del renacimiento” ...

Por igual agradezco plenamente todo lo aprendido de mis maestros y compañeros de estudio en todos los niveles recorridos desde la escuela primaria hasta el nivel de maestría en Sistemas de Energía MSE FI UNAM. Y, por lo aprendido de todos mis compañeros de trabajo, quienes en sus diferentes trincheras han contribuido a mi desarrollo y desempeño laboral.

La Familia Vega Arellano: Toño y Celina quienes forman amoroso sólido matrimonio del que fructificaron cuatro nobles hijos: Antonio, Juan, Luís, y Carlos; quienes nos honran con su amistad que trasciende hasta sus amadas esposas e hijos, quienes nos miran como familiares; Su apoyo ¡es invaluable!

A mis amigos:

Nestor Arteaga Montiel, amigo desde la infancia juventud madurez, y entrada a la mayoría de edad, Neto quien fue un buen deportista en casi todas las disciplinas: “haciendo un esfuerzo mayúsculo no alcanzó a contestar un revés perdiendo el punto y, la Vida”.

Sócrates López Flores: callada labor personal en la amistad que me honra y, cumplido puntual eficiente profesional de la ingeniería química, característica que adorna su preparación profesional ...

Manuel Hidalgo Manzano mi amigo y compañero de estudios desde la primaria secundaria, vocacional, profesional mas las vivencias comunes acompañaron nuestra franca amistad. El ahora padre de dos amados hijos con su Esposa Sonia Young

Anibal Estrada, Martín y Vicente Sánchez Ramírez, Ernesto Pérez Rodríguez, Enrique Romero Butrón fueron compañeros de la escuela y convivencia en “departamento de estudiantes” durante más de ocho años sin duda acrisoló sólida amistad entre todos esos amigos sin distinción ... Antes: Baldomero Bustamante, Salvador García Vidales, Edgar Peña. Sergio Cruz C., Hugo Molina, Víctor Grañas G. Victor Trejo Torres (VTT); ahora Bertin, me distinguen con su amistad.

Otros magníficos amigos que siempre esperan con igualdad de apertura a que llegue a consultarles hondamente reflexionar sus contenidos inefables en casos como El Ramayana, Bahavad Gita, Los Evangelios, Eclesiastés, Cantar de los Cantares, Apocalipsis, en una Palabra La Biblia, Los Vedas, Zend Avesta, J. El Hijo del hombre, Popol Vuh, Dhama Phada, El Libro de Los Muertos, La Ciudad de Dios, La Republica, Ética a Nicómaco Los Grandes Iniciados, El Principito, Así Hablaba Saratustra, La Divina Comedia, La Iliada, La Odisea, Crítica de La Razón Pura, Critica de La Razón Practica, El Tercer Ojo, El Retorno de los Brujos. El Laberinto de la Soledad. Juan Rulfo, La Palabra Educación,