

Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”

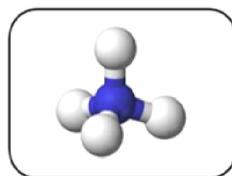
Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

Trabajo de Diploma



**En Opción al Título
De Ingeniero Químico**



Título:

“Análisis prospectivo medioambiental en la refinería de petróleo de Cienfuegos y las tecnologías de eliminación de Azufre en el agua de sus procesos”

Autora:

Zurisleidy González Clak

Tutores:

MSc. Gabriel Orlando Lobelles Sardiñas

Dr. Eduardo Julio López Bastida

Cienfuegos, 2014



Pensamientos

“...vegetar no es vivir. Vivir es tener algo que hacer. Vivir es tener una meta, un objetivo, una tarea, una obra a la cual dedicar el tiempo, la energía, y dedicar la vida...”

“Se pueden adquirir conocimientos y conciencia a lo largo de toda la vida, pero jamás en ninguna otra época de su existencia una persona volverá a tener la pureza y el desinterés con que, siendo joven, se enfrenta a la vida.”

Fidel Castro Ruz



“Constancia y más constancia, no importa caer una y cien veces, lo importante es saber caer con dignidad, con bandera y levantarse al primer momento oportuno y seguir la batalla, y caer y volver a batallar y seguir. Esa es la vida.”

“Pienso que hay combates que son necesarios, que a veces, incluso, hay que buscarlos y no dejarse llevar por derrotismos, temores, y pienso que hay combates que son inevitables en este camino de búsqueda de la verdad y de la vida”.

Hugo Rafael Chávez Frías



Dedicatoria

*Hoy quisiera dedicar
todo lo que he logrado
a mis padres que me han dado
las fuerzas para luchar,
fue la forma de alcanzar
lo soñado en el ayer.
A mi novio por saber
con su amor y atención
brindarme de corazón
lo suficiente para vencer.*

*A ese padre genial
que tiene todo cubano,
con ese calor humano
que lo hace tan especial.
La figura principal
que me dio la oportunidad
de cursar la Universidad,
no más nadie sino él,
el más grande que es Fidel,
quien completó mi felicidad.*

*A abuelo por ser sincero,
hermana y sobri que ahí han estado,
a mi familia que me ha apoyado
sin ponerme ningún pero,
a las personas que más quiero,
incluso los que no están.
A los que me han reconocido,
los que siempre han confiado,
a los que por mí han apostado,
regalo lo que he obtenido.*



Agradecimientos

A mis padres Edenio e Idaimé que son lo más grande que tengo en la vida, nadie mejor que ellos saben de todo el sacrificio que he tenido que experimentar, todos los obstáculos que he aprendido a vencer y todas las aspiraciones que siempre he tenido. A ellos les debo lo que soy, por ayudarme a alcanzar mis sueños, por sentirse orgullosos de mí, por formarme como mejor persona.

A mi novio Yorlan ¡Mi amorcito! Gracias por compartir tu vida conmigo; por mostrarme amor, apoyo, confianza y cariño incondicional. Gracias por tu ayuda personal y profesional, por formar ese dúo espectacular conmigo que nos identifica no solo como pareja sino también como dos buenos amigos. Bien sabes cuánto te amo y admiro por ser precisamente una persona tan especial.

A mi familia en general (incluso los que no están) por todo su apoyo, especialmente a mi hermana Zuramy, mi sobri Zuany Kmila y mi abuelo Florentino.

A mis tutores Lobelles y Kuten por darme la mano en un momento tan necesario.

A todos los profesores que he tenido, incluyendo los de la educación primaria por enseñarme y contribuir a formarme como profesional.

A quienes me dieron la posibilidad de realizar mi tesis de grado en una empresa de este tipo.

A todos los que hicieron posible la realización de mi tesis, *especialmente a Dianni.*

A quienes me admiran y confían en mí e incluso a los que pudieron y no quisieron ayudarme, quiero que sepan que me dieron más fuerzas para creer en mí y saber que todo lo que uno se propone en la vida se alcanza.

Al compañero Fidel por ser tan *GRANDE* y hacer posible mis sueños de estudiar en la universidad.

... a todos ¡Muchas Gracias! y ojalá algún día pueda retribuir sus valiosos detalles



Resumen

El estudio “Análisis prospectivo medioambiental en la refinería de petróleo de Cienfuegos y las tecnologías de eliminación de Azufre en el agua de sus procesos” fue motivado por el elevado nivel de emisiones gaseosas, el cual se incrementará en el proyecto expansión. Para ello se efectuó un análisis prospectivo con el objetivo de visualizar posibles escenarios futuros. A partir de lo anterior se creó una metodología, basada en la de Michel Godet y trabajada por trece expertos, seleccionados a través del Delphi, quienes realizaron el diagnóstico sobre las principales debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades existentes en la industria mediante la Matriz DAFO. Como resultado se ubica a la empresa en una posición **adaptativa** para lo cual se identificó un problema general y se brindó una posible solución. Posteriormente se trabajó con los métodos MIC-MAC y MACTOR, los cuales dieron a conocer las variables y actores claves respectivamente. Luego se empleó el SMIC que apoyado en las hipótesis propuestas, conformó un total de sesenta y cuatro escenarios de los cuales se pudo seleccionar el más deseado, aunque este no presenta la mayor probabilidad de ocurrencia. Como resultado se propuso un plan de mejoras, que permitirá hacer sostenible el proceso de refinación. Las conclusiones dan respuesta a los objetivos trazados y validan la hipótesis presentada. Las recomendaciones indican la necesidad de profundizar en estos estudios con vistas a encontrar la aplicación de las mejores prácticas industriales.

Palabras claves: *prospectivo, refinación, emisiones, escenarios, sostenible*



Abstract

The study, " Prospective Environmental analysis in the Cienfuegos oil refinery and sulfur removal technologies in her water processes " was motivated by the high level of gaseous emissions, which will increase in the expansion project. This prospective analysis was performed in order to visualize possible future scenarios. From the above methodology, based on that of Michel Godet and worked thirteen experts, selected through Delphi, who made the diagnosis of the main weaknesses, threats, strengths and opportunities in the industry through the SWOT matrix was created . As a result the company is located in an adaptive position which identified a general problem and a possible solution is provided. Subsequently worked with the MIC-MAC and MACTOR methods, which gave identify variables and key players respectively. SMIC I supported the proposed hypothesis is then used, he settled a total of sixty four scenarios which could select the most desired, though this is not the most likely to occur. As a result an improvement plan that will make sustainable the refining process was proposed. The conclusions provide answers to the objectives and validate the hypothesis presented. The recommendations indicate the need for further in these studies in order to find the implementation of industry best practices.

Keywords: *prospective, refining, emissions, scenarios, sustainable*



Tabla de contenido

Introducción.....	9
Capítulo 1. Marco Teórico de la Investigación.....	14
1.1 Fundamentos de la refinación del petróleo	14
1.1.1 Azufre como contaminante del petróleo.....	15
1.1.2 Tecnologías empleadas en el proceso de eliminación de Azufre	19
1.1.2.1 Claus modificado.....	20
1.1.2.2 Proceso Claus enriquecido con Oxígeno	23
1.1.2.3 Reactores Claus isotérmicos.....	24
1.1.2.4 Procesos para el aumento de la eliminación (Unidad de Tratamiento de Gas de Cola)	24
1.1.2.5 Proceso de recuperación de Azufre	25
1.2 Aspectos relacionados con la Prospectiva	27
1.2.1 Enfoques de la Prospectiva	30
1.2.2 Fases de la Prospectiva.....	32
1.2.3 Principales métodos o técnicas Prospectivas	35
1.2.3.1 Método Delphi	35
1.2.3.2 Método de extrapolación de tendencias.....	36
1.2.3.3 Método de Brainstorming o tormenta de ideas.....	36
1.2.3.4 Método de panel de expertos	36
1.2.3.5 Método de árboles de relevancia.....	37
1.2.3.6 Método de análisis morfológico	37
1.2.3.7 Método de análisis estructural.....	37
1.2.3.8 Método de impacto cruzado	37



1.2.3.9 Método de mapas de trayectorias tecnológicas (TRM-Technology Roadmaps).....	38
1.2.3.10 Método de juegos de actores	38
1.3 Prospectiva Tecnológica	39
Capítulo 2. Propuesta de Metodología para el Análisis Prospectivo.....	44
2.1 Caracterización de la refinería “Camilo Cienfuegos” y los procesos de eliminación de Azufre.....	44
2.1.1 Sección 100. Desalación Eléctrica	45
2.1.2 Sección 100. Destilación Atmosférica	46
2.1.3 Sección 200. Reformación Catalítica	49
2.1.4 Sección 300. Hidrofinación de Diesel.....	50
2.1.5 Sección 400. Fraccionamiento de Gases.....	50
2.1.6 Sección 600. Caldera Recuperadora	51
2.1.7 Planta MEROX.....	51
2.1.8 Sección de Procesos Auxiliares.....	52
2.1.9 Sección de PTR. Planta de Tratamiento de Residuales	52
2.2 Diseño de metodología para el análisis Prospectivo	53
2.2.1 Lanzamiento del estudio (Método Delphi).....	55
2.2.2 Análisis integral de la situación (Matriz DAFO).....	55
2.2.3 Identificación de las variables claves del sistema y de sus interrelaciones (Análisis en el MIC-MAC)	59
2.2.4 Anticipación y confección de la evolución del futuro (Análisis en el MACTOR).....	61
2.2.5 Elaboración de los escenarios prospectivos (Análisis en el SMIC).....	63
2.3 Método de los escenarios	65



2.3.1	Definición y clasificación	65
2.3.2	Ventajas y desventajas	65
Capítulo 3. Análisis de los Resultados.....		68
3.1	Lanzamiento del estudio (Método Delphi)	68
3.2	Análisis integral de la situación y búsqueda de variables estratégicas (Matriz DAFO).....	71
3.3	Análisis estructural. Identificación de las variables claves del sistema y de sus interrelaciones (Análisis en el MIC-MAC)	75
3.3.1	Listado de variables y conceptualización	75
3.3.2	Relación entre variables.....	78
3.3.3	Identificación de las variables claves	79
3.4	Análisis del juego de actores. Anticipación y confección de la evolución del futuro (Análisis en el MACTOR).....	81
3.5	Elaboración de los escenarios prospectivos (Análisis en el SMIC)	84
3.6	Propuesta de plan de mejoras.....	91
Conclusiones.....		93
Recomendaciones.....		94
Bibliografía.....		95



Introducción

En el transcurso de los años debido al desarrollo de la ciencia y la tecnología, la humanidad ha estado sometida a serios cambios en cuanto a problemas medioambientales. De ahí que uno de sus principales retos hoy día es el hecho de mitigar dichos efectos sin afectar el entorno natural y social, de la forma más racionalmente posible, con el objetivo de garantizar un futuro sostenible para el planeta.

A partir de lo anterior han incrementado notablemente las exigencias presentadas por las normas y regulaciones ambientales a nivel mundial. De ahí que los países han tenido que buscar alternativas que siendo lo más económicamente posible satisfagan las principales necesidades sin dañar el medio ambiente.

Actualmente en la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”, situada en el centro sur de la isla de Cuba, como entidad que se dedica a la refinación y obtención de diferentes combustibles con un alto valor agregado en las presentes condiciones de producción, existe un elevado nivel de emisiones líquidas y gaseosas dado por los diferentes procesos que se desarrollan, los cuales influyen en los altos costos de producción, en los costos de portadores energéticos y en el impacto medioambiental. Sin embargo, no existen en estos momentos las condiciones tecnológicas necesarias para la mitigación de dichos impactos. Con vista a mejorar este esquema se ha desarrollado un proyecto de expansión, que involucra el montaje de otras unidades de producción, así como otras unidades de procesos auxiliares cuyo objeto social es el tratamiento de los diferentes residuales.

Por otra parte es necesario destacar que se encuentra aplicando el Sistema de Perfeccionamiento Empresarial, lo cual exige la mejora continua de sus procesos, para lo que es necesario implantar los Sistemas de Gestión de Calidad, **(NC-ISO-9000, 2008)**, Medio Ambiente, **(NC-ISO-14001, 2000)**, Seguridad y Salud en el Trabajo, **(NC-ISO-18001, 2004)** y Energía, **(NC-ISO-50001, 2011)**, como



requisitos exigidos para mantenerse dentro de este sistema y que tienen como objetivos manejar con mayor eficacia y eficiencia los recursos naturales y energéticos que posee la entidad.

Gracias a varios estudios llevados a cabo por parte de especialistas se presenta entonces la siguiente **situación problémica**:

La refinería de petróleo de Cienfuegos trabaja con parámetros de calidad reconocidos según la normas internacionales y con un tratamiento adecuado de sus residuales con el objetivo de minimizar los costos de producción y mitigar los impactos medioambientales, no obstante aún persisten problemas como:

- Imposibilidad de eliminación y recuperación del Azufre presente en el crudo de alimentación.
- Las elevadas cargas contaminantes vertidas a la atmósfera y al medio ambiente a pesar del tratamiento de sus residuales.
- Elevados costos del crudo, la energía y el agua.

Unido a estas consideraciones aparecen nuevos agravantes que se deben tener en consideración, en aras de buscar las mejores soluciones amparadas en el empleo de las mejores prácticas mundiales.

Con la reactivación y puesta en marcha en 2007, las emisiones de residuales líquidos se incrementaron considerablemente, lo cual impacta en los costos de producción y también en la contaminación ambiental. Posteriormente se incorporó al proceso la Unidad Hidrofinadora de Diesel, apareciendo entonces los residuales gaseosos. En la actualidad se trabaja en la expansión de la refinería, donde se incorporarán nuevas plantas de proceso que tendrán un aporte significativo de residuales líquidos y gaseosos. Ante esta problemática se vislumbra un escenario inseguro para el entorno y para los costos de producción y de la empresa en general. Todo esto motivó la búsqueda y replanteo de futuros



nuevos escenarios y sus posibles soluciones para enfrentar la problemática descrita, ante esta situación se identificó el siguiente:

Problema Científico:

¿Es posible determinar mediante un análisis prospectivo el mejor escenario para la eliminación de Azufre en el agua, en los procesos de refinación de petróleo?

Hipótesis:

Con la aplicación de las herramientas que sustentan el análisis prospectivo estratégico al sistema de eliminación de Azufre en el agua, se podrán proponer y validar diferentes escenarios en función de recomendar un plan de mejoras que, permita la sostenibilidad del proceso de refinación.

Objetivo general:

Analizar mediante la prospectiva estratégica el proceso de eliminación de Azufre en el agua de los procesos de refinación de petróleo en la refinería “Camilo Cienfuegos”.

Objetivos Específicos:

1. Realizar un marco teórico referencial que sustente el uso de los análisis prospectivos en los procesos industriales.
2. Proponer una metodología que permita el análisis prospectivo estratégico en los procesos de refinación de petróleo.
3. Validar la metodología propuesta para la eliminación de Azufre en el agua de dichos procesos.
4. Recomendar un plan de mejoras que garantice la sostenibilidad del proceso.

A partir de lo antes expuesto el presente estudio quedará conformado de la siguiente manera:



Capítulo 1. Marco Teórico de la Investigación

En este capítulo se realizará un estudio en aras de adquirir conocimientos sobre los aspectos básicos de la refinación de petróleo y sus principales contaminantes. Se analizarán además las principales tecnologías existentes, así como las bases conceptuales que sustentan a la prospectiva estratégica.

Capítulo 2. Propuesta de Metodología para el Análisis Prospectivo

En este capítulo se desarrollará una caracterización general de la empresa que será objeto de estudio, en este caso la refinería de petróleo de Cienfuegos, y se describirá la metodología propuesta para diagnosticar la situación actual y futura de esta.

Capítulo 3. Análisis de los Resultados

En este capítulo se desarrollará la metodología propuesta con anterioridad a través de algunas de las herramientas de la prospectiva, recomendadas para identificar y evaluar por los expertos, los actores estratégicos y las variables tecnológicas dentro del proceso de refinación, en busca de una mejor y más eficiente eliminación del Azufre dentro del proceso, que tributen a su vez a la sustentabilidad de la refinación.

C³²₁₆S *Capítulo 1*





Capítulo 1. Marco Teórico de la Investigación

En este capítulo se realiza una investigación con el objetivo de obtener los conocimientos previos para el estudio a realizar. Para ello se comienzan a tratar aspectos relacionados con la refinación del petróleo, teniendo en cuenta que el Azufre constituye hoy día uno de los principales contaminantes en el crudo de alimentación, así como del agua empleada en los procesos industriales que tengan relación con el mismo. Por otra parte se aborda sobre las principales tecnologías empleadas para la eliminación de tal sustancia y finalmente se hace énfasis en aspectos relacionados con la prospectiva.

1.1 Fundamentos de la refinación del petróleo

Se conoce como refinación al conjunto de procesos que tienen lugar en una refinería y se aplican al petróleo crudo, con la finalidad de separar sus componentes útiles, además de adecuar sus características a las necesidades de la sociedad, en cuanto a cantidad y calidad de los productos terminados.

Esta transformación que se efectúa para obtener los diversos hidrocarburos o las familias de hidrocarburos se logra mediante los procesos de: destilación atmosférica, destilación al vacío, desintegración catalítica, hidrotratamiento, reducción de viscosidad, así como isomerización y reformación catalítica, entre otros.

En general, el desarrollo de los centros de refinación se encuentra cerca de los centros de consumo, debido a que es más económico transportar el petróleo crudo que sus derivados. Mundialmente aunque la mayor producción de petróleo se encuentra en el Medio Oriente, la mayor capacidad de refinación se localiza en Europa, Asia y Norteamérica (**PEMEX, Petróleos Mexicanos, 2014**).

Este crudo, como ha sido dicho anteriormente, es una mezcla de cientos de productos diferentes, que van desde el gas metano hasta el residuo pegajoso, con unas características físico-químicas diferentes. De ahí que se considere que existan diferentes tipos de crudos en función de sus componentes principales y de



su contenido en Azufre, teniendo en cuenta que este resulta ser uno de sus principales contaminantes.

Cabe señalar que el petróleo crudo contiene generalmente entre 0, 05 y 5 % en peso de Azufre, que se presenta en forma de sulfuro de hidrógeno (H_2S), mercaptanos ($R-SH$), sulfuros ($R-S$), disulfuros ($R-S_2$), tiofeno (C_4H_4S) y derivados del tiofeno (**Wauquier, 1995**). Por lo que los compuestos que contienen este elemento representan la impureza química que se encuentra en mayor grado en todas las fracciones del petróleo.

En forma gaseosa, se presenta principalmente como mercaptanos ($R-SH$), sulfuro de hidrógeno (H_2S), sulfuro de carbonilo (COS), disulfuros de carbono (CS_2) y cloruro de sulfonilo (SO_2Cl_2), los cuales pueden presentarse con el crudo o pueden ser el resultado de la descomposición de otros compuestos de Azufre durante las operaciones de desintegración térmica o catalítica.

Sus proporciones varían en dependencia de las características del lugar de donde se origina, tal es el caso del contenido de materia orgánica (**Olmedo Toledo, 2010**).

1.1.1 Azufre como contaminante del petróleo

Los óxidos de Azufre y nitrógeno son las principales causas de la acidificación tanto del suelo como de las aguas. Los compuestos de Azufre son responsables de dos tercios del total de la lluvia ácida, mientras que los compuestos de nitrógeno dependen de ser absorbidos por las plantas para producir acidificación. Dentro de dichos compuestos sulfurados el principal contaminante es el SO_2 y se produce mediante la combustión de carbón y del petróleo crudo. Su concentración varía de acuerdo a la procedencia del mismo por lo que se pueden dar valores de décimas de uno a dos o tres por ciento en peso.

Además el Azufre se transforma en diversos compuestos y circula a través de la ecósfera. Entra en la atmósfera desde fuentes materiales como sulfuro de hidrógeno (H_2S), gas incoloro y altamente venenoso con olor a huevos podridos. Cerca de un tercio de todos los compuestos de Azufre y 99 % del Dióxido de



Azufre que llegan a la atmósfera desde todas las fuentes, proviene de las actividades humanas. La combustión de carbón y petróleo que contienen Azufre, destinada a producir energía eléctrica, representa cerca de dos tercios de la emisión, por humanos, de Dióxido de Azufre a la atmósfera. El tercio restante proviene de procesos industriales como la refinación del petróleo y la conversión (por fundición) de compuestos azufrados de minerales metálicos en metales libres como el Cobre, Plomo y Zinc.

En la atmósfera, el Dióxido de Azufre, reacciona con Oxígeno para producir Trióxido de Azufre (SO_3), el cual reacciona con vapor de agua para producir minúsculas gotas de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) que, acompañadas por partículas de Sulfato caen a la tierra como componentes de la lluvia ácida, que daña tanto a los árboles como la vida acuática (**González Álvarez, 2012**).

Las refinерías de hoy procesan crudos cada vez con mayor contenido de Azufre. No obstante, las regulaciones ambientales son más estrictas, convirtiendo en un desafío la tarea de remoción del mismo (**Quinlan, 2 004**).

El manejo de esta sustancia en una refinерía con fines de protección ambiental, consta de cuatro procesos principales: las unidades de regeneración de amina (ARU), despojadoras de agua amarga (SWS), las unidades de recuperación de Azufre (SRU) y las unidades de tratamiento de gas de cola (TGTU).

Las unidades ARU y SWS alimentan a la SRU (Proceso Claus) y la refinерía puede contar o no con una TGTU y enviar los gases finalmente al incinerador (**Olmedo Toledo, 2010**).

Por otra parte en los procesos de refinación existe un consumo intensivo de agua. Como ejemplo Petróleos Mexicanos (**PEMEX., 2012**), reportó para 2012 un consumo de 4, 3 litros de agua/ litro de gasolina producido. Sin embargo este índice de consumo no permite evaluar eficiencia de las unidades de proceso, pues se trata más de un índice económico que de un índice tecnológico. Hay que tener en cuenta que la gasolina se produce con la mezcla de fracciones obtenidas de varios procesos. Cabe señalar que la refinación de petróleo más bien es un



sistema donde convergen varios procesos unitarios, por consiguiente los indicadores de eficiencia o de eco-eficiencia deben calcularse para cada proceso unitario por separado.

El agua es un componente vital para muchas operaciones industriales, y se utiliza en una amplia gama de procesos industriales. Despojamiento, extracción líquido-líquido, sistemas de enfriamiento y operaciones de lavado son unos pocos de muchos procesos, que están presentes en las refinerías y plantas químicas, donde se utiliza intensivamente el agua **(Anderson, 2009); (Alva Argaez, 2007); (Lobelles,G.O, 2012).**

Dentro de los procesos de refinación de petróleo, el agua a lo largo de todo el ciclo de vida del proceso va adquiriendo contaminantes, una vez que entra en contacto con ellos. O sea el agua se va degradando en función de la profundidad del proceso en que tiene participación.

Por ejemplo **(Decoopman, 2001)** reporta la emisión de aguas ácidas residuales de los diferentes procesos, las cuales son ricas en contenidos de NH_3 , H_2S y fenoles. Su concentración respecto a la carga de la unidad puede observarse de manera tabulada **(Ver Anexo 1.1 Emisión de efluentes- aguas ácidas y los respectivos contaminantes del agua por procesos)**

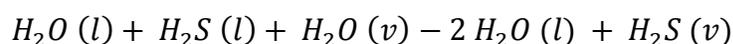
Esta categoría de aguas ácidas residuales proviene del vapor del agua desmineralizada que se utiliza para el craqueo térmico y en el hidrotratamiento. Cuando los productos pesados son craqueados (agrietados), el Azufre se convierte en H_2S y mercaptanos. Durante el hidrotratamiento, los compuestos de nitrógeno se convierten a NH_3 . La reacción entre el vapor y los hidrocarburos cíclicos produce fenol. Estos condensados son llamados condensados amargos o aguas ácidas y son ricas en NH_4^+ , HS^- y fenoles. Su concentración asciende de 6 a 12 % wt (% peso) respecto a la carga de cada unidad y no pueden ser descargados en la alcantarilla sin desulfurización previa.

En la tabla presentada en el anexo anterior puede apreciarse la mayor contaminación del agua por parte del HS^- y del NH_4^+ . En el caso del H_2S , esta



sustancia se forma en los mismos procesos de refinación por la presencia del Azufre en el crudo de alimentación. Esto ocurre sobre todo en los procesos de craqueo y de hidrodesulfurización.

Durante la limpieza, en la parte líquida el H_2O arrastra consigo el H_2S presente en los productos, convirtiéndose de esta forma en agua ácida. Entonces para eliminar finalmente ese contaminante será necesaria una torre despojadora que fundamentalmente trabaja basada en la siguiente reacción:



En esta torre despojadora, más que una reacción química, lo que ocurre es un desplazamiento (despojamiento) del $H_2S (v)$ por la acción del $H_2O (v)$, pues en condiciones operacionales de presión y temperatura, el H_2S se vaporiza a partir de los $89\text{ }^\circ\text{C}$. O sea el agua ácida entra a la torre con $84\text{ }^\circ\text{C}$ y es despojado completamente por encima de $93\text{ }^\circ\text{C}$ bajo una presión de 2, 7 atm.

Sin embargo en la parte gaseosa, el gas ácido en una torre absorbadora entra en contacto con un solvente ($CH_3N(C_2H_4OH)_2$ - metil-dietanolamina) MDEA, donde este solvente por su acción selectiva absorbe el gas H_2S y deja pasar otros gases de hidrocarburos. Después para la eliminación final de ese contaminante, se pasa a una torre despojadora y por acción del vapor de agua se separa en condiciones de $115\text{ }^\circ\text{C}$ y 2, 7 atm.

Una vez separado el H_2S , de los diferentes productos o corrientes de proceso, es necesario llevarlo a una Unidad Recuperadora de Azufre (URA) con el objetivo de lograr la oxidación del mismo en presencia de una relación estequiométrica de O_2 , para obtener Azufre elemental (S_8) y el resto de la corriente de gas de cola incinerarlo antes de emitirlo a la atmósfera.

En consecuencia existen una serie de normas y especificaciones que deben ser cumplidas de manera exacta por cada una de las refinerías, sea cual sea la tecnología empleada (**Ver Anexo 1.2 Normas de emisiones gaseosas**)



En el proceso de expansión que se lleva a cabo en la refinería en estudio, en el proyecto global, se aplica con mayor énfasis la norma **(IFC, 2007)**, del grupo de normas del Banco Mundial. En esta se especifica que el máximo de emisiones permisibles para NO_x es 450 mg/Nm^3 y de SO_x es de 150 mg/Nm^3 para las unidades de recuperación de Azufre, 500 para el resto de unidades, así como 50 mg/Nm^3 para partículas sólidas y 10 mg/Nm^3 de H_2S .

No obstante, durante la fase I del proyecto, se aplicarán las normas de la agencia **(APA A. p., 2010)**, que establece solo hasta 300 ppmv de SO_2 y 10 ppmv de H_2S , cuando se prescinde del incinerador.

Así como la regulación **(Decreto.638, 1995)** de Venezuela. A los efectos de esta se establecen límites de calidad del aire para algunos contaminantes de la atmósfera y se tiene en cuenta además las plantas nuevas y existentes.

1.1.2 Tecnologías empleadas en el proceso de eliminación de Azufre

La presencia del Azufre en el crudo de alimentación a la refinería ha motivado el desarrollo y empleo de diferentes tecnologías para la eliminación del mismo durante el proceso, con el objetivo de garantizar los parámetros de calidad exigidos para cada producto de la refinación. Cada día son más exigente dichos parámetros, sobre todo por el impetuoso desarrollo que ha alcanzado la industria automovilística en el mundo. A lo cual se une las exigencias medio ambientales tanto para los sistemas de combustión, como para los procesos de refinación e industriales en general.

Visto así, aparecen los sistemas de eliminación de Azufre para las corrientes gaseosas del proceso de refinación de petróleo, como son los tratamientos con diferentes tipos de aminas, por su carácter selectivo respecto al H_2S . Para el caso de la refinería objeto de estudio se emplea una solución acuosa de metil dietanol amina (MDEA) al 40% de concentración.

En el caso de las corrientes gaseosas, después que son tratadas con MDEA, esta se convierte en amina rica pues absorbe el H_2S presente en dichas corrientes. Posteriormente esa MDEA debe ser regenerada para su recuperación,



pero al ser despojadas con vapor del H_2S , este es enviado a la atmósfera a través de las antorchas, sin que se logre con esto un tratamiento adecuado. Entonces serán incumplidas las normas y regulaciones medio ambientales existentes.

También existen otros métodos como el empleo de sosa cáustica al 15 % de concentración, para el caso de las corrientes líquidas del proceso de refinación y las despojadoras de aguas ácidas con el empleo del vapor de agua para provocar la separación del H_2S de dichas aguas. Posteriormente ese H_2S despojado es enviado a las antorchas como fue descrito anteriormente. Sin embargo se debe señalar que en ambos casos se logra eliminar el Azufre de las corrientes líquidas o gaseosas, pero con el inconveniente de que generan un efluente líquido muy agresivo, para el primer caso, que por supuesto requiere un tratamiento posterior.

Para el cumplimiento de las regulaciones existentes en el ámbito ambiental, generalmente se emplea una combinación de tecnologías con el objetivo de eliminar primero, el H_2S presente en las corrientes líquidas o gaseosas del proceso y después recuperarlo como Azufre elemental. De esta forma se elimina totalmente del entorno a la vez que se convierte en un producto comercializable con cierto valor agregado.

Para este objetivo aparecen entonces las tecnologías Claus o unidades recuperadoras de Azufre. Teniendo en cuenta que el proceso Claus no es capaz de recuperar una porción superior al 95 % se fueron desarrollando otras tecnologías. Posteriormente se realizará la descripción de algunas de las que se conocen hasta el momento y se consideran de mayor importancia (**Chematek S.p.A., 2013**).

Nota: Serán identificadas con * las que presentan limitaciones para la República de Cuba debido al bloqueo económico.

1.1.2.1 Claus modificado

En 1938, la empresa alemana I. G. Farbenindustrie A.G., desarrolló un proceso Claus mejorado denominado Claus modificado. La modificación no solo aumentaba la capacidad del proceso, sino que además permitía la recuperación

energética del calor antes disipado. El diseño modificado se muestra a en la siguiente figura.

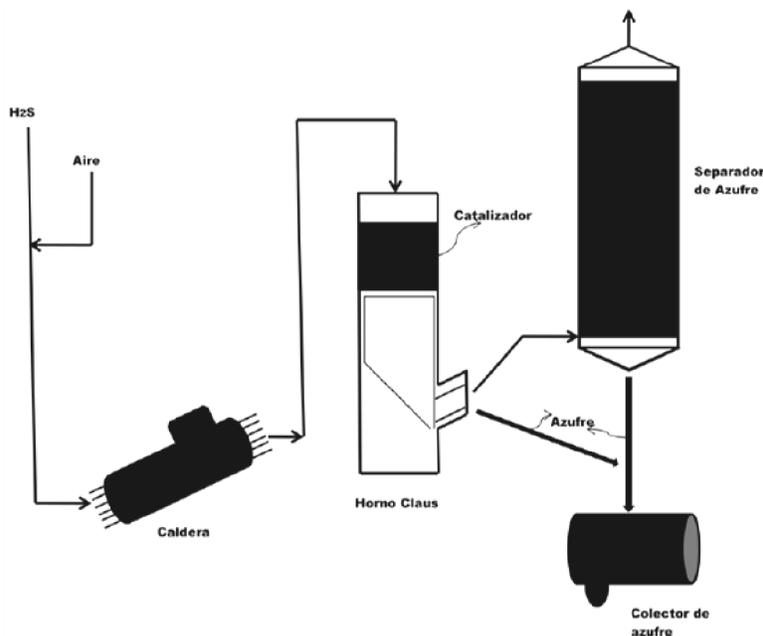


Figura 1.1 Proceso Claus Modificado

La oxidación parcial del H_2S se verifica en dos etapas. En la primera etapa un tercio del H_2S a reaccionar, se oxida con oxígeno del aire quemándose en una caldera y el calor generado se emplea para la producción de vapor. Esto se realiza en una cámara de combustión a altas temperaturas ($1\ 000-1\ 400\ ^\circ C$). En esta etapa térmica se forma SO_2 , algo de Azufre y una porción del H_2S permanece sin reaccionar.

En la segunda etapa los $2/3$ restantes de H_2S reaccionan en presencia de un catalizador, con el SO_2 producido en la caldera para formar Azufre elemental.

Los beneficios de este esquema son los siguientes:

- En torno a $4/5$ de la energía producida por la reacción global se recuperan.
- Se elimina el problema de mantener bajas temperaturas en el horno Claus.

- La capacidad de tratamiento se incrementa unas cincuenta veces.

Hornos de Reacción con Flujo dividido

La presencia de cantidades significativas de Amoniacó requerirá la utilización de técnicas especiales para lograr su destrucción en el horno de reacción y evitar así la deposición de sales de amonio en el catalizador de las etapas siguientes.

Un esquema muy utilizado para lograr esta destrucción es dividir el flujo de corrientes que no contienen Amoniacó, por ejemplo el tope de unidades de regeneración de Aminas. Tal como muestra la siguiente figura, donde todo el gas proveniente del despojador de Aguas Agrías, el aire de combustión y una fracción del Gas Ácido de Aminas (normalmente alrededor del 20 %) se queman en una zona de alta temperatura del horno de reacción. En esta zona, se intenta llegar a temperaturas cercanas a los 1 300 °C de modo de garantizar la conversión del Amoniacó en Nitrógeno, con mínima formación de Óxidos de Nitrógeno y SO₃. La cantidad de gas ácido de la unidad de Aminas debe ser suficiente para asegurar esta temperatura. Además se debe controlar la cantidad de gas ácido que ingresa a esta zona para no sobrepasar la temperatura máxima permisible para el aislamiento del horno.

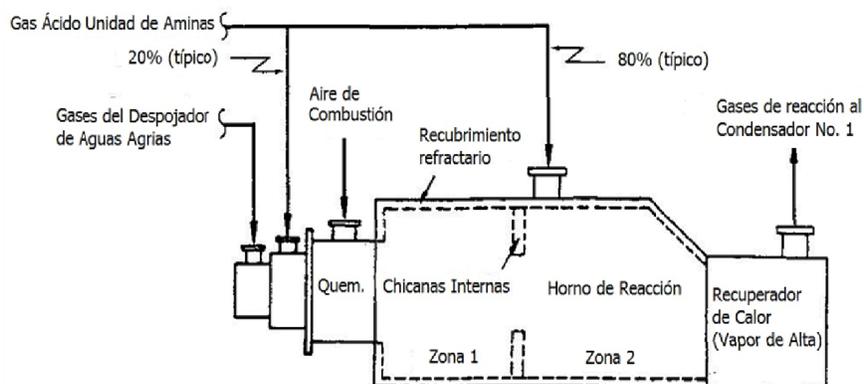


Figura 1.2 Horno de reacción para procesar corrientes del despojador de aguas ácidas

Quemadores de Alta Intensidad*.

Otro método existente para la destrucción del Amoniacó es combinar todas las corrientes a ser tratadas en el horno de combustión y la cantidad necesaria de

aire para lograr la conversión de parte del H_2S en SO_2 a un tipo especial de quemador de alta intensidad.

Un quemador muy utilizado que aplica este concepto es el denominado “Duiker”, mostrado en el siguiente esquema.

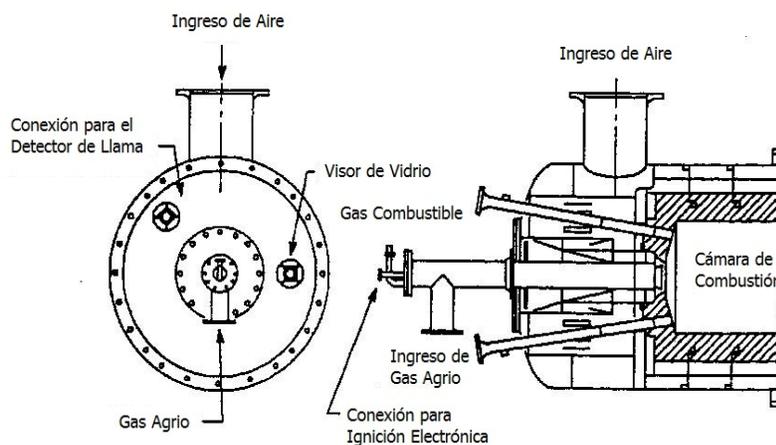


Figura 1.3 Quemadores de alta intensidad

Estos quemadores deben asegurar una mezcla íntima entre las corrientes a ser tratadas y el aire de combustión, de modo tal que se logre una alta temperatura de llama y el tiempo de residencia necesario para la destrucción total de Amoniaco.

1.1.2.2 Proceso Claus enriquecido con Oxígeno

Se desarrolla con el objetivo de aumentar la capacidad del soplador de aire de combustión. Se viene utilizando desde los años 70 para aumentar la temperatura de llama en el horno de reacción cuando el gas a tratar tiene baja concentración de H_2S , recién en 1 985 se comienza a usar esta técnica para aumentar la capacidad de procesamiento de gases agrios en plantas existentes. No obstante, no es una tecnología que se utilice para el diseño de plantas nuevas ya que su impacto en la reducción del costo de inversión puede estar más que compensado por un aumento en el costo operativo (suministro de Oxígeno, transporte a la planta, almacenamiento, etcétera).

Dicho proceso se divide en tres grupos, en dependencia de la concentración de



Oxígeno en el aire enriquecido.

Grupo 1. Con bajo nivel de Oxígeno (< 28 %)

- Agregado de Oxígeno puro.
- Proceso OXYGEN ENRICHMENT (TPA Inc.).*

Grupo 2. Con nivel medio de Oxígeno (< 48 %)

- Proceso COPE (Comprimos/Goar).*
- Proceso OXYCLAUS (Lurgi/Pritchard).
- Proceso SURE (BOC/Parsons).*
- Proceso OXYGEN INJECTION (TPA).*

Grupo 3. Con alto nivel de Oxígeno (hasta 100 %)

- Proceso COPE (Comprimos/Goar).*
- Proceso SURE (BOC/Parsons).*

1.1.2.3 Reactores Claus isotérmicos

En este diseño de proceso, el calor de reacción generado es removido de tal manera que se obtiene una operación isotérmica.

Si bien los rendimientos son similares a los obtenidos en los convertidores catalíticos convencionales (adiabáticos) los oferentes de esta tecnología aseguran que se obtienen con menor cantidad de etapas catalíticas y equipamiento.

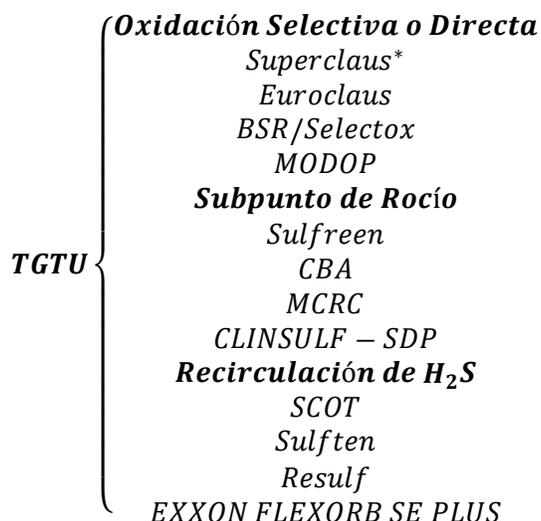
No obstante, es un diseño que no se ha generalizado y muy pocas unidades han sido construidas basadas en este concepto.

1.1.2.4 Procesos para el aumento de la eliminación (Unidad de Tratamiento de Gas de Cola)

Estos tratamientos surgen a partir de la necesidad de disminuir las emisiones de contaminantes, principalmente H_2S de las plantas Claus de recuperación de Azufre. Dentro del mercado internacional se pueden clasificar en tres grupos.



Cada uno de ellos está compuesto por diferentes tecnologías de tratamiento de gas de cola disponibles comercialmente.



Procesos de oxidación selectiva o directa (SOP): El catalizador oxida el H₂S a Azufre elemental, son un modo rentable de mejorar la recuperación de Azufre entre 98, 5 % a 99, 3 % peso

Procesos de subpunto de rocío (SDP): Con este tipo de procesos se alcanzan recuperaciones entre 98, 5 % a 99, 5 % peso.

Procesos de recirculación de sulfuro de hidrógeno: El sulfuro de hidrógeno se recircula al horno Claus después de pasar por un tratamiento principalmente con aminas selectivas. Además se logran recuperaciones más altas, entre 99, 5 % a 99, 99 % peso.

1.1.2.5 Proceso de recuperación de Azufre

En una refinería la recuperación de Azufre se refiere a la conversión de Sulfuro de Hidrógeno (H₂S) a Azufre elemental. Consta de cuatro procesos principales: las unidades de regeneración de amina (ARU), agotadores de agua amarga (SWS), las unidades de recuperación de Azufre (SRU) y las unidades de tratamiento de gas de cola (TGTU).

Las unidades ARU y SWS alimentan a la SRU. A este procedimiento se le denomina Proceso Claus. Fue descrito por Alexander Chance y Carl Freidrich

Claus en 1 885. Desde entonces figura ser el principal para recuperación de Azufre a partir de corrientes de gas ácido. Permite tratar directamente una alimentación de fuel gas ácido con riqueza en H₂S entre el 50 y el 100 %.

En la actualidad, la unidad de recuperación de Azufre Claus generalmente consta de dos secciones distintas: la sección térmica (sección inicial), que comprende el horno de reacción, la caldera de recuperación y el primer condensador; y la sección catalítica (sección final) que está constituida por el resto del equipo en línea desde la salida del primer condensador hasta el incinerador de los gases residuales (o de cola) y la chimenea (**Dirección de Tecnología, 2002**). En la siguiente figura se expone lo anteriormente planteado.

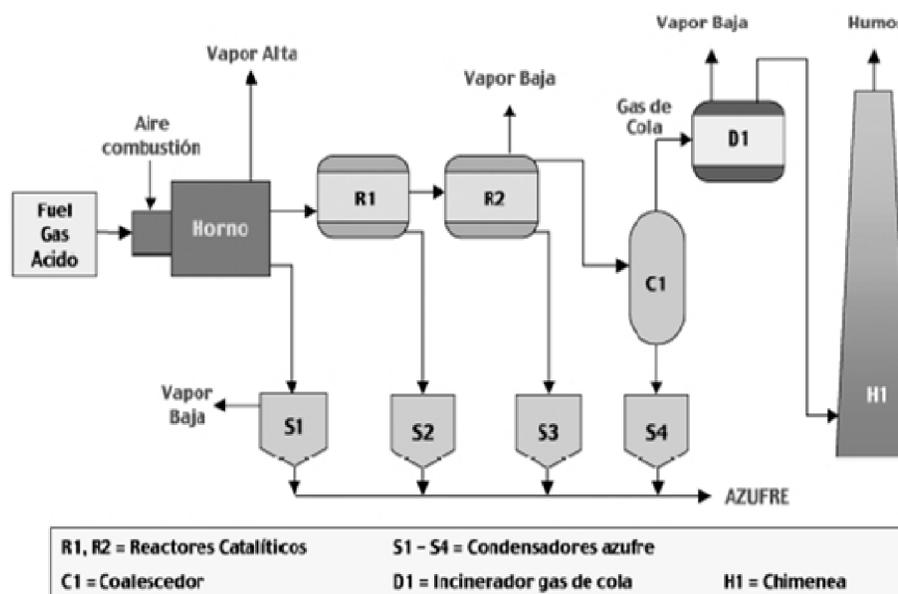


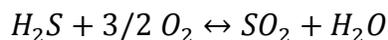
Figura 1.4 Proceso Claus

El quemador del reactor térmico destruye los hidrocarburos y el amoniaco presentes en la composición química de la carga a la unidad, además suministra una oxidación parcial controlada de H₂S para formación de Azufre en el horno de reacción.

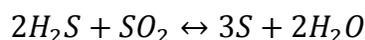
A dicho horno se le suministra inicialmente gas, combustible y oxígeno ya que son los factores que dan lugar a la formación del triángulo de fuego, así como a la oxidación aproximada de una tercera parte del H₂S en la alimentación de gas



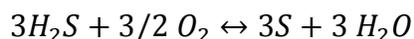
ácido con aire de la combustión para formar SO_2 :



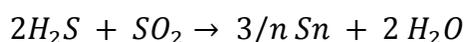
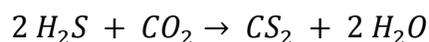
El SO_2 formado de esta manera reacciona con el H_2S restante (Reacción Claus) para dar Azufre elemental:



De ahí que la reacción global está dada de la siguiente manera:



Además ocurren otras reacciones colaterales indeseables entre los hidrocarburos y el dióxido de carbono en el gas ácido, produciendo CO , H_2 , COS y CS_2 .



En el caso de COS y CS_2 no se convierten fácilmente en Azufre y por tanto reducen la eficiencia global de recuperación del Azufre.

De manera general el proceso Claus con dos etapas catalíticas, logra un porcentaje de recuperación de 94 a 95 % peso y con tres etapas catalíticas, se alcanzan recuperaciones alrededor del 96 al 97 % peso del Azufre total de la alimentación.

1.2 Aspectos relacionados con la Prospectiva

Para el Instituto de Prospectiva Estratégica de España, la prospectiva es una disciplina con visión global, sistémica, dinámica y abierta que explica los posibles futuros, no sólo por los datos del pasado sino fundamentalmente teniendo en cuenta las evoluciones futuras de las variables (cuantitativas y sobre todo cualitativas) así como los comportamientos de los actores implicados, de manera que reduce la incertidumbre, ilumina la acción presente y aporta mecanismos que conducen al futuro aceptable, conveniente o deseado (**Medina ; Ortegón, 2006**).



Por otra parte Gastón Berger (**Eslava, 2010**) (uno de los fundadores de la disciplina) la define como la ciencia que estudia el futuro para comprenderlo y poder influir en él. Aunque de hecho es, paradójicamente, una ciencia sin objeto que se mueve entre la necesidad de predecir lo que puede ocurrir y el deseo de inventar el mejor futuro posible. Porque aunque el devenir no puede predecirse con exactitud, se puede imaginar el mañana preferido.

Hugues de Jouvenel afirma que se apoya en tres postulados: el primero, el postulado de la libertad, el segundo, el del poder y el tercero el postulado de la decisión. Eduardo Rivera Porto (**Balbi, 2009**) comenta, sobre estos postulados, que la libertad es la convicción que se tiene de que el futuro no está determinado, sino que al contrario permanece abierto a una pluralidad de futuros posibles. En otras palabras, el futuro no es algo ya hecho, y que no puede ser el objeto de conocimiento sensible ni de profecías exactas.

Al aceptar que el futuro es el dominio de la libertad, se comprende que es al mismo tiempo el dominio de la potencialidad entendida como base del poder. Aquí irrumpe la necesidad humana de intervenir en la marcha de la historia, de administrar su progreso en lugar de dejarlo al oscuro juego de las fuerzas de la naturaleza que las arreglaría a través de reglas o equilibrios fundamentales.

Por último, la decisión es la posibilidad de seleccionar-con la libertad del primer postulado y con el poder o la factibilidad de su ejercicio (segundo postulado)-cómo intervenir frente al futuro que es formulado como hipótesis de evolución del pasado y de sus tendencias cargadas de pasado, se tiene la posibilidad de seleccionar, de tomar una opción y no otras para modelar el futuro que más convenga. Aquí la libertad se vuelve necesidad, y dicha necesidad deviene en acción.

El profesor Barel (**Barel, Definición de Prospectiva, 2008**) argumenta que la prospectiva tiene dos enfoques complementarios. Por un lado el Cognitivo o Exploratorio y por otro lado el Normativo o Decisional. En el primero, la prospectiva es un instrumento que confiere opciones, información y da un



horizonte al planeamiento. En el otro es la reflexión para la comparación de futuros, la evaluación, la previsión, el seguimiento de los cambios, el diseño del futuro deseado y a la vez, da un marco sumamente adecuado para la toma de decisiones.

Frente al futuro (también en un interesante resumen de Godet), los hombres tienen la elección de adoptar cuatro actitudes. En este caso el avestruz pasivo que sufre el cambio; el bombero reactivo que se ocupa en combatir el fuego, una vez éste se ha declarado; el asegurador pre-activo que se prepara para los cambios previsibles pues sabe que la reparación sale más cara que la prevención; y el conspirador pro-activo que trata de provocar los cambios deseados.

Al mismo tiempo, los ejercicios de este tipo movilizan a los diferentes actores sociales para generar visiones compartidas, orientar políticas de largo plazo y tomar decisiones estratégicas, dadas las condiciones y posibilidades, tanto locales, como nacionales y globales existentes.

Por tanto, la prospectiva no es predicción, utopía, ciencia ficción, profecía ni adivinación, más bien forma parte de la disciplina que se encarga de los estudios del futuro en los que han surgido distintos tipos de enfoques, métodos, procesos y resultados utilizados por organizaciones internacionales en todo el mundo **(Equipo de Universidad del Valle, 2010)**

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) define la prospectiva como el conjunto de tentativas sistemáticas para observar a largo plazo el futuro de la ciencia, la tecnología, la economía y la sociedad con el propósito de identificar las tecnologías emergentes que probablemente produzcan los mayores beneficios económicos o sociales.

Por su parte Luke Georghiou, describe la prospectiva como un medio sistemático de evaluar los desarrollos científicos y tecnológicos que podrían tener un fuerte impacto en la competitividad industrial, la creación de riqueza y la calidad de vida.

Teniendo en cuenta el objeto de estudio del presente trabajo se considera que estos dos últimos criterios resultan los más aceptados. La prospectiva, mirándola



desde este punto de vista, se considera que sea la manera correcta o más aceptada de interpretar lo que en realidad se pretende realizar a raíz del desarrollo de las tecnologías y los impactos asociados.

Por otra parte aplicar la prospectiva demanda desligarse casi totalmente del pasado. Si bien es importante aprender de él con el objetivo de ganar experiencia, no es recomendable tomar decisiones futuras basadas en escenarios ya vividos debido a que los tiempos cambian y con ellos los paradigmas, la percepción que gracias a ellos se tiene del mundo actual y que será diferente del de mañana.

En consecuencia, la prospectiva debe ser entendida como un proceso participativo y reflexivo de construcción de visión a medio-largo plazo (**Colectivo de Autores, 2008**) que tiene como primera misión contribuir a iluminar la incertidumbre del futuro: de dónde venimos, dónde estamos, hacia dónde vamos, hacia dónde queremos ir y hacia dónde podemos ir (**Lic. Vitale, 2013**).

1.2.1 Enfoques de la Prospectiva

El propósito de la prospectiva, es explorar sistemáticamente, crear y probar las posibles visiones futuras que contribuyan a controlar los cambios y, por último, innovar, generar políticas a largo plazo, estrategias, planes de acción y/o de desarrollo que ayuden a configurar las futuras circunstancias. De ahí que algunos especialistas consideraron que aunque la prospectiva es una sola, su ámbito de aplicación varía (**González, 2014**).

Prospectiva Estratégica

Es la manera de dar respuesta a una reflexión del tiempo de la anticipación ¿Qué puede ocurrir? Y al tiempo de la acción, como una realización colectiva a la estrategia donde se requiere de la participación y el trabajo colectivo ¿Qué puedo hacer? En consecuencia, la prospectiva aporta una actitud y orientación de cómo abordar el análisis, así como una variedad de instrumentos y técnicas. Por otra parte en el transcurso de los años se fueron desglosando otras aplicaciones que tuvieron lugar a partir de esta. Ejemplo de ello se muestra a continuación.



Prospectiva Territorial

Organización de un territorio y sus recursos para el desarrollo sustentable, alta calidad de vida, cuidado del ambiente y logro de la seguridad humana.

Prospectiva Urbana

Organización de áreas urbanas, sus recursos y sus áreas satélites para el desarrollo sustentable, alta calidad de vida, cuidado del ambiente y logro de la seguridad humana.

Prospectiva Política

Diseño de políticas públicas tanto de estado como de gobierno. Funcionalidad integral del sector público.

Prospectiva de la Educación

Políticas, investigación, estructuras, modos, alcances de la educación.

Prospectiva de la Salud

Políticas, contenidos, áreas, demandas, investigación, estructuras, modos, alcances de la salud.

Prospectiva Competitiva

Organización y puesta en marcha de sistemas integrados de producción, servicios, exportación, negocios, etcétera.

Prospectiva de Seguridad

Análisis de los riesgos y oportunidades en seguridad física, ambiental, industrial y del trabajo, frente a situaciones normales, excepciones o de crisis.

Prospectiva Organizacional

Análisis sobre el cuál debe ser la organización, misión, tareas y competencias.

Prospectiva Tecnológica

Diseño de políticas, estrategias y programas para lograr el desarrollo sustentable de regiones, ciudades y sectores.



Las empresas necesitan ser conscientes de los nuevos desarrollos tecnológicos, así como también revisar la relevancia de aquellos desarrollos que se produzcan en las áreas de interés de su entidad, pues las nuevas tecnologías pueden crear oportunidades estratégicas pero también amenazas, no solo en el ámbito económico, sino para el medioambiente y en consecuencia los seres humanos.

Prospectiva Medioambiental

La Prospectiva Medioambiental de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) está basada fundamentalmente en proyecciones de tendencias económicas y medioambientales, donde los retos medioambientales claves para el futuro se presentan de acuerdo a los principales problemas existentes en la sociedad.

En consecuencia, como la prospectiva es una sola y su ámbito de aplicación varía, en el presente trabajo se enfocarán fundamentalmente la tecnológica y la ambiental, pues su integración constituye el objetivo fundamental de la presente investigación.

El análisis prospectivo de una tecnología implica realizar un estudio, a partir de un diagnóstico inicial, para observar el futuro de la empresa una vez que sea sometida a transformaciones tecnológicas, es decir, a partir de las condiciones existentes, dígase recursos y posibilidades disponibles, crear una alternativa que traiga consigo beneficios no solo económicos sino también ambientales y sociales, en aras de mejorar la calidad de vida de los seres humanos.

1.2.2 Fases de la Prospectiva

La prospectiva está conformada por cinco fases que actúan de manera consecutiva (**Popper, 2008**). Seguidamente se describe cada una de ellas.

Fase Pre- Prospectiva

En la pre-prospectiva o fase de diseño, conocida además como Scoping es donde comienza el proceso, donde los participantes en conjunto con el patrocinador definen las razones o decisiones y objetivos; conforman el equipo de



trabajo del proyecto; y diseñan la metodología.

Para la definición de las razones o decisiones y objetivos, la participación del patrocinador es esencial dado que los productos finales deben (idealmente) soportar futuras decisiones.

Una vez que los objetivos estén claramente definidos y (preferiblemente) compartidos, el equipo de trabajo debe ser conformado y la estructura metodológica relevante preparada, esto es, creando un diagrama lógico de tareas y señales. Las decisiones acerca de la estructura metodológica pueden estar afectadas por los recursos: el presupuesto, experticia, apoyo político, infraestructura física y tecnológica y el tiempo.

Fase de Reclutamiento

El reclutamiento normalmente es un trabajo continuo con períodos de alta y baja intensidad a lo largo de todo el proceso. El corazón del equipo (ejemplo, coordinador científico/ administrativo y principales expertos o especialistas metodológicos) es usualmente construido en la fase de Scoping; pero adicionalmente y con frecuencia son incorporados distintos miembros al equipo (por ejemplo facilitadores).

La obtención de las fuentes de información claves y de los actores debe realizarse en las primeras etapas, es por ello que la obtención de su soporte y compromiso, son las principales actividades de esta fase.

Fase de Generación

La fase de generación es usualmente considerada el corazón del proceso, ya que es donde existe el conocimiento mezclado, analizado y sintetizado; el conocimiento tácito es codificado; nuevo conocimiento es generado; y nuevas visiones e imágenes de futuro son creadas.

Una manera sensata de organizar las actividades es pensar que consta de tres etapas:

Etapas de Exploración: Comprensión de los temas o problemas principales,



tendencias y conductores; y la comprensión de cómo los actores claves desarrollan el plan del contexto del ejercicio.

Etapa de Análisis: Comprensión de cómo el contexto de los temas o problemas principales, tendencias y conductores influyen entre ellos; y sintetizar el conocimiento generado en la etapa de exploración.

Etapa de Anticipación: Considerando análisis previos, esta etapa tiene el propósito de anticipar futuros posibles y/o sugerir unos deseables.

Fase de Acción

La Fase de Generación idealmente debe producir nuevo conocimiento y visiones atractivas al igual que lo hace la Fase de Acción. Pero si productos intermedios no son particularmente nuevos o simplemente no estimulan al patrocinador, entonces el proceso puede finalizar justo después de que la obligación contractual ha finalizado. Usando lenguaje incorrecto también puede resultar por falta de acción (por ejemplo recomendaciones de política deberían ser planeadas con léxico apropiado, mientras que las estrategias de negocios deben dar luces sobre fortalezas y oportunidades de mercado). La falta de foco también puede hacerlo todo más difícil a la hora de lograr que los resultados sean útiles; por ejemplo, cuando una enorme cantidad de información es generada pero la síntesis es insuficiente. Y esto puede ser porque el patrocinador lleva a cabo cambios difíciles tales que no se pueden llevar a cabo debido a algún cambio de régimen o crisis política, por ejemplo.

Fase de Renovación

La Fase de Renovación involucra un monitoreo y evaluación constante con el fin de analizar si el proceso de prospectiva ha ayudado a llevar a cabo los objetivos iniciales y qué tan lejos está los resultados de éstos. Uno de los retos principales aquí es el desarrollo de indicadores de éxito, el proceso puede generar nuevas preguntas y también volver a la fase de pre-prospectiva de un nuevo proceso.

Aquí es importante resaltar que la prospectiva no debe únicamente analizar y



pensar acerca de futuros desarrollos sino también soportar los actores para dar forma al futuro activamente. Entonces, la prospectiva debería únicamente ser comprometida cuando es posible hacer uso de los productos.

Tanto la Fase de Acción como la de Renovación están relacionadas con la transformación. Éstas miran las posibles implicaciones y lecciones en el presente, en la toma de decisiones, diseño de política y formulación de estrategias (incluyendo el conocimiento y política de transferencia). En lo fundamental, estas centran su estudio en cómo el futuro puede ser diseñado para mejorar.

1.2.3 Principales métodos o técnicas Prospectivas

Existen algunas formas para clasificar los distintos métodos o técnicas aplicados en los ejercicios de análisis prospectivo, en dependencia del tipo de técnica (Cualitativo, Cuantitativo y Semi-cuantitativo); tipo de aproximación (Exploratoria y Normativa) y tipo de fuente de conocimiento (Creatividad, Experticia, Interacción y Evidencia). Posteriormente se destacan los que se consideran de mayor relevancia (**Métodos o Técnicas de Prospectiva, 2006**).

1.2.3.1 Método Delphi

Tiene como objetivo construir escenarios sobre la base de opiniones expertas o especializadas llevadas a través de un proceso iterativo de rondas de presentación y retroalimentación de conocimientos, para lograr un examen crítico y detallado sobre la evolución y probabilidades que una tecnología o situación específica pueden tener en el futuro. Probablemente es el método más empleado en los estudios de prospectiva.

Cabe señalar que cuando se hace referencia a escenario se trata de la descripción de una situación que pueda o pudiese presentarse como resultado de una acción o por una dinámica evolutiva en el tiempo. En tal sentido, el vocablo escenario siempre se refiere a algo que puede pasar; bien sea como consecuencia de una decisión o acción que se tome, o como consecuencia de una tendencia en el tiempo.



1.2.3.2 Método de extrapolación de tendencias

Consiste en proyectar una tendencia hacia el futuro. Esta puede detectarse por análisis matemático o estadístico y expresarse con una ecuación para determinar valores futuros. Dicha técnica se fundamenta en tres supuestos:

- Los patrones observados van a persistir en el futuro.
- Las variaciones registradas en las tendencias bajo análisis van a ser recurrentes en el futuro.
- Las mediciones de tendencias son confiables y válidas.

1.2.3.3 Método de Brainstorming o tormenta de ideas

Su tarea radica en recoger ideas de un grupo de personas motivadas a expresar libremente sus opiniones en determinado tópico, para luego debatir de manera más rigurosa sobre los mismos.

Es un método que se basa en la creatividad, se utiliza el pensamiento lateral en donde se dejan de lado conceptos y procedimientos lógicos que orientan el pensamiento científico, para dar paso a una liberación de la intuición. El problema mismo puede verse bajo una nueva luz, descubriendo aspectos no considerados antes.

En algunas circunstancias contribuye a reducir los conflictos porque ayuda a los participantes a considerar otros puntos de vista y quizás cambiar su perspectiva de los problemas. Se basa en que el supuesto de que los resultados obtenidos en discusiones de grupo compensan las limitaciones de los juicios individuales.

1.2.3.4 Método de panel de expertos

Se trata de reunir un grupo de expertos sectoriales o de tecnologías, empleando métodos concretos para seleccionar y motivar el grupo, asignar tareas a sus miembros y obtener, compartir y desarrollar conocimientos.

Es importante que además de la calificación técnica, los candidatos sean pensadores creativos, personas que puedan tener en cuenta diversos puntos de



vista, capaces de trabajar bien en grupo y estar dispuestos a hablar con libertad sin pensar que siempre han de representar a un determinado grupo de intereses. La representación de los grupos de expertos debe ser amplia, abarcando innovadores, financieros, políticos, investigadores académicos, usuarios de la innovación.

1.2.3.5 Método de árboles de relevancia

Esta técnica se basa en el análisis de sistemas, en el cual los árboles establecen una radiografía de las tecnologías de interés. Parte de un conjunto de necesidades futuras establecidas e identifica las acciones tecnológicas requeridas para las mismas. El objetivo es asociar objetivos lejanos con decisiones inmediatas. Es usada para analizar situaciones en las cuales pueden ser identificados distintos niveles de complejidad o jerárquicos.

1.2.3.6 Método de análisis morfológico

El análisis morfológico implica el mapeo de una disciplina a fin de obtener una perspectiva amplia de las soluciones existentes y las posibilidades futuras, permitiendo explorar la estructura y funciones de un sistema, especialmente en las organizaciones o instituciones, para facilitar o inducir el proceso de creación de nuevos procedimientos y productos.

1.2.3.7 Método de análisis estructural

Se basa en determinar cuáles son las variables internas y externas y sus respectivas relaciones que afectan una situación que se desea estudiar. Es fundamentalmente una herramienta para la estructuración y organización de ideas, a través de las cuales se puede ayudar en la reflexión y en la toma de decisiones.

1.2.3.8 Método de impacto cruzado

Es un enfoque analítico de las probabilidades de ocurrencia de un evento. Se trata de preguntar a expertos cuáles son las probabilidades de que se produzcan diversos eventos y sus evoluciones considerando las interacciones y relaciones



con otros de similar dinámica. Esto se debe a que es difícil imaginar un evento sin un antecedente que lo hiciera posible o que lo influenciara, o imaginar un evento que luego de ocurrido no dejara marcas.

1.2.3.9 Método de mapas de trayectorias tecnológicas (TRM-Technology Roadmaps)

Los mapas de trayectorias tecnológicas son una manera de identificar, evaluar y seleccionar las alternativas estratégicas que se pueden utilizar para alcanzar un objetivo científico y tecnológico deseado. Generalmente los mapas se representan de manera gráfica, establecen relaciones entre diversos elementos (disciplinas/programas/proyectos científicos y tecnológicos) y buscan establecer su posible evolución a través de líneas temporales (evolución de las mismas capacidades científicas y tecnológicas) con miras a aplicaciones prácticas en productos y procesos.

El proceso de elaboración de Mapas Tecnológicos es utilizado por muchas organizaciones, esencialmente industriales, pero también por la administración pública y la universidad, en la puesta en marcha de programas nacionales y regionales de Investigación, Desarrollo e innovación (I+ D+ i).

1.2.3.10 Método de juegos de actores

Esta familia de métodos fue creada desde las ciencias políticas, para comprender los conflictos mediante el uso interactivo de dinámicas de simulación del comportamiento de los actores sociales. Los juegos de actores pueden ser de dos grandes tipos:

Juegos competitivos: Proviene de los juegos de competencia o de suma cero. El objetivo es vencer sobre el contrario mediante la adopción de una estrategia que acumule ventajas para sí y disminuya las ventajas potenciales del adversario. Los recursos no se pueden compartir y solo uno de los bandos puede resultar ganador.

Juegos cooperativos: También llamados juegos de suma positiva, tienen la posibilidad de construir estrategias de beneficio común y cooperar entre sí para



alcanzar los objetivos que interesan a todas las partes. No existen vencedores ni vencidos y se busca que los actores se articulen y juntos consigan alcanzar objetivos comunes, benéficos para las comunidades de las que forman parte.

1.3 Prospectiva Tecnológica

La prospectiva tecnológica es un proceso colectivo de análisis y comunicación entre expertos o especialistas de distintas disciplinas para identificar los componentes más probables de escenarios futuros: las proyecciones tecnológicas, sus efectos sociales y económicos, los obstáculos y las fuerzas que operan a favor (**Lezama, 2010**).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) la define como un conjunto de intentos sistemáticos para mirar a largo plazo el futuro de la ciencia, la tecnología, la economía y la sociedad, con el fin de identificar aquellas tecnologías genéricas emergentes que probablemente generarán los mayores beneficios económicos y/o sociales.

Su estudio está centrado en la investigación de nuevas tendencias, tecnologías radicalmente nuevas y nuevas fuerzas que pudieran surgir de la combinación de factores tales como las nuevas preocupaciones sociales, las políticas nacionales, los descubrimientos científicos, etcétera.

Al planificar o comenzar un estudio de este tipo, resulta útil tener en cuenta:

- Las razones por las que se hace.
- Los recursos que se necesitarán y de cuáles se puede disponer.
- El tiempo que se necesitará.
- Cómo aprender los métodos o técnicas para mejorar el proceso general.
- Establecer las necesidades

Para evaluar si resultaría de utilidad un enfoque más sistemático, se pueden analizar los siguientes factores:

- Las tecnologías críticas para la organización.



- La madurez e índice de cambio de las tecnologías críticas.
- La naturaleza de la estrategia de I+D (Investigación+ Desarrollo) por ejemplo, si es ofensiva o defensiva.
- La complejidad y flexibilidad de los mercados y del entorno empresarial en general.

En caso de verificar la necesidad de un enfoque más sistemático, será necesario implantar de forma complementaria un sistema de vigilancia tecnológica sobre la magnitud y dirección del progreso tecnológico.

Por otra parte se debe decidir quién debe dirigir el proceso. Debido a la importancia que se le confiere, no se trata de una labor simple, que se puede encomendar a un miembro nuevo del personal de la organización. En algunos casos puede ser necesaria la formación de un equipo pluridisciplinar, mientras que en otros puede bastar con un único individuo, pero este debe contar con la autoridad adecuada para coordinar diferentes departamentos.

En todos los casos, el ejercicio debería intentar usar en primer lugar el conocimiento y experiencia de los individuos que forman la organización. Su conocimiento específico de las actividades y procesos resultará muy útil, así como la información adicional obtenida de sus contactos, redes, y de su apreciación del entorno empresarial general.

Las decisiones que surjan de analizar estos temas podrían tener como resultado un mayor conocimiento de los expertos o especialistas, dentro y fuera de la organización, unos objetivos formulados de un modo más riguroso y una mayor comprensión del valor de la prospectiva tecnológica en general.

Los métodos o técnicas específicas de prospectiva tecnológica se dividen en dos categorías principales:

Métodos o técnicas exploratorias

Los métodos o técnicas exploratorias se centran principalmente en el análisis de datos históricos sobre atributos concretos tales como resultados funcionales,



parámetros técnicos, resultados económicos, etcétera, comparados siempre dentro de un marco temporal. Dado que se supone que el progreso de la tecnología no es causado por el azar, es posible generar curvas o modelos de evolución de ciertos parámetros.

Métodos o técnicas normativas

Los métodos o técnicas normativas empiezan proponiendo el estado deseado o posible (en el futuro), así como la satisfacción de una necesidad de mercado o el logro de un desarrollo tecnológico. A partir de este punto, trabajan hacia atrás para determinar los pasos necesarios hasta conseguir el resultado requerido. El número de caminos predecibles de desarrollo desde la posición actual hasta el objetivo podría variar desde ninguno, lo que implicaría el desarrollo de una tecnología totalmente nueva, hasta varios, recorriendo tecnologías más o menos primarias o maduras. Cada camino factible hasta el objetivo se analiza por su relevancia y dificultad.

Cabe señalar que la Prospectiva Tecnológica no utiliza un listado cerrado de técnicas o métodos, sino que es abierto y cada uno de ellos evoluciona con el tiempo.

En el transcurso de los años, debido a los impactos que ocasiona, ha incrementado su relación con la prospectiva ambiental, pues la aplicación de esta última puede incrementar la eficiencia de la economía y reducir los costes sanitarios. Como ejemplo, se ha aplicado un hipotético Paquete de políticas de la Prospectiva Medioambiental de la OCDE global. Este ejercicio muestra que, combinando políticas específicas pueden abordarse retos medioambientales claves, tales como la reducción de las emisiones de Óxidos de Nitrógeno y de Azufre.

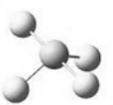
Además, demuestra que enfrentar los retos del medio ambiente es racional en términos económicos y viables en términos tecnológicos. Visto desde una perspectiva de largo plazo, los costes de la acción pronta son mucho menores que los costes de posponerla; mientras más pronto se actúe, más sencilla y menos



costosa será la tarea.

Los responsables de elaborar las políticas, los empresarios y los consumidores, todos deben hacer su parte para implementar las ambiciosas reformas a las políticas que traerán las mejoras ambientales más efectivas en función de los costes. En ese sentido las opciones quedan abiertas para que las generaciones futuras tomen sus propias decisiones acerca de cómo aumentar su bienestar.

32
16 S



Capítulo 2



Capítulo 2. Propuesta de Metodología para el Análisis Prospectivo

En este capítulo se presenta el caso de estudio. Para ello se realiza inicialmente una caracterización general de la Refinería de Petróleo de Cienfuegos y luego se diseña la metodología, basada en la Metodología de los Escenarios propuesta por Michel Godet y adaptada a la situación existente sobre las tecnologías de eliminación del Azufre en el agua de los procesos de refinación.

2.1 Caracterización de la refinería “Camilo Cienfuegos” y los procesos de eliminación de Azufre

La elección de la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos” como objeto de estudio se basa en que se trata de una entidad que genera grandes residuos y consume gran cantidad de materias primas, materiales y recursos humanos, aunque esto no significa que solo se puede aplicar dicha metodología a empresas grandes, sino también a pequeñas. Un segundo elemento que se debe considerar es que está dispuesta a tener un sistema de gestión ambiental (SGA) según Masanet (**Masanet, 2000**) ya que el sistema de información ambiental generado por el SGA es imprescindible para obtener resultados altamente confiables.

La refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos” ubicada en la finca Carolina de la ciudad de Cienfuegos, es una de las grandes inversiones que se iniciaron en la década del 80 con la colaboración de la desaparecida Unión Soviética. Su etapa de proyección, micro localización y movimiento de tierra comenzó en el período comprendido de 1 977 a 1 983. Posteriormente, su construcción y montaje se llevó a cabo en el período de 1 983 hasta 1 990. En enero de 1 991, se realizan las primeras pruebas con carga y se obtuvieron las primeras producciones. A finales de 1 993 se concluyó el oleoducto que la enlaza directamente con la termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes”.

Después de un largo período de inactividad, el 10 de abril del 2 006 se constituye la empresa PDV- CUPET, S.A. refinería- “Camilo Cienfuegos”. Contrato capital de los accionistas: 51 % Comercial Cupet S.A. y 49 % PDVSA Cuba S.A.



La denominación de la empresa ha cambiado a raíz de la creación de la empresa CUVENPETROL S.A, la cual tiene como misión dirigir todos los proyectos de inversión que se desarrollan en el país en el marco del ALBA (Alternativa Bolivariana para las Américas). La denominación oficial de esta empresa actualmente es: empresa CUVENPETROL S.A. Unidad de Negocios Refinería de Cienfuegos.

- Las principales secciones que la conforman se muestran a continuación:
- Sección 100 (Destilación Atmosférica).
- Sección 200 (Reformación Catalítica).
- Sección 300 (Hidrofinación de Diesel). En proceso de arrancada.
- Sección 400 (Fraccionamiento de Gases).
- Sección 600 (Caldera Recuperadora).
- Planta MEROX.
- Sección de MAP (Movimiento de Crudos y Productos).
- Sección de Procesos Auxiliares.
- Sección de PTR (Planta de Tratamiento de Residuales).

La sección 100 es la sección principal de la planta combinada No. 1 de la refinería de Cienfuegos, pues en ella ocurre el proceso primario y determinante de cualquier refinería, la destilación atmosférica y que se realiza en dos etapas: la desalación eléctrica y la destilación atmosférica.

2.1.1 Sección 100. Desalación Eléctrica

El agua contenida en el petróleo con sales disueltas en ella, esencialmente con cloruros, no solamente constituye una impureza, sino que provoca una fuerte corrosión en los equipos del proceso y empeora la calidad de los combustibles que son inyectados para los procesos catalíticos, por consiguiente, es imprescindible



la eliminación de esas sales y el agua. Ese proceso se realiza en los electrodeshidratadores y se denomina desalación eléctrica.

El crudo proveniente de la estación de bombeo de crudo se calienta con los reflujos circulantes de la torre T-102 y el Fuel Oil, antes de entrar al sistema de desalación eléctrica, que transcurre en dos etapas, cada una con un sistema de lavado con agua.

La primera etapa, cuenta con dos electrodeshidratadores, los cuales trabajan en paralelo. La alimentación a los mismos se realiza a través de eyectores, donde se mezcla el crudo con agua proveniente del sistema de lavado. Las salidas de ambos electrodeshidratadores se unen y pasan a la segunda etapa de desalación. La operación de los electrodeshidratadores de la segunda etapa es similar al de la primera.

En general, para extraer las sales del petróleo, este se mezcla con intensidad con el agua dulce en los eyectores y la emulsión formada entre el agua y el petróleo se destruye y se dispersa en un campo eléctrico de los electrodeshidratadores. Por la parte inferior de los electrodeshidratadores, se drena el agua que contiene las sales, mientras el crudo desalado se extrae a un nivel superior. Cabe señalar que desde este proceso comienza la contaminación del agua por la presencia del Azufre.

2.1.2 Sección 100. Destilación Atmosférica

El crudo desalado se calienta antes de su inyección a la torre T-101 (Desgasolinadora) en el segundo banco de intercambiadores. Después, el crudo calentado, desalado y deshidratado, a una presión de 6,1 atm se dirige a la torre T-101. La alimentación a la misma se distribuye en varias entradas distribuidas en los platos 7 y 9.

Por el tope de la torre sale la fracción Pie 105 °C a una temperatura de 120 °C y a una presión de 4,5 atm. Gran parte se condensa en los enfriadores por aire y de allí va al tambor de reflujo del tope (D-101) con una temperatura de 55 °C. El reflujo es retornado hacia el tope de la Torre T-101. El exceso de reflujo va a los



enfriadores y constituye el inyecta a la torre T-104. En este tambor de reflujo se hacen extracciones de agua sulfhídrica que es enfriada y va hacia la planta de tratamiento de residuales.

Desde el fondo de la torre sale crudo desgasolinado, una parte pasa a través de un horno para reinyectarlo por dos corrientes en forma de chorro caliente a la torre T-101, por debajo del plato 1 con el objetivo de mantener la temperatura de trabajo de la columna. El exceso de fondo alimenta a la columna de destilación atmosférica T-102 luego de pasar por un horno que cuenta con tres cámaras para garantizar la temperatura adecuada del inyecta.

Por el tope de la Torre T-102 sale la fracción Pie 120 °C a una temperatura de 114 °C y a una presión de 0,7 a 1,0 atm y va al tambor de reflujo del tope (D-102). Desde el tambor de reflujo el producto va a un enfriador por aire y de allí pasa a un enfriador por agua. Posteriormente retorna al tope de la torre. En el tambor de reflujo se hacen extracciones continuas de agua sulfhídrica con una bomba, esta se descarga a través de un enfriador hacia la planta de tratamiento de residuales.

De la torre T-102, se extraen cuatro cortes laterales:

1. La fracción 120-180 °C, se extrae por los platos 45 y 47 y va a la parte inferior de la primera sección de la torre despojadora T-103, a una temperatura de 134 °C. Para despojar las fracciones ligeras, es suministrado al mismo vapor de agua sobrecalentado, la fracción ligera y los vapores de agua que salen del tope de la despojadora entran a la Torre T-102 en el plato 48 a una temperatura de 132 °C. La fracción de fondo es bombeada hacia un enfriador por aire y posteriormente pasa a un intercambiador por agua para finalmente llegar al nudo de mezcla.
2. La fracción 180-230 °C, se extrae de los platos 34 y 36 y va a la parte inferior de la segunda sección de la torre despojadora T-103, a una temperatura de 195 °C.

Para despojar las fracciones ligeras, es suministrado vapor de agua sobrecalentado. La fracción ligera y los vapores de agua salen del tope de la



despojadora y entran a la Torre T-102. Por el fondo la fracción es bombeada hacia un enfriador por aire para finalmente llegar al nudo de mezcla.

3. La Fracción 230-270 °C, se extrae de los platos 22 al 24 y va a la parte inferior de la tercera sección de la torre despojadora T-103, a una temperatura igual a 252 °C. Para despojar las fracciones ligeras, es suministrado vapor de agua sobrecalentado. La fracción ligera y los vapores de agua salen del tope de la despojadora y entran a la Torre T-102. Por el fondo la fracción es bombeada hacia un intercambiador, luego a enfriadores para ir al nudo de mezcla.

4. La fracción 270-350 °C, se extrae de los platos 12 al 14. Este corte se divide en dos ramales y va al segundo banco de intercambiadores para ceder calor al crudo desalado.

La torre T-103 cuenta con tres secciones y a cada una de ellas llegan las fracciones desde la torre de destilación atmosférica T-102. Por otro lado la torre estabilizadora T-104 se alimenta con el exceso de gas y reflujo desde el tambor de alimentación D-105. Por el fondo de este tambor D-105 se descarga el agua sulfhídrica hacia la planta de tratamiento de residuales luego de ser enfriada y por el tope los gases son enviados al cabezal de gas combustible.

Por el tope de la torre T-104 sale la fracción Pie 70 °C y pasa al tambor de reflujo del tope D-106. El exceso del reflujo se bombea a un enfriador por agua. Posteriormente, va a la sección 400, hacia la torre T-401 o torre fraccionadora. Por el fondo, de la torre T-104 la fracción 70-120 °C estable es recirculada a través de un horno para mantener la temperatura en la torre. La otra salida de fracción 70-120 °C estable por el fondo de la torre va a un intercambiador donde precalienta el inyector y luego es enfriada por aire y agua y se dirige hacia el nudo de mezcla.

Nudo de Mezcla

En el nudo de mezcla se forman las fracciones resultantes de la sección 100. Seguidamente se describe cada una de ellas.



- Fracción 70-180 °C, se forma mezclando el corte 70-120 °C y corte 120-180 °C. A esta fracción se le denomina Nafta de Inyector que va a la sección 200 o al patio de tanque (MAP)
- Fracción 120-230 °C, se forma mezclando el corte 120-180 °C y corte 180-230 °C. A esta fracción se le denomina Turbo-combustible que va al patio de tanque (MAP). Constituyendo el inyector a la planta MEROX.
- Fracción 120-270 °C, se forma mezclando el corte 120-180 °C, corte 180-230 °C y corte 230-270 °C. A esta fracción se le denomina Kerosene, que va a al patio de tanque (MAP).
- Fracción 180-350 °C, se forma mezclando el corte 180-230 °C, corte 230-270 °C y corte 270-350 °C. A esta fracción se le denomina Diesel que va a al patio de tanque (MAP), constituyendo el inyector a la sección 300 (Planta Hidrofinadora de Diesel).
- La fracción ≥ 350 °C como Mazut o Fuel Oil se obtiene por el fondo de la T-102, por lo que no va al nudo de mezcla, sino al patio de tanques de MAP, como producto terminado.

Se considera meritorio resaltar que, como se ha explicado anteriormente, tanto para el proceso de desalado como para el trabajo de las diferentes torres se consume una gran cantidad de agua. En el primer caso para el lavado del crudo, mientras en el segundo caso se inyecta en solución con los diferentes químicos, como sustancia de enfriamiento en los intercambiadores y además para el despojamiento de los gases ligeros desde su fase de vapor de agua. A su vez en ambos procesos se generan cantidades considerables de residuales agresivos por el contenido de sales y sulfhídrico.

2.1.3 Sección 200. Reformación Catalítica

Proveniente de la sección 100, la fracción 70-180 °C es alimentada a la etapa de hidrofinación de nafta primero y reformación de nafta después, con el objetivo de obtener gasolina de 83 y 90 octanos para la comercialización, además como



producto de tope de la torre T-202 se obtiene GLP (Gas Licuado de Petróleo). En este caso por el tambor de reflujo de tope D-201, se drena agua residual con sulfhídrico. En este caso también se consume agua, solo que en menor medida con respecto a la sección 100.

2.1.4 Sección 300. Hidrofinación de Diesel

Proveniente de la sección 100, la fracción 180-350 °C es alimentada a la hidrofinadora de diesel, torres T-301 y T-302 donde ocurre primero un proceso de absorción del H_2S por una solución de metil-dietanolamina (MDEA) al 40 % de concentración con el objetivo de eliminar el Sulfuro del Diesel. Requisito indispensable para la comercialización del producto Diesel. Después ocurre un proceso de regeneración de esa amina, para separar de ella el sulfuro de hidrógeno absorbido. En esta sección existe una emisión considerable de agua ácida por la presencia del Azufre y además una emisión de residuales gaseosos desde la regeneradora de amina. Después de la puesta en marcha de la fase I del proyecto de expansión esa agua ácida será enviada a la despojadora de aguas; mientras el gas ácido residual (H_2S) será enviado a la unidad de recuperación de Azufre.

2.1.5 Sección 400. Fraccionamiento de Gases

Proveniente de la sección 100, la fracción Pie 70 °C inestable y la nafta liviana inestable de la sección 200 son alimentadas a la torre T-401 con el objetivo de fraccionar los gases para obtener GLP. Por el tope de la torre salen los gases hasta los enfriadores por aire y de allí al tambor de reflujo D-401, desde este tambor se alimenta el reflujo para mantener la temperatura del tope y el exceso se envía como GLP al patio de tanques. Mientras por el fondo de la torre sale el Pie 70 °C estable para formar la gasolina en el nudo de mezcla.

Se debe señalar que antes de entrar a la torre T-401 la alimentación es tratada con una solución de sosa cáustica al 10 % de concentración para eliminar de este el contenido de mercaptano y otros compuestos indeseables. Aquí se origina gran cantidad de efluentes alcalinos. Finalmente una vez agotada esa sosa es enviada



a PTR para su tratamiento posterior. Después de la puesta en marcha de la fase I del proyecto de expansión esa sosa agotada será enviada a la unidad de recuperación de sosa.

2.1.6 Sección 600. Caldera Recuperadora

Esta sección tiene como objetivo producir vapor de agua para el proceso de destilación, aprovechando el calor residual de los gases de escape de los hornos del proceso. Para ello se requiere del consumo de agua tratada proveniente de la planta de tratamiento de agua en la sección de generación de vapor o procesos auxiliares. Como consecuencia de las purgas de este proceso se generan residuales y no son aprovechados los condensados, con la correspondiente pérdida de químicos y energía.

2.1.7 Planta MEROX

En esta planta es procesado el Keroseno para la producción de combustible para aviación, el cual requiere la utilización de un proceso en etapas continuas de tratamiento con el objetivo de satisfacer en particular las especificaciones de acidez, contenido de mercaptano y de otros parámetros entre los cuales está la presencia de agua libre y de los sólidos en suspensión.

El combustible para aviación debe satisfacer otros requisitos como el contenido máximo de aromáticos, el punto de congelación, el punto de humo, el color y el WSIM (determina agua y sedimentos en el turbo), estando este último relacionado al contenido de agua libre.

El tratamiento cáustico del Keroseno tiene efecto solo en lo referente a la separación de los ácidos nafténicos para obtener un número de acidez adecuado y para servir como vehículo para la oxidación catalítica de los mercaptanos de manera tal que se satisfagan los parámetros previstos.

Este tipo de tratamiento requiere del consumo de mucha agua a la vez que genera gran cantidad de residuales, como la sosa agotada con apreciable formación de fenolatos de sodio que es muy difícil de eliminar en la planta de



tratamiento de residuales. En el futuro estos residuales alcalinos serán enviados a la recuperadora de sosa agotada.

2.1.8 Sección de Procesos Auxiliares

En esta sección se centra el mayor consumidor individual de la refinería, tanto de energía como de agua. Para su proceso el volumen de agua a consumir es muy elevado y está separado por procesos, pues primero existe una planta de tratamiento de agua para alimentar las calderas, con su correspondiente consumo de químicos y energía. Se debe destacar que esta planta prepara el agua para suministrar a la caldera recuperadora para la producción de vapor y además para la preparación de otras soluciones que son usadas en el proceso de refinación, tales como sosa cáustica, solución de aminas, desemulsionantes, preparación de inhibidores de la corrosión, etcétera.

Para el proceso posterior de generación de vapor, el consumo de agua y del propio vapor es considerable. El agua en su estado líquido es la materia prima para la producción del vapor, sin embargo también es usada como sustancia de enfriamiento en intercambiadores del propio sector energético. Pero desde su fase de vapor es usada por el desareador para eliminar el contenido de aire del agua de proceso.

Producto del sobredimensionamiento de este sistema, del estado técnico de equipos y tuberías y por las purgas del proceso, en esta área se producen muchos residuales y pérdidas en general que atentan contra los índices de consumo.

2.1.9 Sección de PTR. Planta de Tratamiento de Residuales

En esta sección se recibe toda el agua que entra a la refinería, así como la que recircula por los dos sistemas de enfriamiento. Además es la encargada de atender y tratar todos los residuales generados en los diferentes procesos de la industria. Tiene algún consumo de agua desde su fase de vapor, aunque no es significativo. Sobre esta planta recaen los mayores gastos medioambientales.



Conocido el proceso tecnológico actual de la entidad, se puede afirmar que solo existen dos procesos de eliminación de Azufre: por contacto con la MDEA al 40 % de concentración, cuyo residual gaseoso posterior es enviado al flare y por contacto con la sosa cáustica al 15 % de concentración, cuyo residual líquido es enviado a la PTR.

Por consiguiente es necesario encontrar métodos o tecnologías capaces de eliminar de forma más eficiente el Azufre presente en el agua y en el proceso general de refinación, en correspondencia con el incremento de las emisiones, tanto líquidas como gaseosas, que se esperan con la arrancada de la fase I del proyecto de expansión, por la entrada en operación de nuevas plantas de producción. Para lo cual se recomienda establecer un análisis prospectivo estratégico del futuro inminente del esquema de refinación, al que será sometida la Refinería de Petróleo de Cienfuegos

2.2 Diseño de metodología para el análisis Prospectivo

A los efectos de aplicar la prospectiva estratégica al proyecto futuro de expansión de la refinería “Camilo Cienfuegos”, la solución metodológica propuesta es la adaptada a la Metodología de Escenarios propuesta por Michel Godet (**Godet, 1997**) en sus libros “Manual de Prospectiva Estratégica, 1 997” y “La Caja de Herramientas de la Prospectiva Estratégica, 2 000”.

Para la aplicación de este método se requiere de un estudio encabezado por el criterio de una serie de expertos que tengan conocimiento sobre el tema. En la Figura 2.1 se muestra el esquema general que abarca el procedimiento a desarrollar y la selección y descripción de las herramientas. El mismo consta de una serie de etapas que, a pesar de formar parte del diseño original, no tienen que cumplirse con obligatoriedad de manera exacta, es decir, constituyen herramientas a emplear y cada quien usa lo que necesite, de ahí que lo modifica de acuerdo a sus necesidades. Por otra parte se conoce que comprende varias fases que juegan un papel crucial, donde la base principal de la metodología en su análisis global, aconseja que sean necesarias cinco.

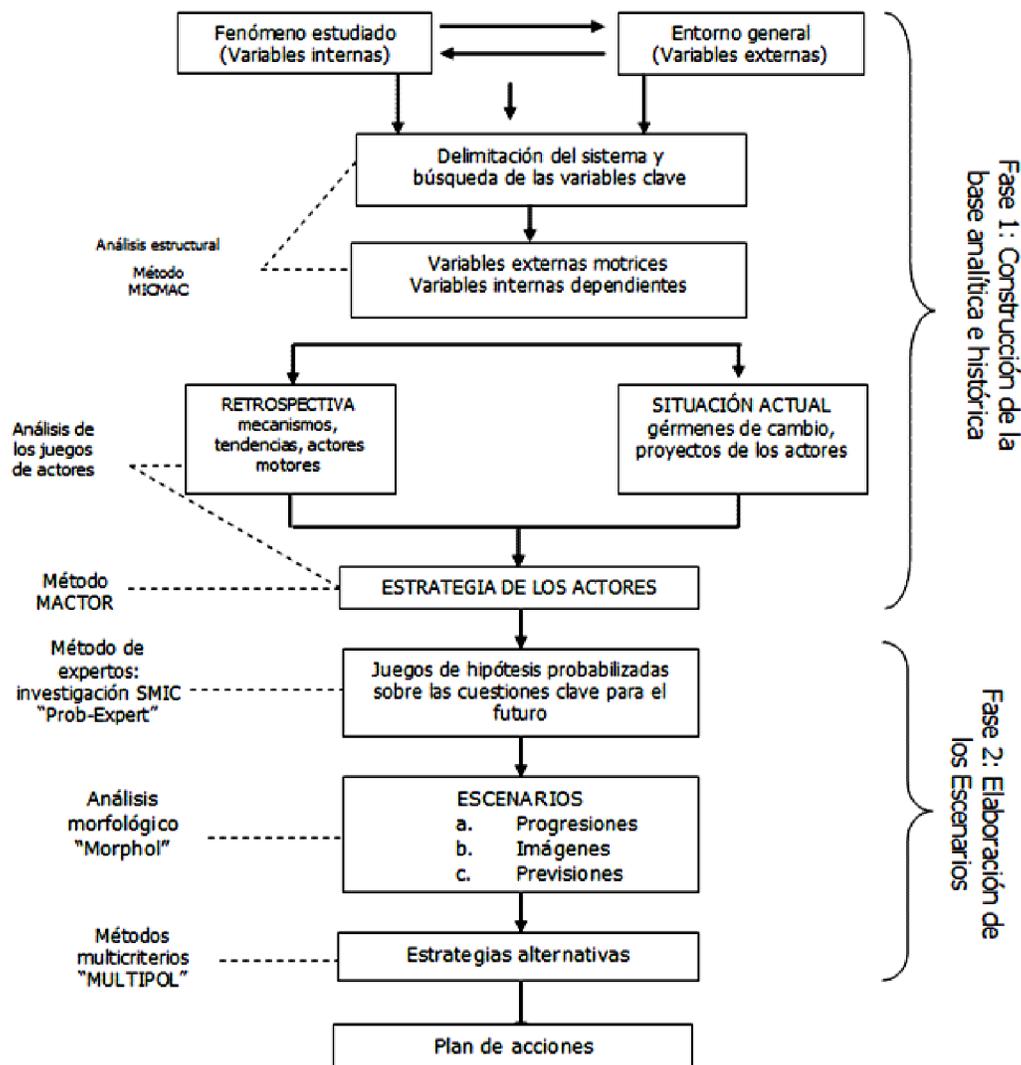


Figura 2.1 Esquema Metodológico del Método de Escenarios de Michel Godet

Seguidamente se describe el procedimiento a emplear en este caso, es decir, la metodología que ha sido elaborada para emplear en la investigación.

Fase 0: Lanzamiento del estudio.

Fase 1: Análisis integral de la situación y búsqueda de variables estratégicas.

Fase 2: Identificación de variables claves del sistema y sus interrelaciones.

Fase 3: Anticipación y confección de la evolución del futuro.

Fase 4: Elaboración de los escenarios prospectivos.



2.2.1 Lanzamiento del estudio (Método Delphi)

En esta fase tiene lugar la selección de los expertos a integrar el estudio mediante una fórmula establecida para ello, donde se tiene en cuenta el conocimiento suficiente de cada uno de los propuestos.

Los criterios pueden basarse en la relevancia de sus trabajos, en la posición que ocupan, en lo destacado de sus opiniones, creatividad, disposición a participar, experiencia científica y profesional en el tema, capacidad de análisis y pensamiento lógico, así como su espíritu de trabajo en equipo.

Una vez seleccionados entran en discusión sobre el tema, donde cada cual expone sus criterios y se llega a un consenso para de esta forma formular la matriz DAFO. Esta consiste en realizar un listado que contemple debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades consideradas en la empresa y a partir de ahí realizar un análisis prospectivo.

2.2.2 Análisis integral de la situación (Matriz DAFO)

En esta fase corresponde la elaboración de un diagnóstico actualizado del proceso en estudio. La puesta en marcha de esta etapa se realiza a través de la observación y mediante la interacción de la investigadora con los expertos.

Realizado el diagnóstico se procede al análisis DAFO (Debilidades-Amenazas-Fortalezas-Oportunidades) que constituye un instrumento analítico simple pero de gran utilidad a la hora de exponer de manera sintética el conjunto de estudios efectuados en dicho diagnóstico; puesto que recoge, en forma de frases cortas y sintéticas, los rasgos principales de una investigación y, consecuentemente, las coordenadas básicas sobre las que se debe implementar adecuadamente la estrategia de actuaciones específicas para conseguir el objetivo perseguido.

Para guiar el comportamiento de una organización en un período de tiempo dado, es necesario el análisis interno y externo de la misma como fuente de información para establecer las estrategias. Este análisis no puede considerarse como aspecto separado e independiente, sino que constituyen dos formas de ver la realidad y se encuentran estrechamente interrelacionados, pues las industrias



no son ni autosuficientes ni cerradas, más bien intercambian recursos con el entorno externo y dependen de él, lo que significa que las industrias toman insumos (materia prima, materiales, dinero, fuerza de trabajo, energía, etcétera) del entorno externo, los transforman en producción, considerando las oportunidades y amenazas de este entorno con la utilización de las habilidades específicas y diferenciadas de la industria, para el logro de los objetivos trazados. A continuación se hace un análisis sobre los entornos mencionados anteriormente.

Análisis Interno

En el análisis interno se encuentran las debilidades y fortalezas. Donde las primeras constituyen el conjunto de sensibilidades presentes en el proceso. Muchas de ellas van a exponerse en forma de objetivos específicos de transformación, dentro de las correspondientes líneas de intervención prioritarias, ya que lo deseable es la superación de dichas trabas o barreras.

Mientras que las fortalezas constituyen el conjunto de puntos fuertes presentes en el proceso y, por tanto, deben considerarse como los principales activos para la elaboración de la estrategia de desarrollo.

Análisis Externo

Por otra parte se tiene que el análisis externo está compuesto por las amenazas y oportunidades. Donde las amenazas constituyen ser un factor que influye significativamente en el proceso, de ahí que su dominio sea determinante en el desarrollo sostenible y sus posibilidades de éxito. Mientras que las oportunidades constituyen factores que pueden influir positivamente en la transformación deseada.

Una vez realizado el diagnóstico se procede a la elaboración de la matriz DAFO conformada por cuatro cuadrantes, y seguidamente a la ubicación del proceso en uno de ellos, en este caso el de mayor impacto. Los resultados orientan la atención sobre los puntos claves que deben ser considerados para el análisis de escenarios reduciendo la incertidumbre en el estudio.

Existen cuatro grupos conceptuales de estrategias de la matriz como puede observarse en la Figura 2.2.

		Oportunidades					Amenazas				
		O1	O2	O3	O4	O5	A1	A2	A3	A4	A5
Fortalezas	F1	Maxi – Maxi Ofensiva					Maxi – Mini Defensiva				
	F2										
	F3										
	F4										
	F5										
Debilidades	D1	Mini – Maxi Adaptación					Mini – Mini Supervivencia				
	D2										
	D3										
	D4										
	D5										

Figura 2.2 Estructura clásica de la matriz DAFO

Estrategia DA (Mini– Mini): Su propósito consiste en reducir al mínimo las debilidades y amenazas. Una organización que se enfrenta a amenazas externas y debilidades internas puede encontrarse en una posición frágil. Cualquiera que sea la estrategia seleccionada, la posición DA es una que toda organización intenta evitar, pues al caer en este caso la estrategia es de **supervivencia**.

Estrategia DO (Mini– Maxi): Intenta reducir al mínimo las debilidades y aumentar al máximo las oportunidades. Aquí se aplica una estrategia de **adaptación**.

Estrategia FA (Maxi– Mini): Se basa en las fortalezas de la organización que pueden amortiguar las amenazas del entorno. El objetivo es elevar al máximo las primeras y reducir al mínimo las segundas. En este caso se aplica una estrategia **defensiva**.

Estrategia FO (Maxi– Maxi): A cualquier organización o sector le gustaría y convendría ocupar una posición que le permita desarrollar al máximo las fortalezas y oportunidades. De esta forma puede ser líder debido a sus fortalezas y movilizar los recursos aprovechando las oportunidades para sus productos y servicios. En este caso se aplica una estrategia **ofensiva** o de crecimiento.



Teniendo en cuenta que el análisis exige comparar y cruzar cada elemento por categoría con el resto de los elementos y viceversa, sería complejo trabajar para cada entrada con un número muy grande de fuerzas, lo que haría sumamente engorroso el proceso combinativo. Por ello la experiencia recomienda trabajar con un número reducido de entradas, siempre que en ellas se concentren aquellos aspectos que resultan decisivos para el funcionamiento de la organización, los más importantes.

Problema Estratégico General

La industria y sus principales directivos tienen que tener presente los problemas estratégicos que pueden sucederse en su desarrollo futuro y para ello buscar vías y soluciones estratégicas capaces de dar respuesta a los mismos. El problema estratégico depende del resultado de la matriz DAFO donde se señala qué debilidades y amenazas fundamentales tienen la organización.

Es evidente que al analizar cada uno de los objetivos estratégicos, se encontrará una larga lista de problemas por resolver, lo cual conducirá inevitablemente a un proceso para darles un orden de importancia, tanto a ellos, como a las soluciones que se planteen, debe considerarse que no es posible atender todo al mismo tiempo, sino que es necesario establecer un grado de prioridades.

De ahí que el problema estratégico general se formula de la siguiente manera: Si sobre empresas las amenazas principales se acentúan y las debilidades se potencian, esto traerá como consecuencia que no se puedan hacer valer las fortalezas principales, por lo que no se podrán aprovechar las oportunidades del entorno.

Solución Estratégica General

Los objetivos indican hacia dónde se quiere dirigir el negocio y la estrategia, define cómo llegar hasta allí. Cada hombre de negocio debe diseñar una estrategia para alcanzar sus objetivos, que posteriormente debe convertirse en programas específicos a efectuar de manera eficiente y ser corregidos si se falla en la adquisición de los objetivos.



Las soluciones estratégicas se basan en los problemas estratégicos previamente identificados que puedan afectar a la empresa, trazando vías, formas, posiciones, alternativas, basadas en las situaciones positivas actuales y previendo soluciones futuras a los problemas que puedan presentarse.

La solución estratégica general se formula de la siguiente manera: Para disminuir el efecto del problema estratégico general es necesario aprovechar al máximo las oportunidades y potenciar óptimamente las fortalezas, para atenuar las debilidades y minimizar el efecto de las amenazas.

2.2.3 Identificación de las variables claves del sistema y de sus interrelaciones (Análisis en el MIC-MAC)

Una vez concluido el análisis DAFO se prosigue a la elección de las principales variables que constituyen un factor clave en la selección de los escenarios propuestos. De ahí que esta fase este conformada por tres fases más, en este caso sub-fases.

Sub- fase 1- Listado de Variables

Consiste en enumerar el conjunto de variables (tanto internas como externas) que caracterizan el sistema estudiado y su entorno, para lo que conviene ser lo más absoluto posible y no excluir ninguna pista de investigación.

Para ello se requiere además de una definición precisa y explicación detallada de cada una de ellas, lo que da al traste con la facilidad en cuanto a análisis y localización de relaciones entre dichas variables, constituyendo así la base de temas necesarios para toda reflexión prospectiva.

Durante el estudio realizado en aras de obtener las posibles variables que de una forma u otra identifican el sistema, se confecciona una lista donde se toma como referencia el diagnóstico efectuado inicialmente, así como los resultados de la matriz DAFO y las conversaciones libres realizadas con personas que se estima son representantes de actores del sistema estudiado.

Sub- fase 2- Descripción de relaciones entre las variables



En todo sistema bajo investigación debe tenerse en cuenta que las variables encontradas surgen a partir de las otras, es decir, existe una total dependencia. Por otra parte debe considerarse que el análisis estructural se ocupa de relacionar las variables en un tablero de doble entrada o matriz de relaciones directas.

Lo efectúa el grupo de expertos, que hayan participado previamente tanto en el listado de variables como en su definición. Estas personas posteriormente participarán en la identificación de las variables claves a través del MIC-MAC.

El relleno se efectúa de manera cualitativa. Por cada pareja de variables, se plantea la siguiente pregunta: ¿existe una relación de influencia directa entre la variable V_n y la variable V_{n+1} ? si es negativa la respuesta, se anota (0), en el caso contrario, se cuestiona si esta relación de influencia directa es, débil (1), mediana (2), fuerte (3) o potencial (P).

Este procedimiento de interrogación hace posible no sólo evitar errores, sino también ordenar y clasificar ideas dando lugar a la creación de un lenguaje común en el seno del grupo; de la misma manera ello permite redefinir las variables y en consecuencia afinar el análisis del sistema.

Cabe señalar que a todos los efectos, la experiencia muestra que una tasa de relleno normal de la matriz se sitúa alrededor del 20 %.

Sub-fase 3- Identificación de las variables claves a través del MIC-MAC

Se realiza la identificación de variables claves, es decir, esenciales o principales a la evolución del sistema. Primeramente mediante una clasificación directa (de realización fácil), y posteriormente por una clasificación indirecta (llamada MIC-MAC para Matrices de Impactos). Para ello se analizan los subsistemas.

Estos resultados en términos de influencia y de dependencia de cada variable pueden estar representados sobre un plano en el cual el eje de abscisas corresponde a la dependencia y el eje de ordenadas a la influencia.

La combinación de ambos resultados es la que definitivamente define a las variables según tipologías. Su disposición en el plano en relación a las diagonales

ofrece una primera representación, tal y como queda reflejado en la figura que se muestra.

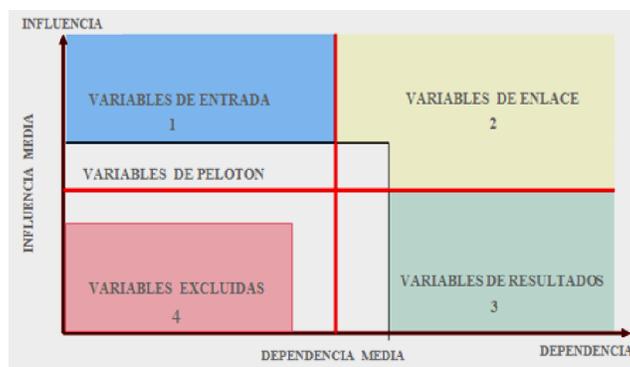


Figura 2.3 Plano de influencia y dependencia entre variables

Variables de Entrada: Determinan el funcionamiento del sistema. Son fuertemente motrices y poco dependientes.

Variables de Enlace: Debido a su naturaleza se caracterizan como inestables. Este grupo resulta fundamental para la reflexión prospectiva, pues toda acción sobre estas variables tendrá repercusiones sobre las demás. Estas variables son muy motrices y muy dependiente.

Variables Excluidas: Están vinculadas al proceso que ha tenido lugar en el sistema. Son muy dependientes.

Variables de Resultado: Dan cuenta de los resultados de funcionamiento del sistema. Se les califica igualmente como variables de salida o variables sensibles. Se pueden asociar a indicadores de evolución, pues se traducen frecuentemente como objetivos.

Variables de Pelotón: Son variables agrupadas en el centro de la matriz, son medianamente dependientes e influyentes en el sistema.

2.2.4 Anticipación y confección de la evolución del futuro (Análisis en el MACTOR)

El método MACTOR, (Matriz de Alianzas, Conflictos, Tácticos, Objetivos y Resultados), busca valorar las relaciones de fuerza entre los actores y estudiar

sus convergencias y divergencias con respecto a un cierto número de posturas y de objetivos asociados.

A partir de este análisis, el objetivo de la utilización del método MACTOR es el de facilitar a un actor una ayuda para la decisión sobre la puesta en marcha de su política de alianzas y de conflictos.

Se construye una matriz de influencias directas entre actores a partir de un cuadro estratégico valorando los medios de acción de cada uno.

El relleno se efectúa de manera cualitativa. Por cada pareja de actores, se plantea la siguiente pregunta: ¿existe una relación de influencia directa entre el actor A_n y el actor A_{n+1} ? si es negativa la respuesta, se anota (0), en el caso contrario, se cuestiona si esta relación de influencia directa es, débil (1), mediana (2), o fuerte (3).

Las relaciones de fuerza son calculadas por el programa MACTOR teniendo en cuenta la fidelidad de los medios de acción directos e indirectos (un actor puede actuar sobre otro por mediación de un tercero).

Luego se construye un plano de influencia-dependencia entre actores, expuesto en el esquema que prosigue, a partir del cual, el análisis de sus relaciones de fuerzas que revelan las fortalezas y debilidades de cada uno de ellos, sus posibilidades de bloqueo, etcétera.

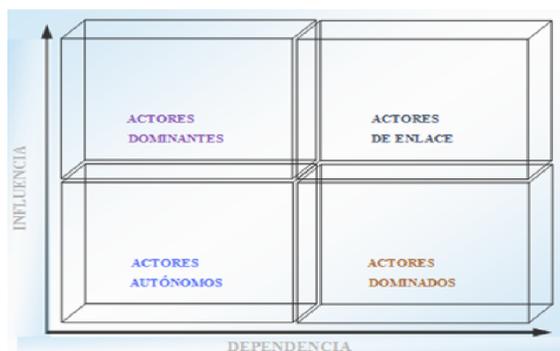


Figura 2.4 Plano de influencia y dependencia entre actores

El juego de alianzas y conflictos potenciales entre actores que pone de manifiesto el método MACTOR, contribuye a la formulación de preguntas claves



de la Prospectiva y de las recomendaciones estratégicas. Ayuda, por ejemplo, a interrogarse sobre las posibilidades de evolución de relaciones entre actores, la emergencia y la desaparición de los mismos, así como sobre los cambios de sus funciones.

En resumen, puede decirse que el método MACTOR tiene la ventaja de tener un carácter muy operacional para una gran diversidad de juegos implicando numerosos actores frente a una serie de posturas y de objetivos asociados, aunque tiene cierto número de limitaciones, principalmente las concernientes a la obtención de la información necesaria debido al comportamiento de algunos actores a la hora de revelar sus proyectos estratégicos y sus medios de acción externos ya que siempre existe una parte irreductible de confidencialidad en estas, no obstante, con todos es posible proceder a contrastes y cruzamientos de información provenientes de diversas fuentes de una manera útil.

2.2.5 Elaboración de los escenarios prospectivos (Análisis en el SMIC)

Los métodos de impactos cruzados probabilistas permiten determinar las probabilidades simples y condicionadas de hipótesis o eventos, así como las probabilidades de combinaciones de estos últimos, teniendo en cuenta las interacciones entre los eventos y/ o hipótesis. El objetivo de estos métodos no es solamente el de hacer destacar los escenarios más probables, sino también el de examinar el más deseado. El criterio de los expertos continúa siendo de gran importancia en esta etapa de definición de los eventos (hipótesis) que pueden o no ocurrir dentro de la industria.

Cuando se hace referencia al método de impactos cruzados se hace alusión al término genérico de una familia de técnicas que intentan evaluar los cambios en las probabilidades de un conjunto de acontecimientos como consecuencia de la realización de uno de ellos.

El SMIC (Sistemas y Matrices de Impactos Cruzados) ha dado pruebas de sus ventajas por el significativo número de aplicaciones concretas a las que ha dado lugar. En la práctica, si se considera un sistema de n hipótesis, el método SMIC, a



partir de las informaciones facilitadas por los expertos, posibilita elegir entre las 2ⁿ imágenes posibles (juegos de hipótesis), aquellas que deberían (habida cuenta de su probabilidad de realización) ser estudiadas muy particularmente. El método permite por tanto, vigilar estrechamente los futuros más probables que serán recogidos por el método de los escenarios y consta de dos fases:

Formulación de hipótesis y selección de expertos

Una encuesta SMIC tiene como base de partida cinco o seis hipótesis fundamentales. Ahora bien, no es fácil estudiar el futuro de un sistema complejo con un número de hipótesis tan limitado, por lo que son de gran interés métodos del tipo del análisis estructural o reflexión acerca de la estrategia de los actores, que permiten identificar mejor las variables claves y una mejor formulación de las hipótesis de partida.

Para la realización de un SMIC se utilizan los criterios de los expertos, en este caso los ya seleccionados por el Delphi y se les pide: Evaluar la probabilidad simple de realización de una hipótesis desde una probabilidad 1 (muy débil) hasta una probabilidad 5 (acontecimiento muy probable) y evaluar bajo forma de probabilidad condicional la realización de una hipótesis en función de todas las demás, por lo que habida cuenta de todas las preguntas que el experto debe plantearse, se le exige revelar la coherencia implícita de su razonamiento.

Probabilidad de escenarios

El programa SMIC (programa clásico de minimización de una forma cuadrática con límites lineales) permite el análisis de estos grupos de expertos, corrigiendo las opiniones de los mismos de forma que se obtengan resultados netos coherentes (es decir que satisfagan las limitaciones clásicas que imponen las probabilidades) y afectando una probabilidad a cada una de las 2ⁿ combinaciones posibles de las n hipótesis.

La etapa posterior se centra en la redacción de los escenarios, camino del presente hacia las imágenes finales con el comportamiento de los actores, a lo que se le denomina Método de Escenarios.



La puesta en marcha del análisis SMIC es muy sencilla. Su desarrollo es bastante rápido y los resultados obtenidos son por lo general de fácil interpretación. Es una excelente barrera defensiva intelectual que permite a menudo poner a la luz ciertas ideas comúnmente aceptadas y cerciorarse de que los escenarios estudiados cubren una parte razonable del campo de probabilidades, es decir, que al menos existan de 6 a 7 probabilidades sobre diez de que la realidad futura corresponda a uno de los escenarios adoptados.

Hay que ser cuidadoso y evitar en la medida de lo posible una aplicación excesivamente mecánica de todos estos métodos y no olvidar que las probabilidades obtenidas son probabilidades subjetivas, o sea, no se basan en frecuencias observadas sino en opiniones.

2.3 Método de los escenarios

2.3.1 Definición y clasificación

Un escenario es un conjunto formado por la descripción de una situación futura y de la trayectoria de eventos que permiten pasar de una situación origen a una situación futura. Se clasifican en:

Exploratorios: Parten de tendencias pasadas y presentes que conducen a futuros deseables.

De anticipación o normativos: Construidos a partir de imágenes alternativas del futuro, pueden ser deseables o rechazables. Se conciben de un modo retrospectivo, de regresión.

2.3.2 Ventajas y desventajas

El método de escenarios tiende a construir representaciones de los posibles futuros, así como el camino que conduce a su consecución. El objetivo de estas representaciones es poner en evidencia las tendencias fuertes y los orígenes de rompimiento del entorno general y competencial de la organización.

Los escenarios constituyen una luz indispensable para orientar las decisiones estratégicas. Este método puede ayudar a elegir, situando el máximo de apuestas



para la estrategia que sea la más idónea de acometer en el proyecto que se determine. Su camino lógico (delimitación del sistema, análisis retrospectivo, estrategia de actores, elaboración de escenarios) se impone en multitud de estudios prospectivos.

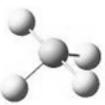
Sin embargo, aunque el camino del método de escenarios sea lógico, no es imprescindible recorrerlo de principio a fin. Todo depende del grado de conocimiento del sistema estudiado y de los objetivos que se persigan. Es modular (puede ser modificado). Se puede, en función de las necesidades, limitar el estudio a uno u otro módulo, como por ejemplo el análisis estructural para la búsqueda de las variables claves, el análisis del juego de actores o la encuesta a expertos sobre las hipótesis claves para el futuro. Incluso, puede ser suficiente representar imágenes que insistan en las tendencias de mayor peso, en las rupturas o en los acontecimientos claves, sin precisar siempre el camino.

Por otra parte se conoce que uno de los principales impedimentos del método es el tiempo. Se necesitan en general de 12 a 18 meses para seguir el proceso en su totalidad, de los que al menos la mitad se dedican a la construcción de la base. Si no se dispone de más de 3-6 meses, es preferible concretar la reflexión sobre el módulo o módulos que resulten más importantes.

En términos generales, se puede afirmar que una de las principales dificultades del método está en su carácter no neutro, pues las ideas, valores y visiones del mundo y la sociedad cuentan con la creación de futuros, pero a su vez una cuestión importante es que permite explorar opciones para el logro de los mejores resultados e impactos de la acción en el sistema y alcanzar una interacción dinámica entre la situación actual y la prospectiva, en condiciones de cambio e incertidumbre.

Además la construcción de escenarios constituye una forma de elaborar previsiones, que lejos de apegarse a la realidad presente, la cuestiona y busca transformarla profundamente y pensarla alternativamente.

32
16



C *apítulo 3*



Capítulo 3. Análisis de los Resultados

En el actual capítulo se trabaja sobre la metodología propuesta con anterioridad, enfocada directamente en el proceso que se investiga, dándole cumplimiento a cada fase presentada. Se efectúa todo el procedimiento buscando resultados y realizando el análisis de cada uno de ellos. Para ello se tiene en cuenta además el conocimiento teórico adquirido durante la investigación, en aras de disminuir los posibles errores que pudieran cometerse.

3.1 Lanzamiento del estudio (Método Delphi)

Primeramente se determina el número de expertos que encabezarán la investigación a desarrollar, mediante la siguiente expresión.

$$n = \frac{p(1-p) * k}{i^2} \quad (\text{I})$$

En este caso:

n – Cantidad o número de expertos.

p – Proporción de error que se comete al hacer estimaciones del problema con la cantidad de expertos. En este caso $p = 0,02$.

k – Constante que depende del nivel de significación estadística $(1 - \alpha)$, que se obtiene a través de la tabla que se muestra a continuación, en este caso se trabaja con 3,8416.

Tabla 3.1 Coeficientes de significación estadística

$(1 - \alpha)$	k
99 %	6,6564
95 %	3,8416
90 %	2,6896

i – Precisión del experimento. Debe ser $i \leq 0,12$. En este caso $i = 0,075$



Sustituyendo valores en (I) se tiene que:

$$n = \frac{p(1-p) * k}{i^2} = 13,33 \approx 13$$

Una vez determinado este total se realiza la elección de los posibles expertos. Para ello se elabora una lista (en este caso de 26) con los candidatos a participar, que deben cumplir con ciertos requisitos, es decir, deben poseer conocimiento sobre el tema, grado científico (Dr., MSc., Lic., Ing.), profesionalidad y ética en el puesto de trabajo, años de experiencia, lo que determina además el nivel de responsabilidad y conocimiento.

Posteriormente se determina el coeficiente de competencia ($K_{competencia}$) de cada uno de ellos, lo que representa el parámetro a tener en cuenta para seleccionar cuáles serán los 13 a participar. Se determina de la siguiente manera:

$$K_{competencia} = K_c + K_a$$

Donde:

K_c – Promedio de los valores que el candidato le confiere a cada aspecto que se evalúa en una encuesta presentada. Para ello deben elaborar su autoevaluación de manera anónima (**Ver Anexo 3.1 Encuesta para la selección de los expertos que contribuirán al desarrollo del estudio**)

K_a – Coeficiente de argumentación, dado por la sumatoria de los valores adquiridos en cuanto al grado de influencia de cada una de las fuentes de argumentación (**Ver Anexo 3.2 Nivel de conocimiento de acuerdo a fuentes de argumentación**)

Resulta válido destacar que:

- La Competencia del experto es Alta (A): Si $K_{competencia} > 8$
- La Competencia del experto es Media (M): Si $5 < K_{competencia} \leq 8$
- La Competencia del experto es Baja (B): Si $K_{competencia} \leq 5$



Una vez aplicado este método se obtuvo como resultado (**Ver Anexo 3.3 Coeficientes de competencia de los candidatos**) que de los 26 candidatos propuestos para el desarrollo de la investigación, ninguno presenta evaluación de baja competencia, mientras 13 resultan evaluados de alta competencia, con igual cantidad en competencia media.

De ahí que finalmente el listado se reduce a las siguientes personas.

Tabla 3.2 Inventario de Expertos

Expertos	Grado Científico	Función
Ramón Pérez Gálvez	Doctor	Especialista de Mecánica
Hernán Hernández Herrera	Doctor	Especialista A de Mecánica
Nicolás González Suárez	Doctor	Especialista de Petroquímica
Rafael López Cordero	Doctor	Especialista del Petróleo
Eduardo López Bastida	Doctor	Profesor Titular de la UCF
Eduardo Figueredo García	Máster	Director de ingeniería
Fernando Piñón Yanes	Máster	Especialista de Proceso
Juan Carlos del Rosario	Máster	Especialista en Automática
Gabriel Orlando Lobelles	Máster *	Especialista A de procesos
Serguei Varela Pared	Máster	Especialista A de procesos
Tania Idania Carrillo Romero	Máster	Especialista A de SHA
Edel Águila Pérez	Máster	Especialista A de SHA
Miguel López Medina	Máster	Especialista A de proceso

Legenda: *- Aspirante a Doctor ; SHA- Seguridad e Higiene Ambiental



3.2 Análisis integral de la situación y búsqueda de variables estratégicas (Matriz DAFO)

Una vez conocidos los procesos auxiliares que tienen lugar dentro de los procesos de refinación de petróleo, así como la situación actual de la refinaria de Cienfuegos y la situación futura producto del proyecto de expansión, los expertos fueron reunidos en un taller de interacción de criterios donde a partir de la discusión del tema se identificaron las principales fortalezas, amenazas, debilidades y oportunidades que pueden aparecer durante el proceso. A continuación se exponen las que se consideran de mayor importancia.

Debilidades

- 1- Falta de financiamiento nacional para la Investigación- Desarrollo- Innovación.
- 2- Ausencia de una política estatal de producción- comercialización del Azufre.
- 3- Ausencia de acciones coordinadoras y de priorización para la inversión.
- 4- Elevado costo de producción en toda la cadena del valor para el Azufre.
- 5- Falta de ordenamiento que considere el adecuado balance entre consumo, producción y energía.

Amenazas

- 1- Falta de interés en los sistemas financieros para el apoyo a la producción de Azufre.
- 2- Oposición social de sectores ambientalistas, entre otros.
- 3- Contaminación creciente del agua.
- 4- Falta de financiamiento para las inversiones.
- 5- Elevado precio del agua y bajo precio del Azufre en el mercado.

Fortalezas

- 1- Existe talento humano para la investigación, desarrollo y explotación de las nuevas tecnologías en Cuba.



- 2- Existe una alimentación a planta estable y con características similares.
- 3- Existe un mercado interno con capacidad de demanda inmediata para el Azufre.
- 4- Una capacidad instalada para producir azufre con eficiencia tecnológica.
- 5- Una capacidad instalada para recuperar agua industrial con eficiencia tecnológica.

Oportunidades

- 1- Creciente importancia y necesidad de explotar el uso y reúso del agua industrial.
- 2- Imagen ambiental positiva ante los efectos negativos de la contaminación atmosférica.
- 3- Creciente importancia y necesidad de exportar el Azufre.
- 4- Posibilidad para reducir costos energéticos y totales
- 5- Representa una estrategia socio-ecológica importante para preservar la calidad de vida en la bahía.

Luego continúan con el procesamiento de la matriz DAFO donde se evalúa el nivel de impacto que presentan para lo que se les confiere una puntuación a esta interacción. La influencia puede ser alta, media, baja o nula y para esto se anota 3, 2, 1 y 0 respectivamente.

En cuanto al análisis de la influencia, se desarrolla mediante la realización de algunas preguntas en dependencia del cuadrante donde se esté trabajando.

Cuadrante No. 1- (Fortalezas-Oportunidades) - ¿En qué magnitud la fortaleza F_n posibilita aprovechar la oportunidad O_n ?

Cuadrante No. 2- (Fortalezas- Amenazas) - ¿En qué magnitud la fortaleza F_n permite disminuir la amenaza A_n ?

Cuadrante No. 3- (Debilidades-Oportunidades) - ¿En qué magnitud la debilidad D_n imposibilita aprovechar la oportunidad O_n ?

Cuadrante No. 4- (Debilidades- Amenazas) - ¿En qué magnitud la debilidad D_n entorpece el proceso para enfrentar la amenaza A_n ?

A continuación se muestran los resultados adquiridos.

Tabla 3.3 Resultados de la Matriz DAFO

		OPORTUNIDADES					AMENAZAS					TOTAL
		O1	O2	O3	O4	O5	A1	A2	A3	A4	A5	
FORTALEZAS	F ₁	1	2	3	1	2	0	2	2	2	2	17
	F ₂	1	2	3	2	0	0	0	2	3	0	13
	F ₃	1	2	1	0	2	1	0	2	1	1	11
	F ₄	1	3	2	2	1	1	0	0	2	0	12
	F ₅	3	2	1	1	2	1	0	2	1	0	13
DEBILIDADES	D ₁	1	1	2	0	3	2	0	3	3	1	16
	D ₂	1	1	2	1	3	0	2	0	0	0	10
	D ₃	2	0	2	3	3	2	1	1	1	3	18
	D ₄	2	2	1	3	1	2	3	0	0	0	14
	D ₅	1	0	3	3	2	2	0	0	0	2	13
TOTAL		14	15	20	16	19	11	8	12	13	9	137

Lo anterior se resume de la siguiente manera.

Tabla 3.4 Resumen de la Matriz DAFO

Cuadrante	Siglas	Total	% Representado
1	F-O	41	29, 93
2	F-A	25	18, 25
3	D-O	43	31, 39
4	D-A	28	20, 44
Total		137	100

Problema Estratégico General

Como se puede observar la empresa se encuentra en el tercer cuadrante, estado de **adaptación** (D-O), donde predominan las debilidades de la empresa, ya que actualmente no existe la tecnología capaz de eliminar la presencia del Azufre en el agua técnica de los procesos de refinación, por lo que continúa el



impacto medioambiental, debido a las emisiones de Azufre a la atmósfera. Sin embargo existen una serie de oportunidades que permiten atenuar la situación y que pueden ser aprovechadas. Por otra parte presenta además un elevado peso en la posición del primer cuadrante, **ofensiva** (F-O), lo que demuestra que existen una serie de fortalezas que, al igual que las oportunidades pueden ser sometidas a explotación.

Solución Estratégica General

La ubicación estratégica en una posición **adaptativa** hace preciso enfrentar las debilidades presentes que impiden aprovechar las oportunidades. Es por ello que se considera necesario enfrentar prioritariamente la solución de las debilidades: falta de financiamiento nacional para la Investigación-Desarrollo-Innovación, ausencia de una política estatal de producción-comercialización del Azufre, ausencia de acciones coordinadoras y de priorización para la inversión, elevado costo de producción en toda la cadena del valor para el Azufre, falta de ordenamiento que considere el adecuado balance entre consumo, producción y energía; entonces se podrá aprovechar: la creciente importancia y necesidad de explotar el uso y reúso del agua industrial, imagen ambiental positiva ante los efectos negativos de la contaminación atmosférica, creciente importancia y necesidad de exportar el Azufre, posibilidad para reducir costos energéticos y totales, así como tener en cuenta que representa una estrategia socio-ecológica importante para preservar la calidad de vida en la bahía.

Teniendo en cuenta que la diferencia entre los dos cuadrantes mencionados con anterioridad es mínima, **adaptativa** (31.39 %) y **ofensiva** (29.93 %) se considera oportuno establecer también la solución en este contexto, es decir, formular una alternativa que consiste en potenciar el talento humano existente para la investigación, desarrollo y explotación de las nuevas tecnologías en Cuba, la existencia de una alimentación a planta estable y con características similares, la existencia de un mercado interno con capacidad de demanda inmediata para el Azufre, la capacidad instalada para producir Azufre con eficiencia tecnológica, la capacidad instalada para recuperar agua industrial con eficiencia tecnológica; lo



que trae consigo que: se podrá aprovechar la creciente importancia y necesidad de explotar el uso y reúso del agua industrial, la imagen ambiental positiva ante los efectos negativos de la contaminación atmosférica, la creciente importancia y necesidad de exportar el Azufre, la posibilidad para reducir costos energéticos y totales, la representación de una estrategia socio-ecológica importante para preservar la calidad de vida en la bahía.

3.3 Análisis estructural. Identificación de las variables claves del sistema y de sus interrelaciones (Análisis en el MIC-MAC)

Una vez obtenidos los resultados de la matriz DAFO y apoyados en el análisis a documentos de trabajo como actas de los consejos de dirección, los expertos realizaron un listado sobre las variables que caracterizan a la refinería y su proceso de expansión, con su correspondiente definición. El trabajo con este grupo de variables permite identificar los factores críticos del contexto, mostrando con la ayuda del análisis estructural las variables claves que tienen mayor influencia en la industria.

3.3.1 Listado de variables y conceptualización

1. Producción: Garantiza la producción de Azufre, proveniente de las aguas contaminadas.
2. Procedimiento de trabajo: Procedimiento para cada uno de los puestos de trabajo.
3. Disponibilidad de materia prima (agua): Insumos necesarios para desarrollar la actividad fundamental.
4. Otorgamiento de créditos ambientales: Posibilidad de crédito ambiental para inversión por proyecto.
5. Demanda: Existencia de mercado interno con demanda para la producción de Azufre.
6. Decisiones gubernamentales: Decisiones políticas o económicas tomadas centralmente a nivel de país que influyen sobre la organización.



7. Inversiones: Conjunto de recursos en una organización para crear activos.
8. Concertación entre actores: Refiere acuerdos bilaterales entre operación-inversionista- sociedad.
9. Disponibilidad de solvente (Amina): Insumos necesarios para desarrollar la actividad fundamental, lograr la separación del H_2S de la corriente de gases.
10. Mercado: Existencia de mercado interno y competencia con el mercado externo.
11. Insumos materiales: Insumos necesarios para desarrollar la actividad fundamental.
12. Costo: Corresponde al costo de las inversiones para estos procesos.
13. Tecnología: Medio necesario para garantizar la recuperación del agua industrial y el Azufre.
14. Política de lineamientos: Comprende la implementación de los lineamientos a la actividad según la política de desarrollo del país.
15. Marco regulatorio: Legislaciones y regulaciones establecidas para el funcionamiento de la organización.
16. Proveedores: Nivel de influencia de la garantía de los medios y materiales necesarios proporcionados por los proveedores para la continuidad de todos los servicios de la entidad (calidad, precio, distribución, etcétera).
17. Seguridad y salud: Conjunto de normas y procediendo que garantizan la seguridad y salud de los trabajadores en la organización.
18. Disponibilidad de fuerza técnica especializada: Disponibilidad de fuerza de trabajo calificada en el mercado.
19. Normas de calidad agua: Regulan la reutilización del agua industrial.
20. Metrología: Medición de consumo y operación del sistema.
21. Precio: Refiere lo que cuesta el consumo de agua y lo que aporta la venta del Azufre.



22. Calidad: Establece los parámetros a cumplir para la venta del Azufre.
23. Integración: Posibilidad de integración de los sistemas que recuperan el agua y el Azufre.
24. Educación y concientización: Vía para lograr un uso racional del agua.
25. Energía: Influencia directa en cada proceso.
26. Normas de emisiones: Regulan las emisiones al medio líquido o gaseoso.
27. Contaminación: Comprende el impacto sobre el medio acuático y atmosférico.
28. Infraestructura tecnológica: Estado de las instalaciones tecnológicas que garanticen el servicio del agua, su tratamiento como residual y la protección de las aguas marinas.
29. Presupuesto: Posibilidades reales de utilizar el presupuesto asignado a la organización.
30. Capacitación técnica y tecnológica: Posibilidad de recibir capacitación técnica para enfrentar la nueva tecnología.
31. Bloqueo económico: Repercusión hacia Cuba en cuanto a las regulaciones jurídicas, las restricciones económicas en la integración de Cuba al mundo y otras.
32. Disponibilidad de materia crudo (Azufre): Insumos necesarios para desarrollar la actividad fundamental, con el crudo aparece el Azufre que contamina al agua.
33. Responsabilidad social: Refiere la responsabilidad que adquiere la explotación de la tecnología con el medio ambiente.
34. Condiciones de trabajo: Contempla las condiciones que tiene cada puesto de trabajo para satisfacción de los trabajadores con el objetivo de que se puedan ejecutar sin riesgos las tareas previstas.
35. Clima: Comportamiento de los vientos, así como periodos de seca y lluvia en el año hidrológico.

36. Activos fijos existentes: Inmueble y medios que se necesitan para realizar la actividad fundamental y para la relación inter- plantas existentes y proyectadas.

3.3.2 Relación entre variables

Una vez que fueron identificadas las variables de mayor influencia, los expertos establecieron mediante un consenso las relaciones entre las mismas, e identificaron el grado de influencia o dependencia de cada una sobre el resto. Para ello se creó una matriz (Matriz de Influencias Directas- MID) que contempla dichos resultados (**Ver Anexo 3.4 Matriz de Influencias Directas- MID**). Seguidamente se muestran algunas de las características que de manera general presenta la misma.

Tabla 3.5 Indicadores y valores expuestos en la (MID)

Indicadores	Valores
Tamaño de la matriz	36
Número de iteraciones	2
Total de ceros	84
Total de unos	728
Total de dos	481
Total de tres	3
Total de P	0
Total	1212
Velocidad de llenado	93, 51852 %

Tabla 3.6 Estabilidad a partir de la MID

Iteraciones	Influencia	Dependencia
1	95 %	97 %
2	100 %	99 %



3.3.3 Identificación de las variables claves

Una vez que fueron introducidas, tanto las variables como la matriz de influencia entre ellas, en el software MIC-MAC se obtuvo como resultados diferentes planos (**Ver Anexo 3.5 Plano de Influencias y Dependencias Directas; Plano de Influencias y Dependencias Indirectas**)

Teniendo en cuenta que en el segundo se evidencia el desplazamiento de las variables desde el punto de las influencias directas hasta las indirectas, a partir de este se pueden interpretar las siguientes variables.

Variables de Entrada: Poco dependientes que generalmente determinan el funcionamiento del sistema se identificaron- Procedimiento de trabajo (V2) y Condiciones de trabajo (V34).

Variables de Enlace: Como fundamentales fueron definidas- Decisiones gubernamentales (V6), Inversiones (V7), Tecnología (V13), Política de lineamientos (V14), Proveedores (V16), Seguridad y salud (V17), Precio (V21), Normas de emisiones (26) y Contaminación (V27).

Variables Excluidas: Muy dependientes- Producción (V1), Disponibilidad de materia prima (agua) (V3), Mercado (V10), Marco regulatorio (V15), Calidad (V22), Integración (V23), Educación y concientización (V24), Energía (V25), Infraestructura tecnológica (V28), Capacitación técnica y tecnológica (V30), Disponibilidad de materia crudo (Azufre) (V32), Responsabilidad social (V33), Clima (V35) y Activos fijos existentes (V36).

Variables de Resultado: Como variables de salida- Insumos materiales (V11), Metrología (V20), Presupuesto (V29) y Bloqueo económico (V31).

Variables de Pelotón: Las que se encuentran en el centro de la matriz- Otorgamiento de créditos ambientales (V4), Demanda (V5), Concertación entre actores (V8), Disponibilidad de solvente (Amina) (V9), Costo (V12), Disponibilidad de fuerza técnica especializada (V18) y Normas de calidad agua (V19).

Finalmente se obtiene tal efecto.

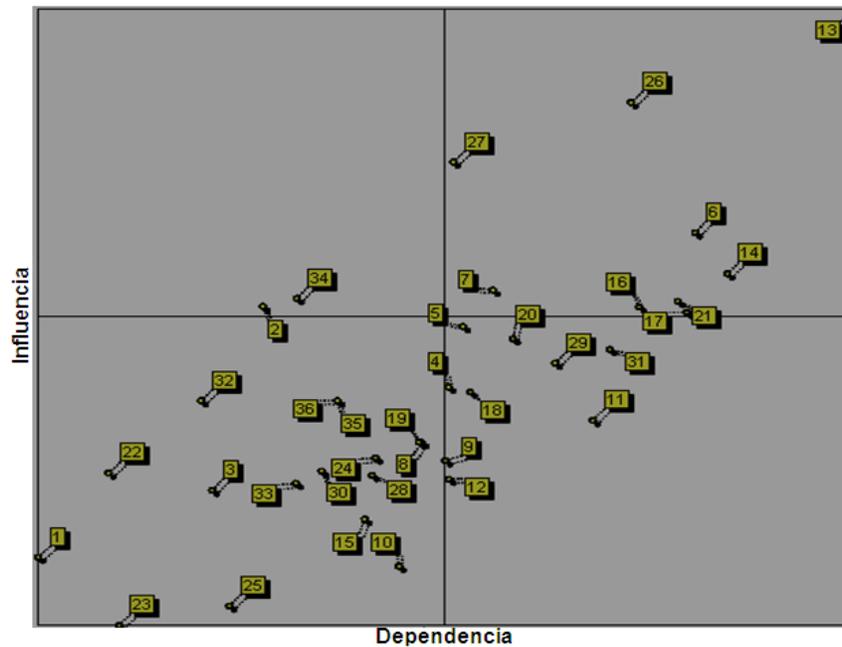


Figura 3.1 Plano de Influencias y Dependencias Indirectas Potenciales

En el plano anterior se definen las variables claves, es decir, las que se consideran con alto nivel de potencialidad, las más importantes para el proceso de eliminación de Azufre. Seguidamente se hace mención a cada una de ellas.

Variables Claves

- Decisiones gubernamentales: Decisiones políticas o económicas tomadas centralmente a nivel de país que influyen sobre la organización.
- Inversiones: Conjunto de recursos en una organización para crear activos.
- Tecnología: Medio necesario para garantizar la recuperación del agua industrial y el Azufre.
- Política de lineamientos: Comprende la implementación de los lineamientos a la actividad según la política de desarrollo del país.
- Proveedores: Nivel de influencia de la garantía de los medios y materiales necesarios proporcionados por los proveedores para la continuidad de todos los servicios de la entidad (calidad, precio, distribución, etcétera).



- Seguridad y salud: Conjunto de normas y procediendo que garantizan la seguridad y salud de los trabajadores en la organización.
- Precio: Refiere lo que cuesta el consumo de agua y lo que aporta la venta del Azufre.
- Normas de emisiones: Regulan las emisiones al medio líquido o gaseoso
- Contaminación: Comprende el impacto sobre el medio acuático y atmosférico.

Se puede precisar entonces que teniendo en cuenta las normas de emisiones existentes, así como la importancia de la seguridad y salud en el trabajo, y los impactos ocasionados por la contaminación, es necesario realizar inversiones que, apoyadas en la política de lineamientos como decisiones gubernamentales, permitan la adquisición a través de los proveedores, de una tecnología capaz de disminuir las debilidades que fueron detectadas en el diagnóstico realizado al inicio de la investigación, teniendo en cuenta los precios que influyen en los gastos para la empresa, así como los ingresos que aportará a la misma.

3.4 Análisis del juego de actores. Anticipación y confección de la evolución del futuro (Análisis en el MACTOR)

Los expertos como parte de su función, una vez que fueron definidas las variables claves, identificaron los siguientes actores que pueden influir en la introducción de las tecnologías para recuperar agua industrial y producir Azufre. Seguidamente se menciona cada uno de ellos.

Listado de Actores

1. Cooperación Nacional.
2. Ministerio de Economía y Planificación.
3. Cooperación internacional.
4. Ministerio de Finanzas y Precios.
5. Ministerio de Salud Pública.



6. Ministerio de Industrias.
7. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente.
8. Sector Petrolero.
9. Sociedad Civil.
10. Ministerio de Energía y Minas.
11. Sector Financiero.
12. Tecnólogos.
13. Sector Académico.
14. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
15. Consejo de Estado.

Posteriormente los expertos analizan el grado de influencia o dependencia de cada una con respecto a las otras. De esta forma se conforma una matriz llamada Matriz de Influencias Directas- MID (**Ver Anexo 3.6 Matriz de Influencias Directas- MID**) que contempla dichos resultados.

A partir de esta matriz el MACTOR proporciona la Matriz de Influencias Directas e Indirectas- MIDI (**Ver Anexo 3.7 Matriz de Influencias Directas e Indirectas- MIDI**).

A partir de dichos resultados se puede concluir que: los actores que más influyen son- Ministerio de Economía y Planificación (A2), Ministerio de Finanzas y Precios (A4), Ministerio de Energía y Minas (A10) y Tecnólogos (A12). Mientras que los que más dependen son- Ministerio de Finanzas y Precios (A4), Ministerio de Industrias (A6), Sector Petrolero (A8) e Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (A14).

Por otra parte se tiene también la Matriz de Máximas Influencias Directas e Indirectas- MMIDI (**Ver Anexo 3.8 Matriz de Máximas Influencias Directas e Indirectas- MMIDI**), que se emplea para identificar el nivel máximo de influencias

y dependencia que un actor puede ejercer sobre otro actor, ya sea de forma directa o a través de un actor relevo.

Una vez realizado el análisis de esta matriz se tiene que los actores que presentan mayor influencia son Cooperación internacional (A3), Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (A7), Sector Petrolero (A8) y el Consejo de Estado (A15). Mientras que los que presentan mayor dependencia son el Ministerio de Salud Pública (A5), Ministerio de Industrias (A6), Sociedad Civil (A9) y el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (A14).

Finalmente se obtiene un plano de influencias y dependencias entre actores que permite identificar los actores dominantes, actores de enlace, actores autónomos y los actores dominados. El mismo será representado posteriormente.

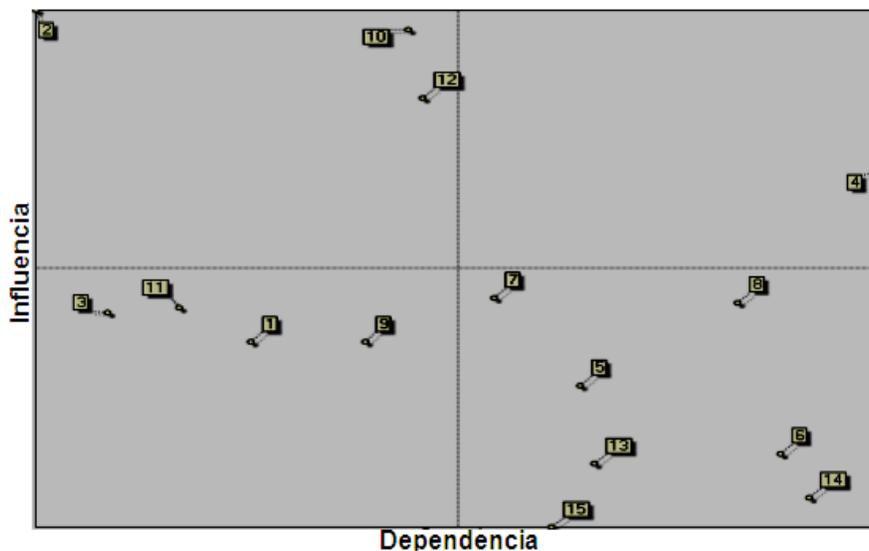


Figura 3.2 Plano de Influencias y Dependencias entre actores

A partir de lo anterior se tiene como resultado:

Autores Dominantes: Ministerio de Economía y Planificación (A2), Ministerio de Energía y Minas (A10) y Tecnólogos (A12).

Autores de Enlace: Ministerio de Finanzas y Precios (A4).

Autores Autónomos: Cooperación Nacional (A1), Cooperación internacional (A3), Sociedad Civil (A9) y el Sector Financiero (A11).



Autores Dominados: Ministerio de Salud Pública (A5), Ministerio de Industrias (A6), Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (A7), Sector Petrolero (A8), Sector Académico (A13), Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (A14) y el Consejo de Estado (A15).

3.5 Elaboración de los escenarios prospectivos (Análisis en el SMIC)

Para la elaboración de los escenarios prospectivos se tienen en cuenta los análisis MIC-MAC y MACTOR que permitieron conocer las variables claves del sistema, así como los actores más influyentes y dependientes. Todo esto contribuye a que los expertos tengan la facilidad de definir los eventos, es decir, las hipótesis que pueden o no ocurrir durante el proceso en estudio, para lo cual se hace necesaria la participación en un taller desarrollado con el objetivo de llegar a un acuerdo. A partir de lo anterior se obtuvo como resultado el siguiente listado de hipótesis.

Listado de Hipótesis

H1: La implementación y cumplimiento de las normas regulatorias de emisiones, facilitará la sustentabilidad del proceso de refinación.

H2: El logro de que los residuales líquidos (agua ácidas) generados en los procesos productivos sean tratados y recuperados para su reúso.

H3: La integración de las unidades, adecuada y racionalmente a la eliminación de Azufre en el agua industrial y la producción de Azufre, potenciará el desarrollo socio económico industrial y el equilibrio sociedad- naturaleza.

H4: La potenciación del talento humano permitirá el desarrollo de la Investigación- Desarrollo- Innovación tecnológica y permitirá adecuar la asimilación de tecnologías apropiadas.

H5: El establecimiento de una clara estrategia de producción de Azufre facilitará la gestión de financiamiento nacional e internacional.

H6: La adecuada coordinación entre actores y factores de la producción de Azufre reducirá los costos de transacción y contribuirá al saneamiento de la bahía.



Luego se presenta una encuesta a los expertos (**Ver Anexo 3.9 Encuesta presentada a los expertos para procesar el grupo de hipótesis propuestas**) para que, mediante su opinión, puedan determinar la probabilidad de ocurrencia de los eventos de manera independiente, así como la probabilidad de que ocurra H_n si a su vez ocurre H_{n+1} , o por el contrario que ocurra H_n si a su vez no ocurre H_{n+1} ; para lo cual se utilizan tres matrices, que serán introducidas en el SMIC para determinar los resultados finales. Estos serán expuestos a continuación.

Probabilidades simples

Como se puede observar a continuación, se encuentran tabuladas las probabilidades simples de ocurrencia de cada hipótesis o evento, donde se puede deducir con facilidad que el evento más probable es- La implementación y cumplimiento de las normas regulatorias de emisiones, facilitará la sustentabilidad del proceso de refinación (H1) con un 0,775. Mientras que el evento menos probable resulta ser- El logro de que los residuales líquidos (agua ácidas) generados en los procesos productivos sean tratados y recuperados para su reúso (H2) con un valor de 0,55.

Tabla 3.7 Datos de probabilidades simples

Hipótesis	Probabilidades
1 : H1	0,775
2 : H2	0,55
3 : H3	0,718
4 : H4	0,746
5 : H5	0,707
6 : H6	0,696

Probabilidades condicionadas con realización

El análisis sobre las probabilidades condicionadas con la realización de otra hipótesis demostró que la combinación más probable es- La implementación y

cumplimiento de las normas regulatorias de emisiones, facilitará la sustentabilidad del proceso de refinación, con- La integración de las unidades, adecuada y racionalmente a la eliminación de azufre en el agua industrial y la producción de azufre, potenciará el desarrollo socio económico industrial y el equilibrio sociedad-naturaleza. En este caso H1 con H3 con una probabilidad igual a 0, 995. Esto significa que las normas regulatorias de emisiones serán cumplidas si ocurre la integración de las unidades.

Por otra parte se tiene que la combinación menos probable resulta ser la de H2 con H5 con un valor de 0, 607. Esto significa que el logro de los residuales líquidos (agua ácidas) generados en los procesos productivos sean tratados y recuperados para su reúso es poco probable a pesar del establecimiento de una clara estrategia de producción de Azufre que facilitará la gestión de financiamiento nacional e internacional. Seguidamente se muestra lo señalado.

Tabla 3.8 Datos de probabilidades condicionadas con la realización

Hipótesis	H1	H2	H3	H4	H5	H6
1 : H1	0, 775	0, 904	0, 995	0, 985	0, 815	0, 931
2 : H2	0, 642	0, 55	0, 65	0, 659	0, 607	0, 72
3 : H3	0, 922	0, 849	0, 718	0, 921	0, 769	0, 921
4 : H4	0, 948	0, 894	0, 956	0, 746	0, 831	0, 927
5 : H5	0, 744	0, 781	0, 757	0, 788	0, 707	0, 848
6 : H6	0, 836	0, 911	0, 892	0, 865	0, 834	0, 696

Probabilidades condicionadas sin realización

En cuanto al análisis sobre la probabilidad condicionada si no hay realización de otro evento señala que la combinación más probable es H1 con H5 con 0, 679; es decir: la implementación y cumplimiento de las normas regulatorias de emisiones, facilitará la sustentabilidad del proceso de refinación (H1), a pesar de que no se efectúe H5 (El establecimiento de una clara estrategia de producción de Azufre que facilitará la gestión de financiamiento nacional e internacional).

Mientras que la menos probable es la combinación H3 con H1 con 0, 017, la cual expresa que es poco probable que la integración de las unidades, adecuada y racionalmente a la eliminación de Azufre en el agua industrial y la producción de azufre, potenciará el desarrollo socio económico industrial y el equilibrio sociedad-naturaleza si no se tiene en cuenta la implementación y cumplimiento de las normas regulatorias de emisiones.

Tabla 3.9 Datos de probabilidades condicionadas sin la realización

Hipótesis	H1	H2	H3	H4	H5	H6
1 : H1	0	0, 617	0, 215	0, 16	0, 679	0, 418
2 : H2	0, 234	0	0, 294	0, 23	0, 412	0, 161
3 : H3	0, 017	0, 558	0	0, 125	0, 595	0, 255
4 : H4	0, 05	0, 565	0, 21	0	0, 54	0, 33
5 : H5	0, 582	0, 618	0, 58	0, 47	0	0, 385
6 : H6	0, 212	0, 432	0, 195	0, 199	0, 361	0

También se tiene como resultado un histograma de probabilidades que muestra la probabilidad de ocurrencia de los escenarios construidos a partir de las hipótesis (**Ver Anexo 3.10 Histograma de Probabilidad de Escenarios**). Al realizar el análisis correspondiente se tiene que de los seis eventos o hipótesis consideras se formaron un total de 64 escenarios. Para ello se tuvo en cuenta todas las posibles combinaciones entre ellos.

En cuanto a la selección de estos, la metodología del SMIC plantea que se seleccionan una cantidad de escenarios tales que en su conjunto se tenga el 80 % de las probabilidades de ocurrencia. A pesar de que este por ciento puede variar, y por tanto la cantidad de escenarios evaluados, en este trabajo se trabajó bajo esta condición. De ahí que de este total, cinco fueron clasificados como los más probables, donde se plantea el más probable entre ellos, así como el más deseado.



Escenarios más probables

Escenario 01 (111111): (P= 0, 337)

Escenario 17 (101111): (P= 0, 195)

Escenario 64 (000000): (P= 0, 094)

Escenario 03 (111101): (P= 0, 092)

Escenario 62 (000010): (P= 0, 077)

$$\sum P = 0,795 \approx 0,80 = 80 \%$$

Teniendo en cuenta que cuando la probabilidad de un escenario es superior a 0,2 se tiene una débil coherencia en el sistema, el escenario 01 es rechazado del estudio.

Escenarios apuestas

Escenario 17 (101111): (P= 0,195)- En este se alcanza la implementación y cumplimiento de las normas regulatorias de emisiones, que facilitará la sustentabilidad del proceso de refinación; la integración de las unidades, adecuada y racionalmente a la eliminación de Azufre en el agua industrial y la producción de Azufre, que potenciará el desarrollo socio económico industrial y el equilibrio sociedad- naturaleza; la potenciación del talento humano que permitirá el desarrollo de la Investigación-Desarrollo-Innovación tecnológica y posibilitará adecuar la asimilación de tecnologías apropiadas; el establecimiento de una clara estrategia de producción de Azufre que facilitará la gestión de financiamiento nacional e internacional, así como la adecuada coordinación entre actores y factores de la producción de Azufre que reducirá los costos de transacción y contribuirá al saneamiento de la bahía. Sin embargo no se logra que los residuales líquidos (agua ácidas) generados en los procesos productivos sean tratados y recuperados para su reuso.

Escenario 64 (000000): (P= 0, 094)- En este se alcanzan resultados totalmente adversos, ya que no se cumple ninguno de los eventos propuestos, pues no se logra la implementación y cumplimiento de las normas regulatorias de emisiones,



que facilitará la sustentabilidad del proceso de refinación; el hecho de que los residuales líquidos (agua ácidas) generados en los procesos productivos sean tratados y recuperados para su reuso; la integración de las unidades, adecuada y racionalmente a la eliminación de Azufre en el agua industrial y la producción de Azufre, que potenciará el desarrollo socio económico industrial y el equilibrio sociedad- naturaleza; la potenciación del talento humano que permitirá el desarrollo de la Investigación-Desarrollo-Innovación tecnológica y permitirá adecuar la asimilación de tecnologías apropiadas; así como tampoco el establecimiento de una clara estrategia de producción de Azufre que facilitará la gestión de financiamiento nacional e internacional; ni la adecuada coordinación entre actores y factores de la producción de Azufre que reducirá los costos de transacción y contribuirá al saneamiento de la bahía.

Escenario 03 (111101): (P = 0, 092)- En el mismo se consigue la implementación y cumplimiento de las normas regulatorias de emisiones, que facilitará la sustentabilidad del proceso de refinación; el logro de que los residuales líquidos (agua ácidas) generados en los procesos productivos sean tratados y recuperados para su reuso; la integración de las unidades, adecuada y racionalmente a la eliminación de Azufre en el agua industrial y la producción de Azufre, que potenciará el desarrollo socio económico industrial y el equilibrio sociedad- naturaleza; la potenciación del talento humano que permitirá el desarrollo de la Investigación-Desarrollo-Innovación tecnológica y permitirá adecuar la asimilación de tecnologías apropiadas; y la adecuada coordinación entre actores y factores de la producción de Azufre reducirá los costos de transacción y contribuirá al saneamiento de la bahía. Mientras que no se alcanzará el establecimiento de una clara estrategia de producción de azufre que facilitará la gestión de financiamiento nacional e internacional.

Escenario 62 (000010): (P= 0, 077)- Como se puede observar en este escenario solo se cumple con la quinta hipótesis, es decir, solo se logrará el establecimiento de una clara estrategia de producción de Azufre facilitará la gestión de financiamiento nacional e internacional. Mientras que se imposibilita la



probabilidad de lograr la implementación y cumplimiento de las normas regulatorias de emisiones, que facilitará la sustentabilidad del proceso de refinación; el hecho de que los residuales líquidos (agua ácidas) generados en los procesos productivos sean tratados y recuperados para su reuso; la integración de las unidades, adecuada y racionalmente a la eliminación de Azufre en el agua industrial y la producción de Azufre, que potenciará el desarrollo socio económico industrial y el equilibrio sociedad- naturaleza; la potenciación del talento humano que permitirá el desarrollo de la Investigación-Desarrollo-Innovación tecnológica y permitirá adecuar la asimilación de tecnologías apropiadas; así como tampoco la adecuada coordinación entre actores y factores de la producción de Azufre que reducirá los costos de transacción y contribuirá al saneamiento de la bahía.

Descripción del escenario más probable

A partir de lo analizado anteriormente se tiene como resultado que el escenario más probable es el 01. En este queda bien claro que es posible realizar los seis eventos, lo que demuestra la importancia que tiene el hecho de trabajar sobre la base de darle cumplimiento. Para ello es necesaria la colaboración de los actores que influyen en el proceso en aras de potenciar las variables claves y darle solución a la problemática.

Descripción del escenario apuesta

A partir del criterio de cada uno de los expertos se tiene que el escenario por el que se apuesta es por 17. En este queda claro que se debe alcanzar la implementación y cumplimiento de las normas y regulaciones ambientales para lo cual será necesaria la integración de las unidades. Por otra parte se debe establecer una estrategia de producción de Azufre, así como la potenciación del desarrollo del talento humano y la adecuada coordinación entre actores. Todo esto da al traste con la conversión de debilidades en fortalezas, la potenciación de las ya existentes, aprovechando las oportunidades que se tienen y enfrentando de manera positiva todas aquellas amenazas que atentan, no solo contra el proceso, sino también contra el entorno, contra los seres humanos.



3.6 Propuesta de plan de mejoras

Concluido el análisis prospectivo quedan bien definidos los escenarios futuros a los que se enfrentará la refinería y su proyecto de expansión, así como los actores que tendrán la oportunidad de llevar a vía de ejecución el mismo. Sin embargo son conocidas las regulaciones medioambientales que establecen pautas a seguir para cada inversión o proceso nuevo.

El impacto ambiental de las aguas residuales industriales y el costo mucho más alto del agua cruda son serios desafíos que enfrenta la industria de procesos químicos en la actualidad.

A partir de los años 1 980, la industria de procesos químicos comenzó a mostrar interés en la implementación de políticas que analizaran el flujo de contaminantes como flujos de materiales de valor que podían ser recuperados de manera efectiva. Estos avances también han sido en respuesta a regulaciones ambientales cada vez de mayor exigencia que han presionado a las industrias para desarrollar estrategias de prevención y minimización de la contaminación a un costo rentable. Por consiguiente es necesario trazar estrategias que permitan que su uso sea económicamente sostenible y ambientalmente sustentable. En consecuencia el grupo de expertos, basados en el principio de sustentabilidad establecido por Brundtland (**Brundtland, 1 987**), *“satisfacer las necesidades de la actual generación pero sin que por esto se vean sacrificadas las capacidades futuras de las siguientes generaciones de satisfacer sus propias necesidades”*; luego de un proceso de búsqueda de información, del uso de su experticia y de un consenso unánime propusieron seis variantes tecnológicas que bien diseñadas o integradas posibilitarán el cumplimiento de las hipótesis planteadas y por consiguiente garantizarán el buen desempeño del proceso de refinación a pesar de su expansión tecnológica. A continuación las variantes identificadas:

Variantes Tecnológicas

Variante A: Refinería actual

Variante B: Variante A+ VDU+ CCU



Variante C: Variante B+ GSU+ SWS

Variante D: Variante C+ GSU+ SWS+ SRU- INCINERADOR

Variante E: Variante D+ GSU+ SWS+ SRU+ INCINERADOR

Variante F: Variante E+ GSU+ SWS+ SRU+ Reactor de Reducción+ Quemadores de los Hornos (Innovación Tecnológica)

Leyenda:

VDU- Unidad de Destilación al Vacío.

CCU- Unidad de Craqueo Catalítico.

GSU- Unidad de Endulzamiento de Gases.

SWS- Unidad Despojadora de Agua Ácidas.

SRU- Unidad Recuperadora de Azufre.



Conclusiones

1. Los análisis prospectivos constituyen hoy día una importante herramienta para la realización de estudios relacionados con tecnologías asociadas a la obtención de beneficios medioambientales.
2. Se propuso una metodología basada en Michel Godet que posibilitó la determinación del análisis prospectivo para la eliminación de sulfuro de hidrógeno en los procesos de refinación del petróleo.
3. Un análisis de la matriz DAFO de la problemática estudiada, elaborada por trece expertos seleccionados a través del método Delphi, mostró que la misma se encuentra en una posición **adaptativa**, por lo que se hace preciso enfrentar las debilidades presentes que impiden aprovechar las oportunidades.
4. Fueron determinadas las variables y los actores que mayor peso presentan en el proceso, así como los eventos propuestos por los expertos que permitieron seleccionar el escenario más deseado y proponer un plan de mejoras que, en este caso constituye la alternativa adecuada para la solución de la problemática existente.



Recomendaciones

1. Exponer los resultados obtenidos, unidos a la propuesta de mejoras con el consejo de dirección de ingeniería del proyecto de la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”.
2. Desarrollar en industrias de este tipo la metodología de análisis prospectivo estratégico propuesta, como herramienta para identificar y evaluar los escenarios estratégicos para el futuro de los procesos de refinación en Cuba.
3. Divulgar los resultados obtenidos en algunas publicaciones de revistas científicas, de forma tal que sea del conocimiento de todos.



Bibliografía

Alva Argaez, A. (2007). *The design of waterusing systems in petroleum refining using a water-pinch decomposition. s.l.* (Vol. 1). Chemical Engineering Journal.

Anderson, J. (2009). *The environmental benefits of water recycling and reuse. s.l* (Vols. 1-4). Water Science and Technology. Water Supply.

APA, Agencia para la Protección Ambiental. (2010). Sub parte JA. Normas de funcionamiento para refinerías de petróleo.

AXENS. (2012). *International provider of technologies (process licenses), products (catalysts and adsorbents) and services (technical assistance, training, consulting) to the refining, petrochemi to the refining, petrochemical and gas processes.* París. Francia: IFP-Institut Francaise du Pétrole (IFP- Group Technologies).

Balb, E. R. (s.d.). *Prospectiva Estratégica para las Américas.*

Barel. (2008). Definición de Prospectiva.

Colectivo de Autores. (s.d.). Prospectiva. Recuperado Marzo 5, 2014, a partir de <http://www.zonaeconomica.com/definicion-de-prospectiva>.

Chematek S.p.A. (2013). *Estudio técnico- económico para la Instalación de una Unidad Recuperadora de Azufre.* Refinería de Petróleos de Cienfuegos.

Decoopman, F. (2001). *Petroluem Conversion Processes.* París, Francia.

Decreto.638. (1995). *Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica.* Caracas. Venezuela.

Díaz Monzón, L. R. (2011). *Propuesta de estrategia de desarrollo socioeconómico local para el Consejo Popular Caracas utilizando métodos prospectivos.* Tesis de Maestría, Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos.

Dirección de Tecnología. (2003). *Refino del Petróleo.*



Equipo de Universidad del Valle. (s.d.). *Modelo de Prospectiva y Vigilancia Tecnológica del SENA para la respuesta Institucional de Formación*. Santiago de Cali.

Eslava, E. (2010). ¿Qué es Prospectiva? Recuperado a partir de <http://www.degerencia.com/articulo/que-es-prospectiva>.

García Prado, M. (s.d.). *Propuesta de estrategia para la producción sustentable de los biocombustibles en Guatemala*. Capítulo 2. de Tesis de Doctorado, Villa Clara: Universidad Central de Las Villas.

Godet, M. (1997). *De la anticipación a la acción. Manual de Prospectiva y Estrategia*.

González Alvarez, J. G. (2012). *Valoración de alternativas para la fabricación de azufre técnico a partir del sulfuro de hidrógeno en la refinería "Camilo Cienfuegos"*. Matanzas, Cuba.

González, G. (2014, Marzo 5). Estudio sobre Prospectiva.

IFC, W. B. S. G. (s.d.). *Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la refinación del petróleo*.

Lezama, F. (s.d.). *Prospectiva Tecnológica*.

Lobelles Sardiñas, G. O. (2012). *Estrategia para uso racional del agua y su energía asociada, desde la perspectiva de la economía ecológica, para el proceso de refinación de petróleo*. Matanzas, Cuba: Universidad "Camilo Cienfuegos".

LURGI. (2012). *International provider of technologies (process licenses), products (catalysts and adsorbents) and services (technical assistance, training, consulting) to the Sulfur Recovery Unit and Tail Gas Treatment*. Group Technologies.

Masanet, M. (s.d.). *Desarrollo e integración de los Sistemas de Información Contable en la gestión medioambiental de la Empresa*.



Métodos o Técnicas de Prospectiva. (2006). Recuperado a partir de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/administracion/v05_n10/prospectiva.htm.

Olmedo Toledo, T. (2010). *Análisis y selección de la mejor tecnología del proceso de recuperación de Azufre para gases de cola en Refinería de México*. Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México.

Ortegón, E., & Medina, J. (2006). *Manual de Prospectiva y Decisión Estratégica: Bases Teórica e instrumentos para América Latina y el Caribe*. Recuperado a partir de <http://www.degerencia.com/articulo/que-es-prospectiva>.

Outlook, O. E. (s.d.). *Prospectiva Medioambiental para el 2030*.

PEMEX. (2013). *Petróleos Mexicanos. Petróleos Mexicanos. PEMEX*. Recuperado Marzo 10, 2014, a partir de http://www.sener.gob.mx/res/85/Refinacion_Web.pdf.

PEMEX. (2012). *Aprovechamiento y reúso del agua en procesos de refinación de petróleo*. México: Refining Process.

Popper, R. (2008). *Metodología de la prospectiva*.

Quinlan, M. (2004). *KBR refinery sulfur management*. En: Robert A. Meyers. *Handbook of Petroleum Refining Processes*. New York, USA.

Rodríguez Morejón, D. (2009). *Aplicación de métodos prospectivos en el municipio Santa Isabel de las Lajas*. Tesis de Grado, Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos.

Tomlin, V. T. (2009). *Análisis Prospectivo de la producción del Etanol en Jamaica con vista a lograr un desarrollo sostenible*. Tesis de Grado, Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos.

Vitale, L. J. (s.d.). *Prospectiva Tecnológica*.

Wauquier, J. (1995). *Petroleum refining, crude oil, petroleum products, process flowsheets*. París, Francia.



Anexos

Anexo 1.1 Emisión de efluentes- aguas ácidas y los respectivos contaminantes del agua por procesos

Procesos	Aguas (% peso)	pH	HS ⁻ ,RSH (mg/L)	CL ⁻ (mg/L)	CN ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Fenoles (mg/L)	HC (mg/L)
Desalación del crudo	5-6	5-8	--	--	--	--	--	--
Destilación atmosférica	2,5-3,5	6-7	20-200	5-100	--	10-60	10-30	30-60
Destilación a vacío	3-4	6-7	10-50	5-50	--	5-30	5-10	5-20
Craqueo Catalítico Fluidizado (AXENS)	6-12	8-9,5	500-3 000	10-50	5-200	300-3 000	80-300	5-60
Recuperación de azufre (LURGI)	6-8	5-6	2 500-4 000	--	--	--	--	100-150
Hidrotratamiento de nafta	3-6	5-6	1 500-3 000	10-30	5-10	1 000-2 000	10-20	5-20
Hidrocraqueo catalítico (AXENS)	6-12	8-9,5	500-2 000	10-30	5-100	100-2 000	50-200	5-20
Hidrotratamiento de diesel (AXENS)	5-6	5-6	3 000-5 000	10-30	5-10	1 500-3 000	10-20	5-20
Craqueo con vapor	15-35	6-8,5	10-20	10-30	--	Trazas	20-30	30-50

Fuente: (Decoopman, 2 001); (AXENS, 2 012); (LURGI, 2 012) y (Lobelles.G.O, 2 012)



Anexo 1.2 Normas de emisiones gaseosas

Norma Oficial Mexicana NOM-148-SEMARNAT-2006, Contaminación Atmosférica- Recuperación de Azufre proveniente de los procesos de refinación del petróleo

4.4- La recuperación de Azufre de refinерías que se instalen en fecha posterior a la entrada en vigor de dicha Norma, deberá ser mayor o igual a 95 %.

5.3- La recuperación de Azufre se calcula diariamente mediante la siguiente ecuación y se registra en la bitácora.

$$\text{Recuperación (\%)} = 100 \% \left[\frac{\text{SR}}{\text{ST} - \text{SP}} \right]$$

Donde: SR: Azufre recuperado; ST: Azufre total y SP: Azufre en productos.

La recuperación acumulada trimestral se calculará en los meses de abril, julio, octubre y enero de cada año.

Para la obtención de la recuperación acumulada trimestral no se consideran los valores de los balances diarios obtenidos durante las siguientes condiciones:

- a. Contingencias que impliquen la salida de operación del sistema de reducción de emisiones, operaciones de paro de la planta recuperadora para mantenimiento y cambios de catalizador, así como operaciones de estabilización durante el arranque de la planta, siempre que no excedan de 360 horas (15 días) en un período de un año calendario.
- b. El tiempo de reparación de las plantas recuperadoras de Azufre no deben exceder los 30 días naturales en un período de dos años.
- c. En caso de paros o fallas en las plantas recuperadoras de Azufre por causas no previstas en la presente Norma, se dará aviso a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) del paro y reinicio de operaciones.

SubparteJa- Normas de Funcionamiento para refinерías de petróleo cuya construcción, reconstrucción, o modificación fue iniciada después del 14 de mayo de 2007



§ 60.102a- Limitaciones de las emisiones

(f)- Cada propietario u operador de una planta de recuperación de Azufre afectada deberá cumplir con los límites de emisión aplicables de los incisos siguientes.

(1) Para una planta de recuperación de Azufre con una capacidad mayor que 20 toneladas largas por día (LTD):

(i) Para una planta de recuperación de azufre con un sistema de control de la oxidación o un sistema de control de la reducción seguido por un incinerador, el propietario o el operador no descargará ni causará que se descargue ningún gas a la atmósfera por encima de 250 ppm por volumen (ppmv) (base seca) de dióxido de azufre (SO_2) a cero por ciento de aire excedente.

Si la planta de recuperación de Azufre consiste en múltiples trenes de proceso o puntos de liberación, el propietario u operador deberá cumplir con el límite de 250 ppmv para cada tren de proceso o punto de liberación o con un promedio ponderado de flujo de 250 ppmv para todos los puntos de liberación de la planta de Azufre.

(ii) Para una planta de recuperación de Azufre con un sistema de control de la reducción seguido por un incinerador, el propietario o el operador no descargará ni causará que se descargue ningún gas a la atmósfera por encima de 300 ppm por volumen de compuestos reducidos de Azufre y 10 ppm por volumen de sulfuro de hidrógeno (HS_2), cada uno calculado como ppm de SO_2 por volumen (base seca) a cero por ciento de aire excedente.



Normativas y estándares de emisiones establecidas por varios países tales como Venezuela, Estados Unidos, Brasil, Perú y Colombia

NORMATIVA	Contaminantes mg/Nm ³									
	NO _x		SO _x		Partículas sólidas		Vanadio	Níquel	H ₂ S	OTROS
IEFC/2007 Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la refinación del petróleo	450 mg/Nm ³ (ppmv)		150 ppmv para las unidades de recuperación de azufre; 500 ppmv para el resto de unidades		50 mg/Nm ³ (ppmv)		5 mg/Nm ³	1 mg/Nm ³	10 mg/Nm ³ (ppmv)	
EEUU - Regulaciones Federales Regla 62-204.800. F.A.C /2010 Subparte JA-Normas de Funcionamiento para refinerías de petróleo.			250 ppmv (Unidad de Recuperación de azufre con un sistema de control de oxidación o un sistema de control de reducción seguida de la incineración)						10 ppmv (con un sistema de control de reducción no seguido por la incineración)	
			300 ppmv (Unidad de Recuperación de azufre con un sistema de control de la reducción no seguido por la incineración)							
YENEZUELA Decreto N° 638/1995 Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica.	300 mg/Nm ³ (Existentes) Actividades sin normas específicas		Nuevas	Existentes	Calderas y hornos	120 mg/Nm ³ (Existentes y Nuevas) Calderas y hornos			300 mg/Nm ³ (Existentes) Tanques de almacenamiento de azufre líquido y de productos provenientes de conversión profunda. Plantas Claus.	
	150 mg/Nm ³ (Nuevas) Actividades sin normas específicas		4200 mg/Nm ³	5000 mg/Nm ³	Regeneración de las unidades de craqueo	50 mg/Nm ³ (Existentes y Nuevas) Regeneración de las unidades de craqueo			150 mg/Nm ³ (Nuevas)	
BRASIL Propuesta final de estándares para emisiones gaseosas de fuentes fijas, 3 de junio de 2011	450 mg/Nm ³ (Combustible líquido y gas de refinería.		Gas de Refinería	Combustible líquido	Gas de Refinería	Combustible líquido			10 ppmv	CO: 1500 mg/Nm ³ (Hornos y calderas) 500 mg/Nm ³ (FCC) Combustible líquido
			500 mg/Nm ³ (Hornos y calderas, FCC)	1700 mg/Nm ³ (Hornos y calderas) 5000 mg/Nm ³ (Hornos de hidrosulfuración) 3000 mg/Nm ³ FCC	50 mg/Nm ³ (Hornos y calderas, FCC)	150 mg/Nm ³ (Hornos y calderas) 100 mg/Nm ³ FCC				
			150 mg/Nm ³ (Recuperación de azufre)	3400 mg/Nm ³						
PERU D.S. 015-2006-EM Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos MEXICO- NOM-CCAT-000-1994	460 mg/Nm ³		150 mg/Nm ³ para las unidades de recuperación de azufre; 500 mg/Nm ³ para el resto de unidades		50 mg/Nm ³		2 mg/Nm ³	152 mg/Nm ³	Olor: No ofensivo en el punto receptor	
COLOMBIA Resolución 0909 de 2008 Normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas (actividades industriales)	Existentes	Nuevas	Existentes	Nuevas	Flujo contaminante	Existentes	Nuevas			
	550 mg/Nm ³	500 mg/Nm ³	550 mg/Nm ³	500 mg/Nm ³	= < 0,5 kg/h	250 mg/Nm ³	150 mg/Nm ³			
					> 0,5 kg/h	150 mg/Nm ³	50 mg/Nm ³			



Anexo 3.2 Nivel de conocimiento de acuerdo a fuentes de argumentación

Fuentes de Argumentación	Grado de influencia de cada una de las fuentes en su conocimiento y criterio		
	Alto	Medio	Bajo
Análisis realizados por usted	0,3	0,2	0,1
Experiencia adquirida	0,5	0,4	0,2
Trabajos de autores nacionales que conoce	0,05	0,05	0,05
Trabajos de autores internacionales que conoce	0,05	0,05	0,05
Conocimiento propio sobre el estado del tema	0,05	0,05	0,05



Anexo 3.3 Coeficientes de competencia de los candidatos

Candidatos	K_c	K_a	$K_{competencia}$
1	8,89	0,9	9,79
2	7,20	0,9	7,29
3	8,44	1	9,44
4	6,56	0,8	7,36
5	8,22	1	9,22
6	6,89	0,7	7,59
7	8,56	1	9,56
8	7,22	0,7	7,92
9	8,56	0,8	9,36
10	6,67	0,7	7,37
11	8,33	0,8	9,03
12	6,5	0,54	7,04
13	9	0,9	9,9
14	6,67	1	7,67
15	8,67	0,8	9,47
16	7,44	0,5	7,94
17	8,57	0,9	9,47
18	7,12	0,63	7,75
19	9	1	10
20	7,15	0,7	7,85
21	8,78	1	9,78
22	6,10	0,68	6,78
23	7,23	0,8	8,03
24	7,18	0,7	7,88
25	8,5	0,75	9,25
26	6,8	0,67	7,47



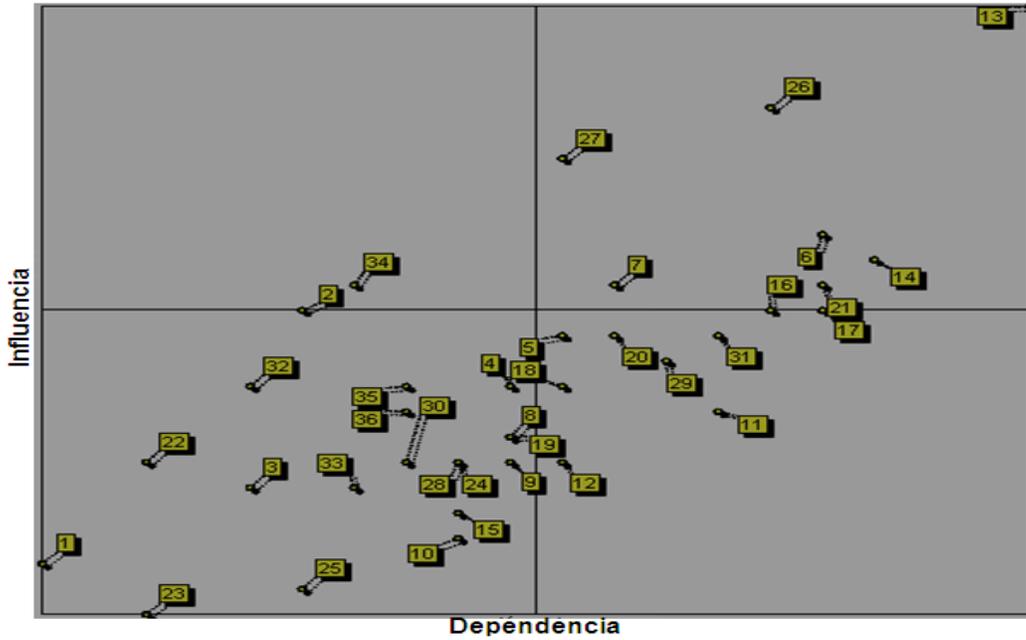
Anexo 3.4 Matriz de Influencias Directas- MID

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26	V27	V28	V29	V30	V31	V32	V33	V34	V35	V36
V1	0	1	2	1	2	1	2	1	0	0	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	0	0	1	1	2	1	1	1	2	2	0	1	1	1	1
V2	1	0	1	1	2	2	1	2	2	0	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	0	0	1	1	2	1	1	2	2	1	0	2	2	2	2
V3	1	1	0	1	1	2	2	2	0	0	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	0	0	2	1	1	1	1	2	1	2	0	1	1	1	1
V4	1	0	1	0	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	0	1	1	1	1
V5	2	2	2	1	0	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2
V6	1	2	2	2	1	0	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2
V7	2	1	1	1	2	1	0	1	0	0	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	3	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
V8	1	2	2	2	1	2	1	0	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
V9	0	2	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1
V10	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1
V11	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1
V12	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
V13	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
V14	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	0	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2
V15	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1
V16	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	0	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1
V17	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	0	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2
V18	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	0	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
V19	1	1	1	2	1	1	1	3	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	0	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
V20	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	0	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V21	2	1	1	2	2	2	2	2	3	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
V22	0	0	0	1	0	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2
V23	0	0	0	1	0	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V24	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	0	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
V25	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
V26	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
V27	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2
V28	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
V29	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1
V30	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	1	1	1	1	1	1
V31	2	1	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
V32	0	0	0	0	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	1	1	2	2
V33	1	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0
V34	2	1	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	0	2	1	0	1	1	
V35	0	0	0	0	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	1	1	0	1	1
V36	1	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	2	0	1	1	1	0

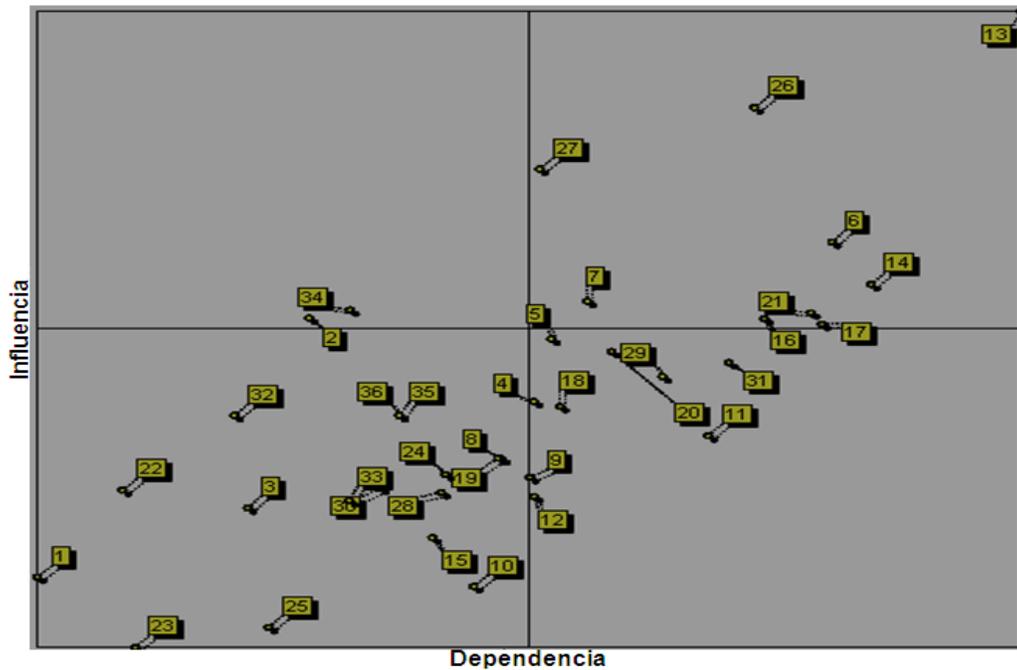


Anexo 3.5 Plano de Influencias y Dependencias Directas; Plano de Influencias y Dependencias Indirectas

Plano de Influencias y Dependencias Directas



Plano de Influencias y Dependencias Indirectas





Anexo 3.6 Matriz de Influencias Directas- MID

MID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	0	0	0	1	2	3	1	1	2	3	1	1	2	3	1
4	1	1	1	0	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
5	2	2	0	1	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1
6	1	0	2	2	1	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1
7	1	2	1	3	2	1	0	1	0	2	0	1	3	2	0
8	1	1	0	2	3	2	1	0	1	2	1	0	2	2	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
10	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	1	2	2	2	2
11	2	0	1	1	2	3	1	1	2	1	0	1	2	3	1
12	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	0	1	2	2
13	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	1	0	1	1
14	2	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	1	0	1
15	0	2	0	1	0	2	0	1	3	2	0	1	0	1	0



Anexo 3.7 Matriz de Influencias Directas e Indirectas- MIDI

MIDI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Li
1	11	10	11	14	12	13	13	14	11	12	12	13	12	13	13	173
2	15	15	14	20	18	20	17	18	16	18	14	16	18	20	17	241
3	13	11	11	15	13	14	12	15	12	12	10	13	13	14	12	179
4	14	13	13	17	16	17	15	15	15	15	13	14	16	17	15	208
5	11	10	10	13	12	13	12	13	11	12	10	12	12	13	12	164
6	8	9	9	13	10	13	11	12	10	13	10	10	11	13	11	150
7	12	11	10	16	14	13	14	15	11	12	13	13	14	14	14	182
8	13	11	12	16	14	14	13	15	11	12	11	14	13	14	13	181
9	11	10	11	14	12	13	13	14	11	12	12	13	12	13	13	173
10	14	15	14	20	18	20	17	18	16	19	14	16	18	20	17	237
11	13	11	11	15	13	14	12	15	13	11	11	13	13	14	12	180
12	13	14	14	18	17	18	16	16	16	17	13	15	17	18	16	223
13	9	7	9	13	11	12	11	12	10	11	10	10	11	12	11	148
14	10	10	8	11	10	11	10	12	9	11	9	11	9	11	10	141
15	9	8	9	11	10	10	10	10	12	8	9	9	11	9	10	135
Di	165	150	155	209	188	202	182	199	173	176	160	177	189	204	186	2 715



Anexo 3.8 Matriz de Máximas Influencias Directas e Indirectas- MMIDI

MMIDI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	L MAX
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	28
3	2	2	0	2	2	3	2	2	2	3	1	2	2	3	2	30
4	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	28
5	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	28
6	1	1	2	2	2	0	2	2	2	2	2	1	2	2	2	25
7	2	2	2	3	2	2	0	2	2	2	2	2	3	2	2	30
8	2	2	2	2	3	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	29
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	14
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	28
11	2	2	2	2	2	3	1	2	2	1	0	2	2	3	1	27
12	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	28
13	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	0	2	2	23
14	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	0	1	20
15	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	0	29
D MAX	25	24	24	26	27	27	24	26	27	25	24	24	26	28	24	381



Anexo 3.9 Encuesta presentada a los expertos para procesar el grupo de hipótesis propuestas



Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

Carretera a Rodas, Km. 4, Cuatro Caminos, Cienfuegos, Cuba

Siendo usted parte de la investigación que se desarrolla en la Refinería de Petróleo, por formar parte del grupo de expertos seleccionados, se requiere de su colaboración para desarrollar el método SMIC, a través del llenado de la siguiente encuesta para determinar los escenarios posibles de futuro.

Marque con una (X) la probabilidad de ocurrencia, que usted considera que tenga H_n . Para ello tenga en cuenta la siguiente clasificación:

- 1- Evento casi improbable (0,00)
- 2- Evento improbables (0,30)
- 3- Evento medianamente improbable (0,50)
- 4- Evento probable (0,70)
- 5- Evento casi cierto (1)

Hipótesis	1	2	3	4	5
H1					
H2					
H3					
H4					
H5					
H6					



Teniendo en cuenta la siguiente clasificación:

- 1- Evento casi imposible
- 2- Evento improbable
- 3- Evento medianamente probable
- 4- Evento probable
- 5- Evento casi cierto
- 6- Eventos independientes

Determine si usted considera que exista la probabilidad de ocurrencia de la hipótesis H_n dado que ocurra H_{n+1}

H_n	H_{n+1}					
	H1	H2	H3	H4	H5	H6
H1						
H2						
H3						
H4						
H5						
H6						

Determine si usted considera que exista la probabilidad de ocurrencia de la hipótesis H_n dado que no ocurra H_{n+1}

H_n	H_{n+1}					
	H1	H2	H3	H4	H5	H6
H1						
H2						
H3						
H4						
H5						
H6						



Anexo 3.10 Histograma de Probabilidad de Escenarios

