



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

24
209

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

FALLA DE ORIGEN

"MINIMIZAR LOS RIESGOS EN LAS PLANTAS DE ALQUILACION (ACIDO FLUORHIDRICO), POR MEDIO DE LOS SISTEMAS DE MITIGACION COMO UNA MEDIDA DE SEGURIDAD VIABLE".

S E M I N A R I O D E T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O Q U I M I C O
P R E S E N T A :
J U A N A A M O R M A R T I N E Z C H A V E Z

U N A M
ZARAGOZA



100 ANIVERSARIO
DE NUESTRA EFULSORION

ASESOR EXTERNO: I.O.P. JOSE LUIS GOMEZ RODRIGUEZ
ASESOR INTERNO: I.O.P. SALVADOR GALLEGOS RAMALES

MEXICO, D. F.

MARZO DE 1995



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES *ZARAGOZA*

JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA

OF/JU/13/94

C. JUANA AMOR MARTINEZ CHAVEZ
P R E S E N T E.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el -
Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha
propuesto la siguiente designación:

PRESIDENTE: ING. EDUARDO VAZQUEZ ZAMORA
VOCAL: ING. SALVADOR GALLEGOS RAMALES
SECRETARIO: ING. JOSE LUIS GOMEZ RODRIGUEZ
SUPLENTE: ING. JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS
SUPLENTE: ING. ESTEBAN MINOR PEREZ

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F., 13 de diciembre de 1994



ING. JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS
JEFE DE LA CARRERA DE
INGENIERIA QUIMICA

Irm

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Madre y Padre por el apoyo que me brindaron en su momento, así como la comprensión que me ofrecieron cuando la necesitaba.

Doy las gracias por el apoyo, comprensión y paciencia, así como el tiempo que invirtieron en mí, mis asesores de tesis, alentándome cuando me sentía desesperada y angustiada; tranquilizándome y teniéndome paciencia.

Ing. José Luis Gómez Rodríguez. Ing. Salvador Jacinto Gallegos Rames.

Agradezco también a las personas que me apoyaron en la escuela en la terminación del presente trabajo, a los ingenieros Eduardo Vázquez y Benjamín Granados.

También quiero agradecer al Departamento de Ingeniería de Sistemas del Instituto Mexicano del Petróleo que me apoyo y brindó su ayuda para terminar el presente trabajo.

Finalmente y no por ello menos importante me gustaría agradecer a mis compañeros de "Enfermedad" a los ingenieros con los cuales me desenvuelvo y a quienes quiero mucho.

Gracias al grupo de los "Sicks":

Ing. Héctor Ávares.

Ing. Salvador Gallegos Rames.

Ing. Raúl Abraham.

Ing. Rodrigo Santillán.

Arq. Joel Hernández.

	Pág.
Objetivos	1
Resumen	2
Introducción	3
Cap. 1 Generalidades	3
1.1 Definición de gasolina.	
1.2 Definición de Número de Octano.	
1.3 Importancia de la Alquilación.	
1.4 Aspectos Historicos de los Procesos de Alquilación.	
Cap. 2 Procesos de Mejoramiento de Gasolina	6
2.1 Comparación entre algunos procesos para el mejoramiento del octanaje en las Gasolinas	
2.1.1 Proceso de Isomerización.	
2.1.2 Proceso de Oxigenación.	
2.1.3 Proceso de Alquilación.	
2.1.3.1 Proceso de Alquilación con Ácido Sulfúrico (H_2SO_4).	
2.1.3.2 Procesos de Alquilación con Ácido Fluorhídrico (HF).	
2.2. Bases Generales del Proceso de Alquilación.	
2.2.1 Reacciones de Alquilación.	
2.2.2 Materias Primas para el Proceso de Alquilación.	
2.3 Descripción del Proceso de Alquilación.	
Cap. 3 Normas de Seguridad para Plantas de Alquilación.	13
3.1 Medidas de Seguridad Generales.	
3.2 Sistemas de Protección y su Propósito.	
3.3 Medidas de Seguridad Generales.	
3.4 Medidas de Seguridad Particulares.	
3.5 Dispositivos de Seguridad para el Personal.	
Cap. 4 Sistemas de Mitigación.	18
4.1 Sistemas de Mitigación.	
4.2 Tipos de Sistemas de Mitigación.	
4.3 Sistema de Mitigación con Vapor.	
4.4 Sistema de Mitigación con Agua	
Cap. 5 Caso de Estudio.	23
5.1 Criterios para el Diseño del Sistema de Mitigación.	
5.2 Características Generales de la Herramienta de Trabajo, "INPLANT".	
5.3 Parámetros para el Diseño del Caso de Estudio.	
5.4 Características Generales de las Zonas de Mitigación.	
Análisis de Resultados.	28
Conclusiones.	29
Bibliografía.	

Anexos

Anexo A Algoritmo para el Dimensionamiento de Redes de Tuberías

Anexo B Diagramas de las Zonas de Mitigación.

Anexo C Datos de Entrada y Resultados de el Diseño del Sistema de Mitigación.

Anexo D Hojas del Catálogo "BETE" para Boquillas Espreadoras de Agua.

OBJETIVOS

OBJETIVO GLOBAL:

Establecer y aplicar los criterios de los sistemas de mitigación para las plantas de alquilación que utilicen como catalizador ácido fluorhídrico, como una medida de seguridad y disminución de los riesgos.

OBJETIVOS PARTICULARES:

1. Describir qué es una planta de alquilación basada en el proceso de la Phillips Petroleum Company.
2. Mencionar las normas de seguridad de una planta de alquilación.
3. Describir qué es un sistema de mitigación y cuál es su finalidad.
4. Diseñar el sistema de mitigación para una planta de alquilación.

RESUMEN

Las medidas de seguridad forman parte integral en las plantas de alquilación. Estas plantas pueden manejar como catalizador al ácido fluorhídrico (HF).

Debido a que el HF es muy tóxico y corrosivo se tienen que emplear sistemas que permitan una mayor seguridad en la planta, los cuales se implantan como una medida adicional, a los sistemas de seguridad y estos son llamados "Sistemas de Mitigación".

El diseño del sistema de mitigación que se elaboró en el presente trabajo funciona como una medida de seguridad adicional de la planta y se implantan en el presente trabajo en las zonas de mayor concentración de HF, este sistema ayuda a la disminución de riesgos en el equipo, personal y medio ambiente.

Se plantea en el desarrollo del trabajo varios modelos para el diseño del sistema de mitigación, llegándose a seleccionar el que se consideró como el más apropiado para aplicarlo en las zonas que fueron seleccionadas en la planta de alquilación y aplicar este como medida de seguridad dentro de la misma.

INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad de proteger el medio ambiente y al ser humano que se encuentra involucrado en el desarrollo de algún proceso o elaboración de un producto, se ha observado con el paso del tiempo que las medidas de seguridad son necesarias para evitar el riesgo de contaminar el medio ambiente, accidentes a los operadores, etc., situaciones que se presentan cuando estas unidades se encuentran en funcionamiento.

Tomando conciencia de esto, se empezaron a desarrollar nuevas tecnologías para los procesos, teniendo en consideración las materias primas utilizadas, el equipo, diseño y al mismo tiempo las medidas de seguridad en las plantas, sobre todo en las que se encargan de la producción de combustibles como son las gasolinas. Debido a la necesidad de mejoramiento de las mismas se han desarrollado algunos procesos como el de "Alquilación" el cual involucra en su desarrollo una catalizador demasiado peligroso - por corrosivo y tóxico - como es el ácido fluorhídrico (HF), el cual es una sustancia que puede llegar a producir daños severos tanto en el ser humano, el equipo de la planta y en el medio ambiente.

Cuando se llegan a utilizar sustancias de este tipo, se tienen que manejar con cuidado tomando precauciones tanto en la planta como el personal, las unidades que emplean este proceso se encuentran protegidas de acuerdo a las normas y códigos en varias formas; desde el diseño, operación, mantenimiento y además tomando en consideración medidas adicionales como los llamados "Sistemas de Mitigación".

Los sistemas de mitigación se deben diseñar con mucha precaución junto con el diseño de toda la planta, ya que de ellos depende en gran parte la seguridad del personal, del equipo y del medio ambiente.

El objetivo del presente trabajo es dar los parámetros y criterios para el diseño de estos sistemas. Para lograr esto se seleccionaron las zonas de la planta en donde la concentración de HF es mayor, como son la de almacenamiento y la de descarga.

Estas zonas tendrán su propio sistema de mitigación, el cual ayudará a diluir el HF que se encuentre en esas zonas en caso de fuga.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 Definición de Gasolina.

Las gasolinas son una mezcla de hidrocarburos con intervalos de ebullición diferentes, las cuales son utilizadas como combustibles para motores de combustión interna

La mayoría de las refinerías producen gasolina de dos categorías, normal y especial, considerando como normales aquellas que se obtienen de un proceso físico y las especiales son aquellas que se obtienen por medio de un proceso químico, además suministran gasolina con su contenido en plomo bajo o nulo, para cumplir con las normas anticontaminación. La diferencia principal entre las gasolinas normales y especiales es su comportamiento antidetonante. En 1973 el número de octano, según el método de investigación del número de octano NOI (siglas alglosajonas RON) fue alrededor de 94 para las gasolinas normales y alrededor de 99 para las gasolinas especiales. EL número de octano NOI para las gasolinas con un contenido de plomo bajo o nulo, fue alrededor de 91.

1.2 Número de Octano.

El número de octano de define como:

"El porcentaje en volumen de isoctano que debe ser mezclado con n-heptano para ajustar la intensidad de la detonación de una gasolina al valor requerido durante una prueba".

Considerando que el número de octano es una medida que indica la intensidad del efecto detonante de una gasolina cuando ésta se inflama, la investigación del número de octano se remonta al año de 1930, cuando se encontró que los componentes que forman la gasolina como el n-heptano producen la peor detonación, mientras que el que detonaba menos era el 2,2,4 trimetilpentano (isooctano). De éste modo fueron ambos compuestos tomados como estándares de referencia, asignándosele al heptano un valor de cero y al Isoctano de cien.

Esto no implica que en la realidad la gasolina comercial esté compuesta solamente de ciertos porcentajes de n-heptano e isoctano y que tengan características detonantes similares a la de una mezcla con porcentajes bien definidos de los compuestos de referencia.

Existen dos números de octano, el Número de Octano de Investigación (Research Octane Number, RON) y el Número de Octano Motor (Motor Octane Number, MON) que son resultados derivados de dos metodologías distintas que intentan representar el desempeño bajo diferentes condiciones de uso.

Los números de octano se obtienen a través de pruebas experimentales con motores, midiendo el desempeño de estos. Las pruebas que se efectúan para su determinación son las mismas para los dos tipos de número de octano -Motor y Research- la diferencia radica en que mientras que con el método de Research se hace funcionar al motor a una velocidad de 600 r.p.m., con el método Motor se le hace trabajar a 900 r.p.m. En promedio, para un combustible, el MON será cuatro unidades inferior al RON.

Cabe aclarar que los números de octano para las gasolinas considerados se encuentran en un intervalo de: para el MON es de 88 a 94 y para el RON es de 94 a 99. En la tabla 1, se encuentran algunos valores típicos de mezclas de octano de diferentes procesos para aumentar el MON y el RON, los resultados obtenidos de la comparación entre varios procesos y/o alternativas para aumentar el octanaje de las gasolinas.

TABLA 1. VALORES TÍPICOS DE MEZCLAS DE OCTANO

COMPONENTE	VALORES DE MEZCLAS DE OCTANO	
	RESEARCH	MOTOR
N-BUTANO	95	89
HIDROCRaqueo LIGERO	82	80
CRAQUEO CATALÍTICO	89	76
REFORMADO	96	86
ALQUILADO	92	85
RAFINADO	70	69
MTBE	118	101

1.3 Importancia de la alquilación.

El petróleo, producto de los cambios naturales en materia orgánica a través de miles de años, se ha acumulado debajo de la superficie de la Tierra en cantidades increíbles y ha sido descubierto y utilizado para satisfacer nuestras necesidades de combustible. Por ser una mezcla de cientos de sustancias orgánicas, ha provocado su adaptabilidad a nuestras necesidades cambiantes. Se ha tratado, a través de procesos que han variado con el tiempo para la producción de una gran gama de combustibles entre otros productos.

La refinación fue avanzando básicamente por factores económicos. Durante muchos años, varias compañías veían la refinación como un mal necesario que se tenía que soportar para que ellas pudieran obtener ganancias, de lo que consideraban más importante aún comparándolo con la producción y venta del aceite crudo que ellos producían.

Uno de los procesos dentro de la refinación del petróleo es el destilado de productos ligeros y en el que generalmente se consideran a las gasolinas para avión, gasolinas para motor de automóvil, naftas, disolventes del petróleo, combustibles para aviones de propulsión a reacción y queroseno. La gasolina es el producto más importante, y alrededor del 45% del crudo procesado se utiliza para la producción de gasolina.

En virtud de que el consumo de combustibles se fue incrementando paulatinamente, y por ende la contaminación a la atmósfera, la Environment Protection Agency (EPA) tomó la decisión de reducir y hasta eliminar el contenido de plomo de las gasolinas, por lo que las refinadoras se enfrentaron a un problema bastante fuerte. Una vez que se eliminó el plomo, la cantidad de constituyentes de cadena ramificada y aromáticos en la gasolina normal debía de incrementarse para mantener un antidetonante alto.

De acuerdo a lo anterior, dentro de la refinación del petróleo se encuentran varios procesos para la producción de gasolinas, sin aditivos contaminantes, uno de los cuales es el de Alquilación. Los procesos de alquilación son exotérmicos y se llevan a cabo en escala comercial con dos catalizadores: ácido fluorhídrico o ácido sulfúrico. La demanda de combustibles de aviación de alto número de octano durante la Segunda Guerra Mundial actuó como estimulante para desarrollar este proceso.

La alquilación y el alquilado ofrecen varias ventajas para las refinadoras, algunas de estas son:

- 1.- El alquilado tiene una mayor calidad de octano tanto al igual que todas las familias de gasolinas mezcladas.
- 2.- La alquilación incrementa la cantidad de gasolina que puede ser producida por barril de crudo.
- 3.- La presión de vapor del alquilado producido es más baja.
- 4.- El alquilado tiene un alto calor de combustión que permite la utilización de una relación este de compresión en los motores.

Para tener una idea de los números de octano que se pueden obtener de la alquilación con HF como ejemplo, en la tabla 2, se muestran las relaciones comunes de operación que se requieren para obtener dichos números; tabla 2, así como algunas propiedades del producto alquilado, se observan en la tabla 3.

TABLA 2. RENDIMIENTO DE LA ALQUILACIÓN CON HF, OCTANOS DEL PRODUCTO Y NECESIDADES DEL ISOBUTANO

	VOL./VOL. OLEFINA		NO. DE OCTANO	
	ISOBUTANO	ALQUILADO	RESEARCH	MOTOR
PROPILENOS	1.33	1.77	93	91
BUTILENOS	1.16	1.75	96	94

TABLA 3. PROPIEDADES DEL ALQUILADO OBTENIDO CON HF

DENSIDAD, °API	71.4
PVR, PSI	4.5
DESTILACIÓN ASTM, °F	110
TBP	155
5%	172
10%	190
20%	217
50%	222
70%	245
90%	370

Considerando lo anterior y teniendo en cuenta que todo lo que se hace es para el mejoramiento de las gasolinas en beneficio del medio ambiente y por lo tanto del ser humano, la lucha por el control de la contaminación a tomado un lugar prioritario debido a los daños tan grandes que se están ocasionando.

Las plantas de alquilación que manejan HF como catalizador han tenido un importante impacto al contribuir en la eliminación de contaminantes hacia el medio ambiente.

1.4 Aspectos Históricos de los Procesos de Alquilación.

El 25 de diciembre de 1942, la primera planta de alquilación con ácido fluorhídrico se construyó y operó en la refinería de Borger de la compañía Phillips Petroleum, la cual fue originalmente desarrollada para abastecer la demanda de gasolina para la aviación durante esta época.

Durante los dos primeros años después del desarrollo comercial se obtuvieron aproximadamente 20, 000 BPSD de la planta, requiriéndose más por la gran demanda que se sucitó.

Para 1946 el total de la capacidad de alquilación saltó hasta 158, 000 BPSD con un total de 59 plantas en operación. A finales de la segunda guerra mundial trajo como consecuencia una disminución dramática en la demanda de la gasolina para la aviación. Las plantas se vinieron para abajo y en algunos casos algunas de ellas se desmantelaron. Para finales de 1950, la capacidad se colocó en un 20% aproximadamente y 24 de las plantas fueron eliminadas.

Durante los 60's la demanda de alquilado se incrementó debido a un aumento constante en la industria del automóvil teniendo así que aumentar la producción durante este tiempo.

Para 1970 y hasta mediados de los 80's la capacidad de alquilación continuo incrementándose, pero en una proporción moderada.

En la actualidad las plantas de alquilación, que utilizan al ácido fluorhídrico o el ácido sulfúrico, tienen como principal función la de producir gasolinas con un alto número de octano.

PROCESOS DE MEJORAMIENTO DE GASOLINA.

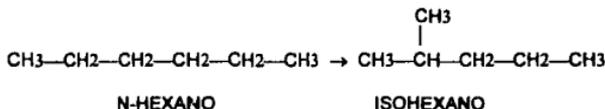
2.1 Comparación entre algunos Procesos para el Mejoramiento del Octanaje en las Gasolinas.

Debido a los requerimientos de un alto Índice de octanaje, existen dos procesos que se dedican a la producción de gasolinas con alto número de octano y son aquellos que han sido diseñados principalmente por dos licenciadores, Phillips Petroleum Company que utiliza al ácido fluorhídrico como catalizador y la Process Division of Universal Oil Products Company (UOP) que utiliza al ácido sulfúrico. Aunque en un inicio ambos licenciadores utilizaban como catalizador al ácido fluorhídrico para sus procesos, después de acuerdo a sus intereses decidieron cada uno de ellos utilizar el catalizador que más les convenía. Por otro lado también existen otros licenciadores que se dedican a desarrollar tecnologías para los procesos de aquilación como por ejemplo a STRATCO Co., por supuesto que cada uno con sus distintas variables y condiciones dentro del proceso.

2.1.1 Proceso de Isomerización.

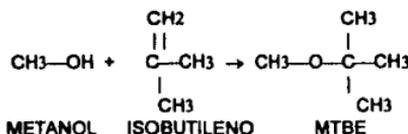
Puede mejorarse el octanaje de la gasolina directa (C5-180°F) utilizando un proceso de isomerización para convertir las parafinas normales en sus isómeros. Esto da lugar a un incremento significativo en el octanaje, ya que el n-pentano tiene un RON exento de plomo de 61.7 y el isopentano está homologado en 92.3. En una sola isomerización el RON exento de plomo de la gasolina directa puede incrementarse de 70 a 84.

Las reacciones de la isomerización de parafinas y ciclopentanos da lugar normalmente a productos de más bajo octanaje que el obtenido con su conversión a aromáticos. Sin embargo, hay un aumento sustancial sobre el de los compuestos no isomerizados. Son reacciones francamente rápidas y con pequeños efectos caloríficos. Como un ejemplo se tiene la isomerización de parafinas normales a isoparafinas como se muestra en la siguiente reacción:



2.1.2 Proceso de Oxigenación.

La introducción de oxígeno a las gasolinas representó una salida para proporcionar altos índices de octanaje, una vez que se tuvo que eliminar el plomo de ellas, otra alternativa que surgió para aumentar el octanaje fue la de mezclar un compuesto oxigenado con el Metil Terbutil Éter (MTBE), el cual es un compuesto incoloro, de baja viscosidad y que es miscible en todas las concentraciones con las gasolinas. Químicamente es un éter orgánico que contiene 18.2% de oxígeno, y puede producirse de la reacción del metanol con el isobutileno como se muestra a continuación:



Los efectos que produce el MTBE en las gasolinas con una relación de éste en un 7%, es tan solo de un 0.21 AIRE/COMBUSTIBLE, (A/C). En una gasolina comercial esta relación puede variar aproximadamente de un 0.7 a 1.0 A/C, además los efectos de emisión del contenido de MTBE que pueden ser pequeños, a menos que la producción encontrada con las gasolinas comunes sea diferente. Los valores de octanaje que proporciona el MTBE en las gasolinas en promedio son: Para el RON se tiene de 118 y para el MON se tiene de 101 en una gasolina comercial. Como se observa el índice de octano Research tiene un valor de 20 números más alto que el Motor.

2.1.3 Proceso de Alquilación.

El proceso de alquilación de hidrocarburos ayuda a mejorar el octanaje, por medio de la reacción entre la olefina y la isoparafina en presencia del catalizador (HF). Este catalizador promueve la ruptura de las cadenas lineales de los hidrocarburos para convertirlas en ramificadas.

Después de haber descrito los procesos de una manera general se pueden hacer las siguientes comparaciones entre los procesos de oxigenación, isomerización y alquilado encontrándose limitaciones en el uso de componentes adicionales en las gasolinas naturales.

Mencionando algunas de estas limitaciones para los procesos se tienen los siguientes ejemplos:

En los procesos oxigenados su limitación son las concentraciones máximas de 5-10% (efectos corrosivos y de maleabilidad).

En los procesos de isomerizado las concentraciones son limitadas por su relativa alta presión de vapor (pérdidas evaporativas).

Por último, en los procesos de alquilación no se encuentran restricciones en su concentración de butenos y olefinas es tan sólo limitado por la disponibilidad de los butilenos que son alimentados.

2.1.3.1 Procesos de Alquilación con Ácido Sulfúrico (H_2SO_4).

Los defensores de los procesos con H_2SO_4 :

1. En los procesos con HF se requiere un equipo adicional para recuperar o neutralizar el ácido fluorhídrico de varias corrientes. Este equipo está compuesto por una torre de desorción de hf y una torre de regeneración de ácido y equipos de neutralización de diversas corrientes de productos con H_2SO_4 se neutraliza la corriente de salida de hidrocarburos globalmente.

2.- En los procesos con fluorhídrico se requiere equipo de secado de las corrientes de alimentación hasta pocas p.p.m. En los procesos con H_2SO_4 el secado es benéfico pero menos crítico.

3.- El inmovilizado de los procesos con HF es sólo un poco menor (si lo es) que el de los procesos con H_2SO_4 . En general los costos relativos parecen favorables para los procesos con fluorhídrico en pequeñas cantidades.

4.- Los derechos y costos del licenciadore de los procesos con fluorhídrico son mayores.

5.- El isobutano no se emplea por completo, pues se da una autoalquilación en gran extensión si se emplea fluorhídrico como catalizador.

6.- Hay grandes dificultades para obtener alquilados con alto número de octano.

2.1.3.2. Proceso de Alquilación con HF.

Los defensores del proceso con HF establecen que:

1.- Se dispone de diseños del reactor más pequeños y más simples.

2.- Puede usarse agua fría como refrigerante.

3.- Se requieren sedimentadores más pequeños para las emulsiones.

4.- Se produce la regeneración prácticamente completa del HF (catalizador). Por ello el consumo de fluorhídrico y su costo son más bajos.

5.- Hay mayor flexibilidad de operación por lo que respecta a la temperatura, ya que se puede controlar mediante la relación del isobutano y la olefina (propanos).

6.- Hay mayor necesidad de turbulencia o agitación al mezclar las corrientes de ácido e hidrocarburos.

2.2 Bases Generales del Proceso de Alquilación.

En el proceso de alquilación se lleva a cabo la unión de una olefina con un hidrocarburo aromático o parafínico.

Insaturado + isosaturado \longrightarrow cadena ramificada de una olefina con un hidrocarburo aromático o parafínico

En la terminología de la refinación del petróleo el término alquilación se emplea para la reacción de olefinas de bajo peso molecular con una isoparafina para dar isoparafinas de mayor peso molecular.

Se puede definir a la serie n-parafínica o alcanos C_nH_{2n+2} , como la fracción mayoritaria de gran parte de los crudos. La mayor parte de las gasolinas que se destilan directamente de los crudos son n-parafínicas en forma predominante. Estas gasolinas tienen escasas propiedades antidetonantes.

La serie de los iso-parafínicos o iso-alcanos, C_nH_{2n+2} , nos dan mejor resultado debido al tipo de cadena ramificada que tienen, la cual ayuda a retardar la explosión de los hidrocarburos en motores de combustión interna comparándolos con los n-parafínicos, ya que éstos son hidrocarburos de cadenas lineales y por ello se consideran más deseables. Los iso-parafínicos se pueden formar mediante reformación catalítica, alquilación o isomerización, y desafortunadamente sólo se encuentran en cantidades pequeñas dentro de la composición de los crudos.

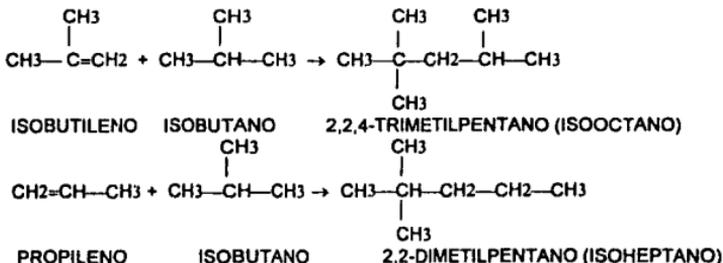
Las olefinas o serie alquenos, C_nH_{2n} , estos hidrocarburos generalmente no se encuentran en los crudos, pero se pueden obtener mediante procesos de desintegración (haciendo moléculas pequeñas de las grandes), estas moléculas relativamente inestables mejoran la calidad antidetonante de la gasolina, aunque no tan eficazmente como las isoparafínicas, pero durante el almacenamiento se presentan problemas como los de polimerización y oxidación, los cuales no son deseables debido al problema que ocasionarían en el momento de su transportación. Sin embargo, esta tendencia a reaccionar los hace útiles para formar otros compuestos mediante reacciones químicas adicionales, como por ejemplo los petroquímicos y entre ellos se encuentran; el etileno, el propileno y el butileno.

Aunque el proceso de alquilación puede llevarse a cabo en condiciones de temperatura y presiones altas con ausencia del catalizador, los únicos procesos de importancia comercial reconocidos son los que utilizan a los ácidos sulfúrico y fluorhídrico como catalizadores para regular las condiciones de presión y temperatura, debido a esto, las reacciones que tienen lugar en ambos procesos son complejas, obteniéndose un producto llamado alquilado, el cual presenta un amplio intervalo de puntos de ebullición. Eligiendo adecuadamente las condiciones de operación, la mayor parte de los productos pueden incluirse en el intervalo de los puntos de ebullición de las gasolinas.

2.2.1 Reacciones de Alquilación.

Debido a la comparación que se hizo en los puntos 2.1.3.1 y 2.1.3.2 se utilizará el proceso de alquilación que maneja HF. El proceso de alquilación que se lleva a cabo con el ácido fluorhídrico como catalizador, sólo reacciona con las olefinas o isoparafínicas con átomos de carbono terciarios, como el isobutano o el isopentano. En la práctica sólo se usa el isobutano, pues el isopentano tiene un número de octano suficientemente alto y presión de vapor baja, por lo que puede ser mezclado directamente para dar gasolinas de alto número de octano. Cuando se utiliza el catalizador HF anhidro, la temperatura se limita normalmente a 100°F o menos. El volumen de ácido empleado es aproximadamente igual a la carga de hidrocarburos líquidos y se mantiene la suficiente presión para que exista la fase líquida de los hidrocarburos y el ácido fluorhídrico. Para obtener una elevada calidad de producto y altos rendimientos es esencial que haya una eficaz agitación para aumentar el contacto entre la fase ácida y el hidrocarburo. El rendimiento, la volatilidad y el número de octano del producto se regulan ajustando la temperatura, y la relación de ácido/hidrocarburo así como la relación de isoparafina/olefina.

Las principales reacciones que tienen lugar en la alquilación son la combinación de las olefinas con las isoparafínicas como se muestra a continuación:



Estas ecuaciones sólo son representativas de las muchas que pueden existir en el proceso de alquilación, ya que se puede encontrar una gran variedad de ellas.

2.2.2 Materias Primas para el Proceso de Alquilación.

Las olefinas que se utilizan en el proceso de alquilación se obtienen comúnmente por medio de dos fuentes principales, una de ellas es de las plantas de craqueo catalítico y la otra de la planta de Metil Terbutil Éter (MTBE), uniéndose las dos corrientes que provienen de ellas para alimentar a la planta de alquilación.

La corriente que proviene de la planta de MTBE se somete a un tratamiento previo antes de entrar a la planta de alquilación, y este se lleva a cabo en la sección Hydrisom de Phillips que se encuentra también en la misma unidad, este tratamiento es para eliminar la humedad de la carga.

El ácido alimentado a la planta de alquilación será proporcionado por los tanques de almacenamiento dentro de la misma unidad y tendrá que ser suministrado al proceso en forma anhidra, ya que en solución acuosa es muy corrosivo, este se encuentra en los tanques de almacenamiento que son abastecidos por carros tanque en los límites de batería de la planta.

El ácido es una sustancia que tiene algunas características que son convenientes de mencionar para saber los riesgos que se corren y que medidas de seguridad hay que tomar para su manejo y uso.

El nombre del ácido fluorhídrico en el índice de la "Chemical Abstract" es el de Fluoruro de Hidrógeno y el cual tiene características físicas y químicas que a continuación se mencionaran:

Características Físicas. Es un líquido incoloro, poco viscoso, fumante y corrosivo, muy soluble en agua. Se evapora rápidamente a la temperatura y presión ambiente, sus soluciones acuosas son aún más corrosivas que el producto anhidro, no es inflamable, pero existe el peligro de que reaccione con los metales presentes desprendiendo hidrógeno, puede causar explosiones al mezclarse con el aire, también es un irritante muy severo para la piel, las vías respiratorias y los ojos, ya sea líquido o gaseoso. El HF forma una mezcla del punto de ebullición constante con el agua a 37.73 por ciento en peso y 111.4° C (232°F).

El ácido fluorhídrico anhidro (AFA), con un peso fórmula de 20.01 tiene un olor penetrante y agudo. Es higroscópico y despidе gas cuando se le expone a la humedad del aire. El AFA es miscible con agua en todas proporciones y produce calor al diluirse.

El AFA y soluciones acuosas concentradas produce emanaciones visibles si se permite que los vapores entren en contacto con la humedad del aire. Estas características pueden ser útiles para detectar fugas durante el transporte, almacenamiento y manejo, pero no siempre se puede confiar en ellas debido a las variaciones en las condiciones atmosféricas. El HF, aún en concentraciones muy bajas tiene un olor igual de agudo que como el que ya se mencionó, el cual sirve como advertencia de su presencia al personal que se encuentre cerca. Algunas propiedades físicas del ácido fluorhídrico anhidro se encuentran reportadas en la tabla 4.

Características Químicas. El AFA reacciona con metales que están arriba del hidrógeno en el Cuadro Electroquímico de los metales, óxido e hidróxidos. El tetrafluoruro de silicio y el ácido fluorosilícico se forman cuando el ácido fluorhídrico reacciona con sílice o ácido silícico. El ácido fluorhídrico ataca el vidrio. El fluoruro de hidrógeno anhidro reacciona con las olefinas para producir fluoruros orgánicos y con los compuestos orgánicos halogenados para producir compuestos orgánicos fluorados, también actúa como catalizador en reacciones que involucran la formación de enlaces carbono-carbono. El ácido produce un calor considerable al diluirse con agua, y es necesario un proceso de enfriamiento para la preparación de soluciones.

TABLA 4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL ÁCIDO FLUORHÍDRICO ANHIDRO (AFA)

PROPIEDADES	UNIDADES	
PUNTO DE EBULLICIÓN	°C	19.5
PUNTO DE CONGELACIÓN	°C	-83.5
PRESIÓN DE VAPOR, 25°C	MMHG	912.0
DENSIDAD DEL LÍQUIDO, 0°C	G/ML	8.47
VISCOSIDAD 0°C	CP	0.26
TEMPERATURA CRÍTICA	°C	118.0
PRESIÓN CRÍTICA	ATM	64.0
DENSIDAD CRÍTICA	G/ML	0.29
VOLUMEN CRÍTICO	ML/G•MOL	69.0
CALOR ESPECÍFICO, LÍQUIDO, 0°C	CAL/G•°C	0.61
CALOR DE VAPORIZACIÓN EN EL PUNTO DE EBULLICIÓN	CAL/G	81.0
ÍNDICE DE REFRACCIÓN	n_D^{25}	1.157
TENSIÓN SUPERFICIAL EN EL PUNTO DE EBULLICIÓN	DINAS/CM	8.6
CONSTANTE DIELECTRICA, 0°C	-	83.6
CONDUCTIVIDAD, 0°C	MHOS/CM	<1.6E-6

2.3 Descripción del Proceso de Alquilación.

La corriente (1) es la carga a la planta, dicha carga rica en olefinas puede provenir ya sea de la planta de Desintegración catalítica y/o de la planta de MTBE, ésta corriente se introduce a un mezclador en donde se alimenta también isobutano proveniente de las zonas de almacenamiento o de la torre agotadora de HF (2). Una vez homogeneizada la carga se introduce al reactor (3), en donde se pone en contacto con el HF, llevándose a cabo así la reacción de alquilación. Dicha reacción es exotérmica, por lo cual por medio de agua de enfriamiento se le controla la temperatura. El hecho de utilizar como refrigerante el agua es una de las principales características que hace atractivo este proceso.

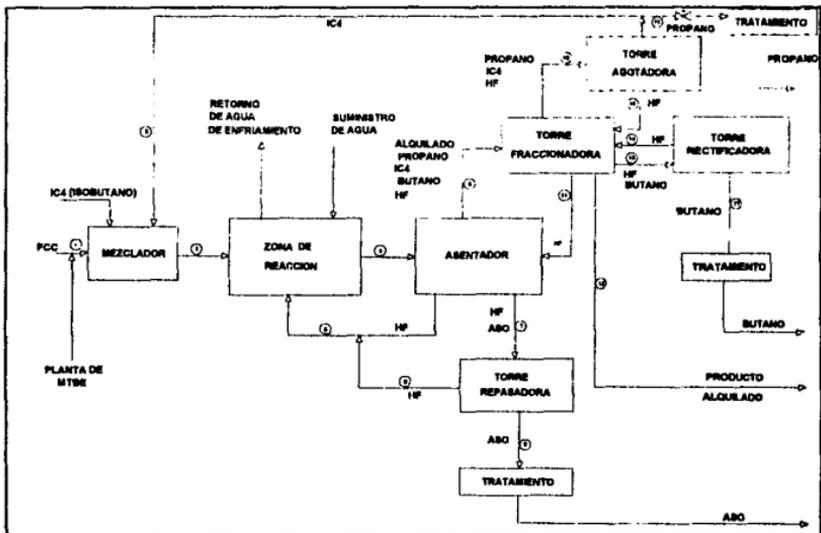
La corriente (4) que sale de la zona de reacción contiene alquilado (gasolina), HF, propano, isobutano y butano los cuales entran al asentador de ácido en donde se lleva a cabo una separación de fases entre los hidrocarburos y el ácido, por medio de una diferencia de densidades.

Los hidrocarburos quedan en la parte superior del asentador y el ácido en la parte inferior. Las corrientes que se obtienen del asentador son tres, la (5) que contiene HF el cual se recirculará a la zona de reacción, la corriente (7) lleva HF y un efluente llamado aceite soluble en ácido (ASO), se denomina con estas siglas de acuerdo a su traducción en inglés. El ASO, entra a una torre repasadora donde se obtienen dos corrientes (8) y (9) después de llevarse a cabo la separación del ácido y a lo que no se separó queda como ASO. La corriente (8) que es la que lleva el ácido se recircula a la zona de reacción uniéndose a la corriente (5) para llegar a esta. La corriente (9) contiene el ASO que no se separó y el cual se maneja como afluente se manda a una zona de tratamiento también y la corriente (6) que lleva

alquilado, propano, isobutano, butano, y HF los cuales son introducidos a una torre fraccionadora, de donde se obtienen cuatro corrientes de salida; la corriente (11) que contiene HF el cual se recircula al asentador, la corriente (10) contiene propano, isobutano y HF los cuales serán introducidos a una torre agotadora de donde se obtendrá el isobutano que se recircula al mezclador para completar la alimentación de la planta o en el caso de no obtener isobutano, y si propano este se envía a la zona de tratamiento donde posteriormente pasará a almacenamiento y se obtiene también HF que viene en la corriente (16) la cual entra de regreso a la torre fraccionadora. La corriente (13) que sale por los platos intermedios de la torre fraccionadora, se obtiene a manera de corte para separar el butano. Esto se hace con el fin de controlar las características del producto alquilado y la relación de isobutano que se recircula al mezclador (2) debido a que el butano que se obtiene viene desde la alimentación a la planta en la corriente de alimentación y se va acumulando durante todo el proceso es necesario retirarlo para que no se acumule en una cantidad excesiva. Esta corriente de butano que sale, lleva algo de ácido que se pudo haber sido arrastrado en el momento de hacer el corte a la torre rectificadora, de la cual separará al ácido, regresándolo a la torre fraccionadora (14) y obteniendo el butano (17) que se mandará a una sección de tratamiento para posteriormente enviarlo a almacenamiento.

La última corriente (12) por mencionar que se obtiene de la torre fraccionadora es la de mayor importancia debido a que en esta se lleva el producto alquilado (gasolina de alto octanaje) y que se obtiene por el fondo de la torre, este producto alquilado se manda sin ningún tratamiento a los límites de batería de la planta de alquilación (ver Diag. 1).

DIAGRAMA 1. DIAGRAMA DE FLUJO TÍPICO DEL PROCESO DE ALQUILACIÓN.



CAPITULO 3

NORMAS DE SEGURIDAD PARA PLANTAS DE ALQUILACIÓN.

3.1 Medidas de Seguridad Generales.

La Ingeniería de Proyectos de Seguridad Industrial es la especialidad que se encarga de la aplicación de técnicas, normas, procedimientos, estándares o especificaciones reglamentarias, etc., sustentadas por todas las áreas y las experiencias adquiridas en todos los campos encaminados a prevenir o evitar accidentes.

El diseño de elementos preventivos y la selección de instrumentos y equipos, en las instalaciones va íntimamente ligado a una producción eficiente, pues cualquier falla afecta la integridad de las personas y también de las instalaciones.

La aplicación de la seguridad no debe considerarse como un fin en sí mismo, es más bien un medio para alcanzar los objetivos primordiales de orden legal, social, técnico y económico, aplicando medidas que anulen, disminuyan o transfieran los riesgos existentes mediante el empleo de sistemas preventivos, correctivos y de ataque.

Los puntos mencionados a continuación son una recopilación de información obtenida de la experiencia del personal experimentado en la industria de Petróleos Mexicanos obteniéndose las siguientes ventajas.

- A).- Aprovechamiento óptimo de la experiencia del personal técnico de Petróleos Mexicanos.
- B).- Capacitación acelerada y eficiente del personal de distintas áreas uniformizando criterios.
- C).- Reducción considerable del tiempo de ejecución en los proyectos, incrementando la productividad.
- D).- Soluciones adecuadas de problemas que surgen durante el desarrollo del proyecto.
- E).- La difusión y transmisión de experiencias a otras áreas.
- F).- Aplicar procedimientos y experiencias obtenidas a los proyectos de Ingeniería de Seguridad Industrial.

La exploración, explotación, transformación, distribución del petróleo y de sus productos derivados, hace que prácticamente en todo el territorio nacional exista algún tipo de instalación de Pemex, de ahí la importancia de aplicar la seguridad para la preservación del medio ambiente.

A fin de que la influencia del desarrollo industrial en el entorno humano no destruya el equilibrio ecológico, es necesario evitar cambios sustanciales, tratando de que tal desarrollo sea armónico con el medio ambiente.

3.2 Sistemas de Protección y su Propósito.

La seguridad es un requisito principal en las plantas de proceso en cualquiera de las etapas de su vida útil; arranque, operación, paro o fuera de operación.

El aumento constante en el tamaño y complejidad en las plantas de proceso, han dado como resultado la necesidad de contar con sistemas de protección automáticos confiable que permita el arranque, operación y paro de las plantas de manera ordenada, predecible y confiable. Estos sistemas deben anticipar todas las contingencias del sistema de control, fallas en los equipos y de operación cualesquiera que sean el origen o las razones cuando se presentan estas fallas, deben ser capaces de revertir automáticamente el proceso, permanecer o cambiar hacia una posición segura hasta que se satisfaga una condición de seguridad predeterminada.

Las necesidades de control y sistemas de control se deben establecer en las etapas iniciales de la Ingeniería de Proceso por medio de un estudio de riesgos. En estos estudios se establece la naturaleza de los riesgos potenciales, como se puede presentar y se establecen, en los sistemas preventivos de protección, tomándose en cuenta los siguientes criterios:

- 1.-Bases de Usuario; en este punto determinan qué equipos o instalaciones requieren de protección específica de acuerdo al riesgo que generan.

- 2.-**Riesgos; determinación de los peligros que generan las instalaciones hacia el medio ambiente, asentamientos humanos y otras instalaciones.**
- 3.-**Definición de Sistemas y Métodos para Minimizar los Riesgos; en esta etapa se implementan los sistemas a utilizar para la protección de las instalaciones.**
- 4.-**Aplicación de Normas y Especificaciones Vigentes; deben cumplirse con las normas y especificaciones vigentes en el momento del diseño, en caso de rehabilitaciones, éstas se adecuarán a las normas mencionadas.**
- 5.-**Planificación; al iniciar el diseño en el arreglo general (localización de desfuegos, quemadores, torres de enfriamiento, tanques de almacenamiento, etc.) es fundamental considerar las dirección de los vientos reinantes y dominantes, ya que estos arrastran gases, vapores y/o líquidos que pueden afectar las instalaciones, al personal y/o a terceros.**
- 6.-**Sistemas o Equipos a Utilizar para el Control y Ataque del Riesgo; el sistema de protección o ataque se especificará en base a los análisis de riesgo, cumpliendo con las normas vigentes.**

De acuerdo a lo anterior el propósito de todos los sistemas de protección en el diseño de las plantas, debe considerar los cuatro modos de operación de la misma que a continuación se enuncian:

PRIMER MODO:	Para una planta que esta a punto de arrancar.
SEGUNDO MODO:	El sistema permite un arranque seguro.
TERCER MODO:	El sistema permite que la planta se mantenga en operación.
CUARTO MODO:	Permite una secuencia de paro ordenada y segura de la planta, cualquiera que sea el origen,

De esta manera los sistemas de protección se usan cuando se presentan condiciones que puedan:

- a) Crear una amenaza inmediata a la seguridad de los operadores, la planta el vecindario, el ambiente, etc.
- b) Causar pérdidas de consideración en la producción o la producción de material fuera de especificaciones.

Todos los sistemas de protección se deben de diseñar a **Falla Segura**. Esto es; en caso de una falla de un sistema de alimentación (aire de instrumentos, electricidad, etc.), que son casos críticos, se pueden considerar instalaciones de respaldo para estos servicios.

3.3 Medidas de Seguridad para las Plantas de Alquilación.

En las plantas de alquilación que manejan como catalizador al ácido fluorhídrico presentan riesgos, entendiéndose por estos como " toda posibilidad de daño o pérdidas de los recursos humanos o materiales de una empresa". La seguridad engloba la protección de los peligros accidentales de daños para las personas ajenas, empleados, así como bienes y la economía de una empresa; la cuantificación de un riesgo permite conocer peligros de accidente para el personal, las instalaciones de la institución y de terceros. La identificación de un riesgo como elemento de información, permite evaluar las condiciones de seguridad y adoptar las medidas pertinentes para disminuirlo.

La identificación del riesgo como en instalaciones industriales, que tienen áreas en las plantas como las de almacenamiento y llenaderas donde se encuentra la mayor concentración de ácido deben seleccionarse los sistemas preventivo y de ataque para mitigar el ácido fluorhídrico.

Para la identificación de estos riesgos se cuenta con normas y estándares que ayudan con el análisis de riesgo, diseño del sistema de seguridad de la planta, medidas de seguridad para el personal, etc., y para ello tenemos una práctica recomendada por el API 751.

El API en su práctica 751 recomienda una serie de parámetros a considerar en el manejo de riesgos de las plantas de alquilación. Las regulaciones OSHA "Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals" (código 29 de la Regulación Federal Parte 1910.119) tiene un impacto significativo en el manejo de los riesgos.

En el API se encuentran cinco secciones las cuales estan enfocadas específicamente a las operaciones de seguridad de las plantas de alquilación que manejan ácido fluorhídrico. Todas estas secciones cuentan con anexos los cuales auxilian en el desarrollo de las medidas de seguridad y uno de ellos se enfoca específicamente al sistema de mitigación.

En la sección 1, se encuentran los parámetros que se tienen que tomar en consideración para el manejo de los riesgos como es el Proceso de Análisis de Riesgo, El Control y Respuesta a una Emergencia, Programas de Auditoría, Impacto Ambiental y Evaluación de Incidentes.

En la sección 2, se encuentran localizados los procedimientos de Operación y la Protección de los Trabajadores, la cual incluye Información del Riesgo en la Salud, qué debe contener el Manual de Operación, Respuesta a una fuga de HF, el entrenamiento para la operación de la planta para el personal de mantenimiento y personal ajeno en situaciones de emergencia, ropa y equipo de protección para el personal, control del acceso del personal a estas unidades; tanto personal de mantenimiento como visitas y todo lo necesario en casos de emergencia.

En la sección 3, se encuentra localizados los métodos de Inspección, Mantenimiento y Materiales que manejan las plantas, como son los materiales y métodos de construcción de algunos equipos importantes, el Mantenimiento de los Equipos; como su reparación temporal, válvulas de seguridad y relevo, aislamiento y neutralización etc., La Inspección del Equipo de las plantas; frecuencia con que se tiene que hacer ésta, a qué equipos hacerla etc.

En la sección 4, se encuentran localizados el control de inventario y su transportación; como son los contenedores del ácido, las rutas a seguir más seguras, descarga del HF, control del inventario, etc.

En la sección 5, se encuentran localizados los Servicios, Relevo y Sistemas de Mitigación; dentro del sistema de Neutralización y Relevo, se encuentran el sistema de desfogue, el tratamiento de producto e hidrocarburos y neutralización de drenes del proceso. Dentro de los Sistemas de Servicios se encuentran aquellos que son necesarios para el diseño de una planta como son el agua de enfriamiento, vapor, condensado, etc., en relación a los Sistemas de Mitigación, se encuentran los sistemas de detección y monitoreo, sistemas de mitigación de fugas, sistema de mitigación con agua, sistemas de inventario de ácido etc.

3.4 Medidas de Seguridad Particulares.

- En las plantas donde se maneje ácido fluorhídrico anhidro o diluido, se delimitará una zona, a la cual se llamará zona de ácido, dentro de la cual quedará comprendido todo el equipo que normalmente contiene o puede contener ácido fluorhídrico anhidro o diluido. Esta zona quedará marcada mediante una franja amarilla pintada hasta un metro de altura en todas las columnas y muros. Las guarniciones de poca altura se pintarán totalmente de este color dentro de los límites del área.

- La "zona de ácido" es una zona de acceso restringido, a la cual sólo deben entrar operarios específicamente autorizados para ello. Toda persona que realice un trabajo dentro de la zona de ácido deberá solicitar autorización escrita del personal de elaboración que labore en la planta correspondiente. El responsable del cumplimiento de estas disposiciones es el encargado de la planta en turno, o en caso de ausencia de éste, el operador que lo sustituya. Toda persona que no sea supervisor u operador de la planta, antes de entrar al área de ácido, deberá dirigirse al cuarto de control para recabar el permiso del encargado de planta o del operador que lo sustituye.

- En las áreas de ácido, todos los trabajos se procurarán realizar situándose las operaciones en la dirección del viento y cuando ello no sea posible, se usarán ventiladores o extractores para alejar el ácido del área de trabajo.

- El equipo de protección, materiales y herramientas que se hallan dentro del área del ácido deben neutralizarse invariablemente antes de salir de esta zona.

- Debido a las propiedades irritantes y corrosivas del HF anhidro, al cargarlo o descargarlo, debe de evitarse toda clase de fuga. Como el ácido se va a suministrar a la planta por medio de carro tanque, deben atenderse los puntos siguientes:

a) Las recomendaciones de la Norma de Seguridad Pemex DIV-1, para carga y descarga de carro tanques en general.

b) Las instrucciones colocadas a los lados del carro tanque; debe procurarse que el personal que interviene en estos trabajos esté familiarizado con ellos y que sea dirigido por personas que conozcan perfectamente los procedimientos de carga y descarga, así como los riesgos del producto.

c) Debe comprobarse que el carro tanque se sitúe en el lugar correcto para efectuar la descarga, así como que esté colocado a nivel. Deben aplicarse los frenos y sujetarse las ruedas.

e) Los carro tanques que contengan HF sólo deben descargarse durante el día o, en todo caso, contando con suficiente alumbrado.

f) Todas las herramientas que se usen para las maniobras de carga y descarga deben estar libres de aceite, grasa o mugre. Nunca golpee las conexiones del tanque.

g) Los carro tanques de HF se descargan a través del domo, ya sea usando aire seco o gas inerte para elevar su presión o mediante una bomba.

h) Tan pronto se encuentre vacío el carro tanque, o bien, cuando sea necesario interrumpir la descarga por alguna razón, deben cerrarse todas las válvulas y desconectarse las líneas.

i) En el lugar de descarga se deberá disponer de agua en abundancia.

j) Bajo ninguna circunstancia deben hacerse alteraciones a las válvulas y accesorios del carro tanque.

- Las medidas de seguridad que se deberán tomar para el almacenamiento del HF son las siguientes:

a) Los tanques que almacenan HF anhidro deben estar equipados, además de las conexiones normales necesarias, con una conexión para llenado, otra de venteo y manómetro indicador de la presión interior.

b) En los sitios donde se almacene HF, las instalaciones eléctricas deberán ser herméticas (a prueba de vapores), para evitar que sufran corrosión por la entrada de vapores ácidos. En lugares cerrados, además deberá considerarse la eventual presencia de hidrógeno y, por lo tanto, atenderse a lo que estipula la Norma de Seguridad Pemex AVII-5.

- Debe usarse señales de colores (verde y amarillo) para designar estados o condiciones en el servicio de ácido y para guardar la seguridad del personal que se encuentra trabajando en ese lugar o en un lugar cercano.

a) **Señales verdes.**- Todo en equipo en servicio de ácido incluyendo tuberías, válvulas, bombas, etc., el cual deba ser removido del área de la unidad para ser llevado a talleres de reparación, almacenamiento o recuperación, debe ser neutralizado en las tinas de neutralización para equipo, de la unidad. Después de esta neutralización deberá ser marcado con pintura verde lo cual indica que está libre de ácido y puede ser sacado del área de la unidad.

b) **Señales amarillas.**- Todo equipo en servicio de ácido no neutralizado, debe ser marcado con pintura amarilla, por un supervisor. Después de que el equipo haya sido neutralizado dentro o fuera del área de ácido, la pintura amarilla puede ser quitada por un supervisor y al mismo tiempo ponerle la pintura verde.

3.5 Medidas de Seguridad para el personal.

El equipo de protección personal deberá seleccionarse entre los que a continuación se describen, tomando en cuenta el trabajo que se va a desarrollar y, de acuerdo con la reglamentación existente.

El personal que vaya a trabajar en donde se maneje el HF, deberá recibir instrucción relacionada con el uso adecuado del equipo de protección personal, las labores a desempeñar y el comportamiento que deberá seguir en caso de presentarse una situación de emergencia.

El uso del equipo de protección personal no elimina la necesidad, ni la obligación de respetar las reglas de seguridad que han sido mencionadas, al manejar al HF. Un trabajador que porte el equipo adecuado se encontrará protegido, pero puede exponer a otras personas que se encuentren en áreas cercanas. En todos los casos, el equipo de protección debe ser seleccionado con pleno conocimiento de las condiciones existentes y del riesgo probable. El uso correcto del equipo de protección requiere adiestramiento previo de las personas que deberán utilizarlo.

Para que el personal esté protegido durante las operaciones en que se maneja este ácido, es indispensable y obligatorio el uso de cierto equipo de protección personal, cuya naturaleza depende del trabajo que se realice. Existen cinco clases (A,B,C,D y E) de equipo de protección, cada una de ellas adecuada para ejecutar ciertos trabajos. En caso de duda, debe usarse el equipo más completo que se juzgue necesario.

- El equipo "Clase A" consiste de: 1. monogafas o pantalla para la cara, 2. guantes de hule sintético resistente al ácido y 3. casco contra impactos o cachucha. Debe usarse en la lectura de instrumentos y en la inspección visual del área de ácido, cuando la operación es normal y no se presentan fugas.

- El equipo "Clase B" consiste en: 1. monogafas o pantalla para la cara, 2. guantes de hule sintético resistente al ácido, 3. saco de hule sintético o plástico, resistentes al ácido, 4. casco contra

impactos y 5. respirador con cartucho químico para gases ácidos y vapores orgánicos, cuando sea conveniente por la presencia de pequeñas fugas a la atmósfera. Debe usarse, en la operación e inspección, cuando sólo haya fugas muy pequeñas; al operar válvulas que aparentemente estén en buenas condiciones; en la reconexión del equipo después de haber sido reparado; en el manejo de equipo de las áreas de ácido que haya sido neutralizado, pero no totalmente desmantelado y en la operación normal del equipo de esas áreas.

-El equipo "Clase C" consiste en: 1. pantalla para la cara (con o sin monogafas), 2. guantes de hule sintético resistente al ácido, 3. saco y pantalón de hule sintético o plástico, resistentes al ácido; y si el área está húmeda o el trabajo se hace cerca de la superficie de la tierra, 4. botas de hule sintético resistentes al ácido y vapores orgánicos y 6. casco contra impactos cuando sea conveniente. Debe usarse por todos los operadores al arrancar o parar la planta y por el personal de mantenimiento en reparaciones menores; en la observación de fugas de composición dudosa, pero que aparentemente no sean muy peligrosas y de fugas en el empaque de las bombas y de las válvulas; en el arranque y parada de las bombas cuando esta operación consista simplemente de cerrar el interruptor y abrir o cerrar válvulas.

-El equipo "Clase D" consiste en: 1. equipo con suministro externo de aire, 2. saco de hule sintético o plástico, resistentes al ácido, 3. pantalones de hule sintético o plástico, resistentes al ácido, 4. guantes de hule sintético resistente al ácido y 5. botas de hule sintético resistente al ácido. Esta clase de equipo debe usarse siempre que haya una concentración importante de ácido, o cuando pueda presentarse una fuga y no haya manera de retirarse rápidamente; o en general, cuando las condiciones se juzguen peligrosas. Se recomienda que el trabajador que ejecute un trabajo estando dotado de esta clase de equipo, sea auxiliado por otro trabajador dotado del equipo "Clase C", cuya principal misión será que no le falte al primero el suministro de aire.

Esta clase de equipo también debe usarse al ejecutar trabajos en el equipo si existe contaminación apreciable del ambiente con vapores de ácido, o en la investigación sobre fugas mayores.

-El equipo "Clase E", consiste en: equipo integral completo de hule sintético resistente al ácido, con suministro exterior de aire. Las botas y los guantes pueden o no estar integrados al equipo. Este equipo se usa en las áreas en que haya una concentración de ácido desconocida, pero que pueda aumentar seriamente; en estos casos se recomienda que los trabajos sean ejecutados por dos trabajadores provistos de este equipo y que sean auxiliados por uno o más trabajadores dotados del equipo "Clase D".

SISTEMAS DE MITIGACIÓN.

4.1 Sistema de mitigación.

A pesar del alto nivel de entrenamiento y de los mejores programas de diseño, existe aún la posibilidad remota de que exista una fuga de HF. Una pronta detección y una mitigación rápida de las fugas puede ser incluidos en un programa para el manejo de riesgos en las plantas de alquilación.

Los indicadores de riesgo que se tienen que tomar en cuenta para este tipo de unidades, esta en función de los detectores que se utilicen para la detección de alguna fuga como son:

1. Sistemas adicionales de detección y protección de daños.
2. Incremento de las distancias de separación de equipos.
3. Mejoras en los sistemas de diques y de contención.
4. Incremento de zonas lejanas de grandes poblaciones.

Los sistemas de mitigación contemplan una serie de aspectos que tienen que ser manejados, para disminuir el riesgo ante cualquier posibilidad de fuga, limitar las cantidades utilizadas de ácido y diseñar sistemas de contención en el caso de una fuga.

Existen avances tecnológicos con respecto a la mitigación de riesgos para las plantas de alquilación que manejan HF y se encuentran contemplados por dos aspectos que a continuación se mencionan:

- a) Medidas Ofensivas
- b) Medidas Defensivas

Las medidas ofensivas manejan dos puntos con respecto al HF, y a continuación se mencionan:

Mínimizan Probabilidad de fuga de Ácido	*Eliminación de la bomba de transferencia de ácido (flujo por gravedad). *Diseño del reactor-asetador apilado (minimizando conexiones de ~ 30 ~ 50) *Uso de válvulas remotas *Doble sellos en válvulas.
Disminución del Impacto Potencial de fuga.	*Disminución del Inventario de ácido. *Uso del almacenamiento para evacuación del ácido en 6 minutos.

Las medidas defensivas también manejan un punto importante que se mencionará a continuación:

Evitar Dispersión fuera de L.B. en caso de fuga.	*Uso de cortinas de aspersión de agua de alta cobertura. *Evacuación de ácido.
--------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

Una vez que se llega a la resolución de que se tiene que instalar un sistema de mitigación se deben seguir ciertos criterios generales de diseño para proceder a llevar a cabo este propósito.

Una detección segura de un relevo de HF es una parte importante de un sistema de protección y también una pieza crítica en la implementación de medidas de seguridad. Cada planta de alquilación que maneje HF tiene un sistema de detección de fugas. De esta manera, se puede decir que en un sistema de seguridad pueden incluirse circuitos cerrados de televisión, sensores de punto, sensores de "path-abierto", y otros sistemas de imagen. Los procedimientos de operación deben de especificar las

frecuencias para los sistemas de pruebas y respuestas adecuadas a las fugas. El sistema debe proporcionar una cobertura para todas las áreas del proceso que contengan HF, tales como las áreas de almacenamiento, carga y descarga.

La detección visual de estas fugas puede llevarse a cabo por medio de las cámaras de video pueden ser una ayuda para alertar al operador sobre las nubes de vapor de HF y otras situaciones de emergencia. Cuando se usan en conjunción con los sistemas de detección descritos anteriormente, las cámaras pueden proporcionar significativamente al operador la habilidad de evaluar la situación de emergencia y determinar la localización exacta y su alcance. Las cámaras son también valiosas para dirigir y observar los efectos de las medidas de seguridad. Cuando se emplean cámaras de video, éstas deben de cubrir zonas estratégicas de la planta y tener la cobertura más amplia que se pueda, y los monitores de video deben ser colocados en un cuarto de control donde el operador pueda verlos rápido.

4.2 Tipos de sistemas de mitigación.

En una planta de alquilación pueden existir fugas accidentales de HF las cuales pueden ser mitigadas por un gran número de técnicas y no solo limitadas a la aplicación de agua. Algunas de estas técnicas serían:

- a) Colocación de diques
- b) Espumas o aplicación de químicos
- c) Refrigeración de ácido
- d) Aislamiento remoto
- e) Sistemas rápidos de inventario.

La selección de una o más técnicas de mitigación a aplicar dependerá de una variedad de factores específicos de la fuga y del lugar.

Como una respuesta parcial a esta nueva información técnica con respecto a los sistemas de mitigación existe un programa que fue iniciado en 1987 desarrollado por La Industry Cooperative Hydrogen Fluoride Mitigation & Assessment Program (ICHMAP), para estudiar y probar las técnicas en la mitigación de fugas accidentales de HF en las plantas de alquilación y aumentar la capacidad de estimar el impacto ambiental de estas fugas.

A la mitad de 1987, compañías interesadas vieron la necesidad de desarrollar técnicas para la mitigación de fugas accidentales de HF. Después de varios meses se desarrolló el programa ICHMAP fue dando a conocer formalmente en diciembre de 1987 para el desarrollo de información en el diseño e implementación de técnicas de mitigación más efectivas para fugas accidentales de HF, y estimar el impacto que pueden tener estas.

El ICHMAP involucra 20 compañías productoras y consumidoras de HF como son: Allied-Signal, Amoco, Ashland, BP, Chevron, Conoco/DuPont, Dow, Elf Aquitaine, Exxon, Kerr-McGee, Marathon, Mobil, Phillips, Saras, Shell Internationale, Sun/Suncor y otras más.

Las partes que contiene el programa y el objetivo de cada una de ellas son:

Rociado de Agua. Investiga la efectividad del agua o aumentar el sistema de aplicación del agua en las fugas accidentales de HF en las plantas de alquilación con ácido.

Barreras de Vapor. Evalúa la efectividad de las barreras de vapor en retardar y diluir las fugas accidentales de las nubes de vapor de HF más pesadas que el aire en una zona industrial y determinar cuál es el impacto que pueden tener las barreras y las consecuencias de una explosión indefinida de una nube de vapor.

Evaluación del Impacto. Valida el desarrollo del impacto ambiental, evaluación de los modelos computarizados para calcular la relación de fuga, "chorros" y plumas de dispersión en fugas accidentales de HF.

Contribución. Los miembros de la compañía ICHMAP colaboraron individualmente en la elaboración de técnicas de mitigación utilizando distintos tipos de barreras para fugas accidentales de HF. Estas técnicas incluían: cercado total con barreras exhaustivas de líquido contenido en diques,

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

aplicación de espumas, rociado de agua, barreras de vapor y agentes modificables de la tensión superficial.

El rociado de agua y las barreras de vapor fueron juzgadas como las más prometedoras y como un recurso adicional, sin embargo las que mejor han funcionado son las de rociado de agua.

4.3 Sistemas de Mitigación con Vapor.

Las barreras de vapor tienen tres objetivos principales que se mencionan a continuación: el primero evalúa el retraso y la dilución accidental de las nubes de vapor de ácido fluorhídrico (HF), más pesado que el aire liberado (heavier-than-air, HTA) en zonas industriales. El segundo objetivo es el de evaluar el influencia que tienen las barreras de vapor, sobre las consecuencias de la explosión de una nube de vapor tóxico. Finalmente un tercer objetivo fue el de cuantificar el impacto que tendrían los obstáculos existentes en una planta industrial (por ejemplo: tanques, tuberías, racks, torres, etc.) sobre la dilución de una nube de vapor tóxico, más pesada que el aire.

Para saber más acerca de estos objetivos; con respecto, a los componentes de las barreras de vapor se explicará en las siguientes tres fases sus características a grosso modo y se darán una serie de conclusiones a las que se llegaron con respecto a cada uno de ellos.

Fase 1.- Revisión del trabajo anteriormente mencionado. El objetivo fue: analizar la información del laboratorio obtenida del impacto de las barreras de vapor con respecto a la dilución de las nubes de vapor más pesadas que el aire y su tiempo de transportación. Así, también se incluyeron las evaluaciones del uso del túnel de viento como simulación para la cuantificación del impacto de las barreras de vapor sobre la dilución, tiempo de transportación y determinación de la liberación de HF más pesado que el aire.

Encontrándose como conclusiones de la fase uno que:

- 1.- Las barreras de vapor y los obstáculos pueden reducir la concentración de áreas cercanas cuando la distancia se incrementa con ayuda del viento.
2. El tiempo de llegada de la nube a áreas peligrosas tiende a aumentar como resultado de las barreras y los obstáculos existentes.
- 3.- El HF puede ser simulado correctamente en los túneles de viento, teniendo cuidado de seleccionar un gas apropiado para ello.

Fase 2.- Importancia de la flamabilidad. Una fuga accidental de hidrocarburos así como de HF son posibles en una planta de alquilación, así las barreras de vapor son consideradas para mitigar las fugas de HF, el impacto potencial de estas barreras sobre una fuga flamable deben ser consideradas. Entonces el objetivo de la fase dos es el de determinar el impacto de las barreras de vapor que deben tener sobre la explosión de una nube de vapor flamable

Esta relación de fuga fue basada, en los resultados de los daños desarrollados en las plantas de alquilación.

Encontrándose como conclusiones de la fase dos:

- 1.-La sobrepresión de la explosión está dada por; la geometría de la planta, y depende primeramente de la altura de la nube de vapor flamable.
- 2.-En una caja de vapor la presión puede ser incrementada debido a la altura de la nube de vapor tóxico y flamable.
- 3.-La presión del vapor en la caja, aumentará cuando el perímetro de esta, disminuya.
- 4.-La disminución en la altura de la caja y/o el uso de venteos en las paredes de la misma provocan que disminuya la sobrepresión.

Fase 3.- Simulación con el túnel de viento . Esta fase cuantifica el impacto de las barreras de vapor y obstáculos sobre la dilución y tiempo de transportación de la simulación de las nubes de HF más pesadas que el aire, y examina los efectos de las variables controlables e incontrolables en función de las barreras de vapor.

La simulación es sólo válida para fugas de HF del tipo aerosol y no aplica para evaporación estancada o fuga de vapor de HF.

Como conclusiones de la fase tres se tienen las siguientes:

El impacto de alguna barrera sobre el retraso y dilución de nubes depende extremadamente de el escenario de fuga (por ejemplo, relación de fuga, duración, disminución de la densidad como una función de el arrastre del aire, dirección del viento, etc.), las especificaciones del lugar (por ejemplo,

naturaleza de los obstáculos en la planta contra el viento, rugosidad superficial, etc.) y el diseño de las barreras (por ejemplo, la altura, distancia de los obstáculos en la planta contra el viento etc.).

Aunque el sistema de mitigación forma parte de los tipos que se están mencionando se prefirió manejarlo independientemente, ya que es el sistema que se utilizará en el diseño para aplicarlo en el caso de estudio.

Se decidió escoger el sistema de mitigación por agua y no el de vapor por las siguientes razones:

La primera; el utilizar vapor en una planta no sería costeable debido a que sería mucho más costoso que el rociado de agua.

La segunda; existe como servicio en las plantas de alquilación el agua de la red contra incendio la cual puede ser aprovechada en el sistema de mitigación.

La tercera; una prueba efectiva para mitigar los efectos de una fuga de HF fue la aplicación de grandes cantidades de agua. Los programas de manejo de riesgo en una refinería consideran el diseño de un sistema de mitigación para el HF.

El agua puede ser aplicada por un sistema cortinas de boquillas rociadoras fijas, monitores de agua o algunas combinaciones de estos dos dependiendo de las consideraciones locales.

Cualquier sistema de mitigación con agua debe ser completamente examinado. Los procedimientos de operación deben especificar los procedimientos de prueba y frecuencias.

4.4 Sistema de Mitigación con Agua.

Estudios realizados por el "API", propietarios de estudios de operación de daños y criterios específicos desarrollados por las plantas industriales (en las cuales sistemas de mitigación se instalaron), estableció que la cantidad de dilución mínima de ácido es de 40 a 60 gal de agua /gal de HF. Teniendo en cuenta esta información, surgen dos preguntas importantes: ¿ Cuánta agua en total se utilizará?, ¿ Dónde se aplicará?.

Para poder contestar estas preguntas se tiene que hacer un análisis, de cuál sería el equipo a utilizar cuando existen fugas potenciales que pueden causar daños fuertes.

La selección del equipo basado en estudios realizados anteriormente [Water Supply Systems and Devices Used Vapor Mitigation Industry Fire Safety], proporciona una combinación de monitores y boquillas esparadoras fijas que se consideran efectivas para eliminar los vapores dañinos. Tomándose en consideración la localización de las boquillas con el fin de proporcionar mejores resultados.

La experiencia también ha indicado que las boquillas fijas dirigidas hacia una fuga potencial son más eficientes que las cortinas de agua. Sin embargo los monitores lanzan grandes cantidades de agua en un arreglo del tipo "cono de poder", desde una distancia de 10 a 15 pies de diámetro con una relación de flujo de 2000 a 4000 GPM por dispositivo.

Continuando con las boquillas fijas, estos dispositivos parecen ser una muy buena opción para algunos equipos como son: los sellos de las bombas así como las partes altas de los tanques verticales. Sin embargo, un rápido cálculo de la cantidad de flujo manejado indicó que el tamaño de la tubería requerido para ser instalado en los tanques hace que, las boquillas fijas sean imprácticas. Al mismo tiempo, se detectó que la corriente de agua en un monitor operado a lo lejos, no alcanza a cubrir la parte del domo de los tanques que se encuentran en una posible zona de fuga, sin embargo este último punto se resolvió elevando los monitores a una altura de 35, 55 y hasta 85 pies del nivel de piso. Con los monitores elevados, la cobertura de cada uno, de ellos fue incrementada fuertemente.

En el afán de determinar el tipo de monitor y su localización óptima generó las siguientes conclusiones:

- La posición del monitor es más crítica en el caso de mitigar un vapor que en el caso de un incendio.
- A una elevación favorable de la boquilla del monitor, digamos de 34### casi horizontal y a una presión de 100 PSI, el rango de cobertura fue de 225 pies del centro a la base de la fuga.
- Para controlar los efectos del viento o de baja presión los monitores elevados fueron colocados a su máxima separación, siendo esta de 160 pies (muchos fueron separados menos).
- Todas las fuentes potenciales de fuga fueron cubiertas por dos monitores y en algunos casos casi por tres.
- Los monitores que se encontraban a un mismo nivel y con una pendiente igual funcionaron bien, pudiendo así "alcanzar" los equipos que se encontraban localizados bajo tuberías, plataformas etc. En la mayoría de los casos la distancia requerida fue menos de 125 pies.

5.1 Criterios para el Diseño del Sistema de Mitigación.

La mitigación por rociado de agua es una de las técnicas desarrolladas y aceptadas para reducir las consecuencias de la fuga de una nube de HF. Para este propósito el agua se puede aplicar por un sistema de cortinas rociadoras fijas, monitores de agua o una combinación de estos dos, por supuesto que esto dependerá de las necesidades específicas de la zona donde se localice.

Ambos métodos han sido probados y evaluados en una serie de estudios realizados a gran escala. En el artículo "Effectiveness of Water Sprays on Mitigating Hydrofluoric Acid Releases" se encuentra una revisión de las pruebas realizadas en 1986 en el Departamento de Energía de Estados Unidos facilitado por el estado de Nevada, El Resumen de un reporte llamado " Effectiveness of Hydrogen Fluoride ", proporciona una detallada explicación de una serie de mas de 80 parámetros de prueba conducidos en 1988 por el mismo estado. El artículo "Effectiveness of Water Spray Mitigation System" en su vol. VIII se encuentra información de 200 pruebas hechas con monitores en el túnel de viento, estas pruebas realizadas incluyen desde la geometría del sistema, el funcionamiento de las cortinas de agua con boquillas y de los monitores, el efecto del tamaño de la gota de agua y los efectos de la relación volumétrica de ácido-agua sobre la eficiencia de remover el ácido.

Estos métodos utilizados anteriormente en la mitigación del ácido forman parte de los parámetros que se tienen que tomar en consideración para el diseño de la red de agua que formará la cortina de agua en la dilución del HF.

Estudios evaluados en la aplicación de sistemas de mitigación han traído como consecuencia dos fenómenos:

- a) La eliminación directa de el HF desde la fuga de una pluma por absorción química, trayendo como resultado la reducción de la cantidad de ácido que se mueve corriente abajo del viento.
- b) El arrastre de aire inducido provocando en la gota de agua, trayendo como resultado en la dilución de la pluma una reducción de la concentración de HF corriente abajo del viento.

De acuerdo a los incisos anteriores; una serie de factores deben de ser analizados para un diseño efectivo en el sistema de mitigación con agua. El diseño será altamente dependiente de los detalles individuales del sitio. El grado de mitigación deseado dependerá de los asentamientos de la refinería, topografía local y la proximidad a la población. El análisis general debiera incluir lo siguiente:

- a.- Recopilación de información del proceso y del mecanismo de diseño.
- b.- Conducción de una proceso de análisis de riesgo.
- c.- Desarrollo de escenarios de fuga creíbles.
- d.- Desarrollo de información local del clima para el diseño.
- e.- Recopilación de información del sitio topográfica y localización de la población.
- f.- Conducción de un análisis de consecuencias.
- g.- Determinación de la deseada efectividad de mitigación.
- h.- Diseño de los sistemas de suministro de agua, aplicación y desechos.
- i.- Consideraciones para iniciación y accesibilidad al control.
- j.- Consideraciones específicas del sitio.

Teniendo en cuenta los puntos anteriores se describen aquellos que se consideran importantes como son:

Desarrollo de escenarios de fugas creíbles; Para cada escenario de fuga la información debe de ser desarrollada para definir el potencial de la fuga, incluyendo la razón y duración de la fuga, la altura de la fuga, la velocidad (puede ser aproximada), la temperatura inicial y el estimado de probabilidad de la fuga de ácido formada en aerosol o el líquido. La duración de la fuga puede ser también función del aislamiento y del sistema de inventario instalado.

Conducción en un análisis de consecuencias; Un análisis de consecuencias usado apropiadamente en los modelos de dispersión de plumas atmosféricas, puede ser conducido a determinar el impacto potencial integral asociado con cada escenario de fuga de interés. El análisis debe de incluir el potencial de "desfogue" y concentración.

Distribución de agua-Aplicación del Sistema; En cada sitio de fuga de interés puede ser marcado en el plano de la unidad. Cuando se ha marcado completamente en el dibujo, el dibujo indicará las áreas con los puntos de fuga con mayor densidad. Se utilizará esta información para usarla en combinación con

la información de la dirección del viento que ayudará a seleccionar la localización de las boquillas rociadoras y los monitores de agua. Con el agua del monitor y múltiples monitores deben ser usados para suministrar el agua a cada fuga potencial de HF. Los cabezales de las boquillas rociadoras deben ser diseñados para bloquear efectivamente el paso de la fuga e inyectar el máximo aire a través de la nube de vapor.

Consideraciones especiales; Otros factores que serán considerados para completar el diseño son los siguientes:

- a) Compatibilidad de la razón de flujo de agua deseado con la capacidad del servicio del sistema de contraincendio.
- b) Uso de monitores de video para ayudar a dirigir y controlar la aplicación del sistema de agua.
- c) Facilidades de embargo y neutralización para tirar el agua con ácido generada durante la mitigación de la fuga de HF.
- d) Requerimientos de Drenajes.
- e) Diseños especiales para áreas que requieren protección de escorchamiento.
- f) Provisión para periodos de prueba de todo el sistema.
- g) Cualquier regulación local que aplique a las instalaciones.

5.2 Características generales de la herramienta de trabajo, INPLANT.

Se utilizará el simulador INPLANT se utilizará como una herramienta para la solución del caso de estudio resolviendo las ecuaciones que definen a la relación entre la caída de presión y el flujo por este mismo.

El INPLANT es un programa fácil de usar, el cual ayuda en el cálculo de caídas de presión y transferencia de calor en redes de tuberías. Este simulador proporciona la manera en cómo define cada una de las partes de una red, su método de solución, su convergencia y los pasos a seguir en la construcción de el problema.

Teniendo en cuenta las definiciones que proporciona el manual del INPLANT, se debe de tener en cuenta que una red generalmente es mucho más que una unión o más uniones de nodos. Al mismo tiempo que el INPLANT, considera como variable a la presión y al flujo en cada suministro y unión donde se especificará el valor de cada una de estas que se conozca y el INPLANT se encargará de calcular las variables que se encuentren desconocidas de estas dos mismas variables.

Estas variables arrojan ecuaciones que son del tipo no lineal las cuales pueden ser resueltas numéricamente. El método de solución que utiliza el INPLANT se llama "Método de Solución de Balance de Presión" (PBAL).

El PBAL es el método de Newton-Raphson de solución que utiliza el INPLANT para las redes, las derivadas para este método son calculadas numéricamente por el mismo. La presión en una de las uniones, la presión transversal en cada unión es calculada en la dirección del flujo desde la entrada de la unión hasta la salida para saber cuando se ha llegado a la solución se requiere de un criterio de convergencia.

El INPLANT proporciona soluciones iterativamente por el método PBAL para las redes. Este inicia con un estimado inicial de todos los flujos y presiones, y usando el método de Newton-Raphson ajusta estos valores hasta que llegan a una solución de convergencia dentro de una tolerancia definida.

El INPLANT proporciona en su manual unas reglas que se deben de tomar en cuenta para el planteamiento de los problemas:

- 1.- Se deben especificar el número de variables que deberán ser iguales a el número total de suministros y destinos.
- 2.- Se debe especificar por lo menos una presión.
- 3.- Si algún flujo de suministro o destino es desconocido, se debe suponer un estimado.
- 4.- Si no se conoce la presión en un suministro, destino o nodo, no se necesita suponer un estimado. Se debe especificar el estimado hasta llegar a la convergencia.

Además del simulador INPLANT existe otro el cual puede ser utilizado como una herramienta de trabajo para el dimensionamiento del sistema de mitigación como es el caso del método de Hardy-Cross del cual se puede obtener información en el anexo A.

5.3 Parámetros para el diseño del caso de estudio.

Para el caso particular de este trabajo se realizará el diseño del sistema de mitigación que se diseñará con ayuda del simulador INPLANT de cual se dieron algunas características en el punto anterior.

El sistema de mitigación que se diseñará para la planta de alquilación se dividirá en dos zonas. Estas se identificarán como la zona "A" y la zona "B" respectivamente.

Cada una de las zonas constan de diferentes equipos en los cuales se encuentran las mayores concentraciones de ácido. Para la zona "A" se encontrarán; los tanques de Descarga de Ácido denominados (FB-202 A/B), y para la zona "B" se encontrarán el tanque de Almacenamiento de Ácido (FB-201), los enfriadores de Ácido (EA-203 A/B), el vaporizador de Ácido (EA-204), el Sobrecalentador de Agotamiento de IC4 (EA-205), la Torre Repasadora de Ácido (DA-202) y la Bomba de Alimentación a la torre repasadora (GA-204), de esta última zona se aplicará el sistema de mitigación solo al tanque de almacenamiento de ácido. Ver diagrama 2.

Sólo se consideran estas zonas ya que son las que se encuentran con contacto directo con el HF, de una manera muy estrecha y en mayor tiempo.

Las variables que se mencionan a continuación deben considerarse para realizar un buen diseño de un sistema de mitigación, y son:

- 1.- Razón de volumen del líquido agua.
- 2.- Aplicación de la geometría en el espray de agua.
- 3.- Número de espresas por cabezal.
- 4.- Distancia del cabezal de espray hacia el punto de fuga.
- 5.- Orientación de las espresas (flujo arriba y flujo abajo).
- 6.- Elevación del cabezal de espray superior al punto de fuga.
- 7.- Cabezales de espray dual en serie.
- 8.- Tamaño de la gota rociada de agua.
- 9.- Aplicación de agua por medio de un monitor para incendio.
- 10.- Patrón de aplicación ("niebla o chorro").
- 11.- Distancia del monitor hacia el punto de fuga.
- 12.- Tipo de ácido (HF anhidro o ácido de unidades alquiladoras).
- 13.- Temperatura y Presión del ácido.

De acuerdo a los parámetros anteriores se propusieron algunas configuraciones para el sistema de mitigación y después de hacer un análisis cualitativo se seleccionó la configuración que se describe a continuación:

Se tiene un arreglo de tipo rectangular (para las dos zonas) con sus respectivas dimensiones, el cual tendrá un suministro de agua del cabezal de la red de agua de contrincendio.

El cabezal de suministro de agua alimenta al sistema de mitigación que cuenta con dos camas. El suministro de agua llega a la primera cama y la segunda se alimentará por medio de unas aristas que saldrán de la primera cama.

Las aristas que alimentarán a la cama de arriba saldrán de cada una de las esquinas y se incluirán algunas entre esquina y esquina para garantizar la uniformidad del flujo de agua en toda esta.

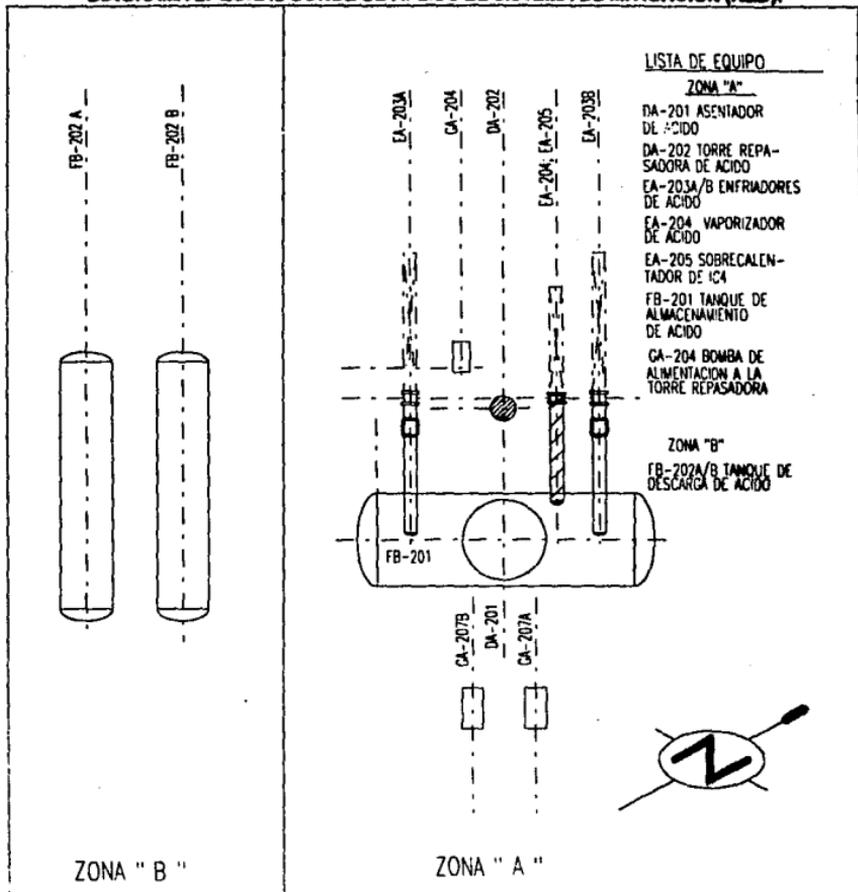
Se considera que el suministro de agua a los cabezales por donde se alimentará el agua a las camas estará controlado por medio de dos válvulas una de ellas automática y la otra del tipo manual.

La válvula automática o manual se activarán cuando exista una fuga de HF en exceso, esto se observará con los medidores de concentración que se encontrarán en estas zonas, aunque puede ser que sea detectado por las cámaras de video o por alguien del personal que se encuentre en la planta y vean que hay una fuga. Esta persona puede activar el sistema manualmente.

La válvula manual se utilizará en caso de fallar la automática, encontrándose ésta a una distancia de 15 metros de separación del sistema de mitigación, distancia suficiente para que alguna persona de la refinería capacitada se pueda acercar con el equipo necesario y activarla.

Una vez que se suministra el agua a las camas del sistema de mitigación ésta saldrá por la boquillas rociadoras fijas que se encuentran localizadas en los cabezales para diluir el HF.

DIAGRAMA 2. ZONAS DONDE SE APLICO EL SISTEMA DE MITIGACIÓN (RED).



Las boquillas que se seleccionaron para utilizar en el sistema de mitigación son del tipo TFXP que en el manual indica y que este considera que son para absorción del HF, amoníaco y otros gases altamente solubles, (ver anexo D).

Las boquillas del TFXP son del tipo espiral que manejan una presión de 3.5-7 bars (50.75-101.5 PSIG), de 2-10 l/min (0.52-2.64 GPM), para líquidos burbuosos.

Las boquillas de este tipo se consideran de mayor peso libre con las siguientes características:

Características de Diseño.

- Mayor peso libre en un diseño original de espiral.
- Peso de partículas iguales al tamaño del orificio.
- Construcción de una sola pieza, y extra-fuerte.
- Eficiencia alta de energía.
- Conexión tipo hembra.

Características de Rociado.

-Intervalo amplio de razón de flujo.

-Atomización fina.

Patrón de Rociado.

-Tipo Cono-ileno (Hueco del cono disponible por un orden especial).

Angulo de Rociado.

-De 90° y 120°

Razón de Flujo.

-De 9.67 a 10700 l/min. (2.56 a 2826.9 GPM)

Una vez que se encuentra el tipo de boquilla a utilizar se puede proceder a ver el número de boquillas a utilizar y la distancia que existirá entre cada una de ellas en los cabezales donde se localizará.

Encontrando el número de boquillas, que dependerá de el área a cubrir, se obtendrá el flujo que se requerirá para cada uno de los cabezales y para cada una de las respectivas zonas de mitigación. Con este dato, se calculará los diámetros de los cabezales donde estará las boquillas y los de las aristas que alimentarán a la cama superior.

Obteniendo estos datos se procederá a la utilización del simulador INPLANT introduciendolos y finalmente este nos proporcionará los resultados.

5.4 Características Generales de las Zonas de Mitigación.

La distancia entre cada boquilla será de 1.2 mts y estarán conectadas al cabezal de tuberías de ellas.

Cada uno de los sistemas para las distintas zonas estará alimentado de forma independiente por dos puntos y funcionará uno a la vez, esto quiere decir que cuando sea necesario utilizar el sistema de mitigación éste entrará en funcionamiento por una válvula que será activada de manera automática y en caso de fallar esta se contará con una válvula manual que se encontrará a unos 49.215 ft de distancia para que el personal de seguridad pueda llegar a abrir esta válvula. La válvula automática será del tipo diluvio mientras que la segunda válvula será de acción rápida tipo mariposa para operación manual

Ambas válvulas de suministro se instalarán a nivel de piso y estarán precedidas en el flujo por un filtro del tipo "Y".

Las boquillas aspersoras serán de 3/8 pulgada y manejarán un gasto de 17 GPM. Esta boquillas es del modelo 90TF-18XPN (este tipo de boquilla se escogió del manual del proveedor de acuerdo a las necesidades del sistema) ver anexo D, del manual donde se obtuvo el tipo de boquilla.

Las boquillas de las cortinas se colocaran hacia abajo, desviadas 10° de la vertical, hacia el centro del área protegida.

La colocación de las boquillas será a tresbolillo en un cabezal con respecto al cabezal próximo.

Los tramos de tuberías (cabezal de boquillas) serán horizontales y llevarán tuercas unión en las zonas donde se prevea la necesidad de desmontarlas para permitir los trabajos de mantenimiento.

Una vez considerando estos parámetros se podrá proceder a delimitar cada una de las zonas A y B, las cuales manejarán distintas dimensiones y número de boquillas así como gastos etc.

Considerando los siguientes parámetros generales: se contará con un cabezal de suministro de agua contra incendio el cual cuenta con las siguientes condiciones:

El cabezal tendrá un diámetro de 10 pulgadas.

La presión en el cabezal será de 174 PSIG.

La temperatura será de 68°F.

Los sistemas diseñados estarán definidas para poder introducirlos al simulador INPLANT por:

-Fuentes de suministro principales de agua las cuales se definirán como: SXA.

donde S es la fuente de suministro.

X es el número en turno.

A es la terminación de la fuente de suministro.

-Salidas de agua (boquillas rociadoras): SNX

donde S será la salida del agua por la boquilla.

N letra para diferenciarlas de la fuente de suministro.

X es el número en turno.

-Uniones de las red estarán definidas por un nombre, su longitud y su diámetro.

-Nodos o puntos de unión serán llamados con una letra y un número: A(X)

donde A es la letra para diferenciarlos
X es el número en turno.

5.4.1 Características de la Zona A.

Dimensiones:

Las camas tendrán una longitud de 78.744 ft de largo (24 m.) por 55.777 ft de ancho (17m.).

No. de Boquillas por cama:

Tendrá 20 boquillas por cada lado de 78.744 ft (dos lados) = 40 boquillas.

Tendrá 14 boquillas por cada lado de 55.777 ft (dos lados) = 28 boquillas.

El total de boquillas para una cama será de = 68 boquillas.

Como se colocaran dos camas entonces, el total de boquillas será de = 136.

La presión que manejarán las boquillas será de 105.85 PSIG.

La distancia entre cada boquilla será de 3.937 ft. (1.2 m).

El flujo que manejará cada boquilla será de 17 GPM (64.3 lpm).

El flujo que manejará por cama será de = 1156 GPM.

El flujo total para las dos camas será de = 2312 GPM.

La distancia entre la primera cama y el cabezal de suministro será de = 2.297 ft (0.7 m).

La altura para cada cama será de 7.874 ft (2.4 m.).

Ver diagrama 3 en el anexo B.

5.4.2 Características de la Zona B.

Dimensiones:

Las camas tendrán una longitud de 55.7777 ft de largo (17 m.) por 32.810 ft de ancho (10 m.).

No. de Boquillas por cama:

Tendrá 14 boquillas por cada lado de 55.777 ft (dos lados) = 28 boquillas.

Tendrá 8 boquillas por cada lado de 32.810 ft (dos lados) = 16 boquillas.

El total de boquillas para una cama será de = 44 boquillas.

Como se colocaran dos camas entonces, el total de boquillas será de = 88.

La presión que manejarán las boquillas será de 105.85 PSIG.

La distancia entre cada boquilla será de 3.937 ft. (1.2 m).

El flujo que manejará cada boquilla será de 17 GPM (64.3 lpm).

El flujo que manejará por cama será de = 748 GPM.

El flujo total para las dos camas será de = 1496 GPM.

La distancia entre la primer cama y el cabezal de suministro será de = 2.297 ft (0.7 m).

La altura para cada cama será de 7.874 ft (2.4 m.).

Ver diagrama 4 en el anexo B.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

El sistema de mitigación utilizado como caso de estudio, presentado en este trabajo fue diseñado con ayuda del simulador INPLANT, el cual se utilizó como una herramienta proporcionando los resultados del diseño del sistema.

Así de esta manera se hizo el análisis de resultados en base a las zonas de mitigación y los parámetros que se tuvieron que tomar en cuenta para el diseño fueron:

a) Dirección del flujo en los nodos: Esta debe ser la indicada, sino de otra manera se encuentran problemas de flujo inverso en los nodos y provoca una no convergencia en el sistema..

b) El número de nodos debe de estar bien definido; si no es así se encuentra que el número de incógnitas es menor que el número de nodos y no se puede llegar a la solución deseada.

c) No debe de existir acumulación de flujo en el sistema, pues trae como consecuencia que existan flujos negativos en los suministros, es decir que en vez de entrar flujo a la red por ellos salga.

d) Las presiones que se tienen en los suministros deben de ser las adecuadas para poder tener la energía necesaria para que llegué tanto a la primera cama como a la segunda, donde se encuentran localizadas las boquillas rociadoras.

e) Como la distancia entre cada boquilla es la misma y muy pequeña, las caídas de presión son también pequeñas y esto provoca que si no se tiene una tolerancia adecuada no llegue a una convergencia el sistema que se está diseñando, por tal motivo esta debe de ajustarse.

f) Todos los parámetros que se manejan en la red como son: Suministros (Sources), Salidas (Sinks), Uniones (Links) y Nodos (Junctions), deben de ser bien definidos para evitar problemas de configuración en el momento de llevar a cabo las corridas.

Todos estos parámetros anteriormente mencionados se tuvieron que tomar en cuenta para poder llevar a término el diseño del sistema de mitigación para que cumpliera con los requerimientos que se necesitaban para poder utilizarla como un sistema de mitigación para mayor entendimiento de los resultados consultar en anexo C, en donde se presentan algunas de las corridas que se realizaron durante en diseño.

En el anexo C se pueden encontrar los resultados del diseño del sistema de mitigación, las corridas presentadas son para cada una de las zonas (A y B), respectivamente, en ellas se presentan sólo una parte de cada uno de los archivos de resultados, con la idea de ilustrar, debido a que son demasiado extensos para incluirlos en el presente trabajo

CONCLUSIONES

Debido a las necesidades de nuestro tiempo, de evitar la contaminación del medio ambiente y de la protección de las personas se puede decir que el alquilado que se obtiene de un proceso de mejoramiento, es un componente importante de la gasolina reformulada, teniendo grandes ventajas en sus propiedades, tanto combustibles como ecológicas; por lo que este es un compuesto de gran demanda actualmente.

La comparación entre las tecnologías de los procesos de alquilación, a su vez, muestran claras ventajas para el uso de HF principalmente, en virtud de representar el uso de un proceso más simple, con un solo reactor, con consumo de ácido sustancialmente menores y menor consumo de energía, así como sus costos de operación son muy bajos.

Los procesos de alquilación tienen una presencia creciente en los sistemas de refinación en el mundo.

Por lo anterior se hace necesario dar mayor atención e importancia a las medidas de seguridad en las plantas de alquilación cuyo proceso implica el uso de HF, debido al elevado riesgo a que se somete el personal, el equipo y a las comunidades aledañas a las mismas.

Dentro de los sistemas de seguridad se ubican los sistemas de mitigación, sin estos es imposible concebir una operación segura, a pesar de existir otros tipos de sistemas de seguridad como los son: el monitoreo visual de gases, en zonas críticas, etcétera. Por otra parte los sistemas de mitigación son esenciales para que los índices de riesgo de estas unidades alquiladoras se encuentren por debajo de los estándares de seguridad más estrictos en el mundo.

Finalmente, las estadísticas obtenidas con base en la experiencia acumulada a la fecha, denotan que la operación de las plantas de alquilación, que cuentan con sistemas de mitigación, ha sido satisfactorias.

TESIS SIN PAGINACION

COMPLETA LA INFORMACION

BIBLIOGRAFÍA

- 1.-Aguilar, E., Martínez, M., Sanchezllanez, T., & Salazar, D., (1993). Análisis y Evaluación de Rutas Tecnológicas de Alquilación, Villahermosa, Tab.; Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos.
- 2.-Blewitt, D.N., Yohn, J.F., Koopman, R.P., & Brown, T.C., "Conduct of Anhydrous Hydrofluoric Acid Spill Experiments", Proceedings, International Conference on Vapor Cloud Modeling, American Institute of Chemical Engineers.
- 3.-Cupit, C. R., Gwyn, J.E., & Jerningam, E. (1962), Catalytic Alkylation. Chemical Engineer, pp. 49-59
- 4.- Diener, R., "Vapor Barrier Program for Delaying and Diluting Heavier-Than-Air HF Vapor Clouds-Summary Report", EXXON Research and Engineering Company, June, (1989).
- 5.- Glenn, C., (1989), Alkylation: Past, Present and Future, National Petroleum Refiners Association, Kansas City, Missouri.
- 6.-Kellog, (1956, March). Sulfuric Acid Alkylation, Oil & Gas Journal, pp. 178-179.
- 7.-Lyle F. (1990a, November). Alkylation will be key Process in Reformulated Gasoline: Era Modern Alkylation 1, Oil & Gas Journal, pp. 79-92.
- 8.-Lyle F. (1990b, November). H_2SO_4 and HF, Processes Compared and new Technologies Revealed, Oil & Gas Journal, pp. 70-77.
- 9.-Martín, S.W. & Willis, L.E. Coding Petroleum Residues. pp. 357.
- 10.- Mckinnon, G.P., (1981) NFPA. Fire Protection Hand-book, 15th.
- 11.-NRAQ&A-2 (1992, April). Refiners Discuss HF Alkylation Process and Issues, Oil & Gas Journal, pp. 67-72.
- 12.- Payne, R.E., (1958), Alkylation: What you Should Know Petroleum Refiner, 37(9), pp. 316-329.

- 13.- PEMEX (1990), Manual de Procedimientos de Ingeniería de Diseño, Seguridad Industrial, Autor.
- 14.-Perry, R.H., & Green, D.W., Biblioteca del Ingeniero Químico, de. 5ta., (1986).
- 15.-Petróleos Mexicanos (1970), Reglas Básicas de Seguridad para el manejo del Ácido Fluorhídrico Anhidro en la Industria , Boletín de Seguridad Industrial 42 (2da. Ed.), México, D. F.: Autor.
- 16.- Prugh, W.R., (1986), Mitigation of Vapor Cloud Hazards: Part II. Limiting Quantity Released and Counter-Measures for Releases, Plant/Operations Progress. 5(3).
- 17.-Química Flour, Manual de Uso, Transportación, Almacenamiento y Manejo de Ácido Fluorhídrico. México, D.F.: Autor.
- 18.-Safe Operation of Hydrofluoric Acid Alkylation Units (1992, june). API Recommended Practice 751. pp. 1-33.
- 19.-Scott, B., (1992). Identify Alkylation Hazards. Hydrogenation Processing, 77-81.
- 20.- Simulation Sciences Inc., INPLANT, Input Manual Version 2.1.: Autor.
- 21.- Slavan, J., (1991), BETE, HF Mitigation by Water Sprays: A summary of Design Consideration for Nozzle Selection, Houston, Texas.
- 22.-Van, Z. & Diener, R., (1990, june). On the Road to HF Mitigation Part I, Hydrocarbon Processing. pp. 92-98.
- 23.-Van, Z., & Diener, R., (1990, october). On the Road to HF Mitigation Part II, Hydrocarbon Processing, pp. 77-81.
- 24.-Woytek, A., Gasoline and Other Motor Fuels, 10- 11.

ANEXO A

ALGORITMO(HARDY-CROSS) PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE REDES DE TUBERIAS.

REDES DE TUBERÍAS

A. Consideramos un tramo de tubería de sección transversal constante y a través del cual hay flujo de agua únicamente por los extremos.

Un balance de materia es la relación de la masa que entra, la masa que sale y la masa que se acumula.

En nuestro caso de estudio, no hay acumulación de masa, por lo que se establece que el flujo másico neto que fluye hacia el exterior, es igual al flujo másico neto que fluye hacia el interior.

Se considera que las propiedades del fluido son constantes en cualquier punto de la tubería.

$$G \cdot S_1 - G_2 S_2 \quad (1)$$

siendo,

G = velocidad másica, lbm / hr pie²

S = sección transversal de la tubería, pie²

la cual se conoce como ECUACIÓN DE CONTINUIDAD (ecuación 1).

Un balance de energía aplicado al tramo de tubería exterior sería:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{energía} & & \text{energía} & & \text{pérdida} & & \text{energía} \\ \text{cinética} & + & \text{potencial} & + & \text{por fricción} & + & \text{por bomba} \\ & & & & & & = 0 \end{array} \quad (2)$$

El modelo lo podemos simplificar si consideramos que la velocidad (energía cinética) es una constante a través de una tubería de diámetro constante.

Si la red de tubería están un solo nivel de elevación, la energía potencial es nula.

Como el agua de enfriamiento es suministrada a presión desde fuera de los límites de batería, no hay energía suministrada por bombas.

La ecuación resultante para un circuito como el mostrado en la fig. A.1 sería:

$$h_{f_1} + h_{f_2} = h_{f_3} \quad (3)$$

o de la otra manera

$$\Delta P_1 + \Delta P_2 = \Delta P_3 \quad (4)$$

es decir, la suma algebraica de las caídas de presión alrededor de un circuito balanceado debe ser cero.

B. El gasto volumétrico que llega a una unión debe ser igual al que sale de la misma; es decir, se debe cumplir la ecuación de continuidad, ecuación no. 1.

$$Q = Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad (5)$$

TEORÍA DEL MODELO.

La teoría del modelo de hardy-cross para balances líneas de un circuito como el de la fig.A2 consiste en suponer un flujo para cada una de las tuberías del circuito, de tal forma que se satisfaga la ecuación de continuidad en cada unión, posteriormente se calcula un valor de corrección para el flujo de cada circuito hasta lograr balancearlo.

$$Q = Q_0 + \Delta Q \quad (6)$$

La suma algebraica de las caldas de presión alrededor de un circuito, deberá ser cero. así , para el loop mostrado en la fig. A.2.

$$(\Delta p)_{A,B} - (\Delta p)_{C,D} = 0.0 \quad (7)$$

$$\Delta p = KQ^2 \quad (8)$$

sustituyendo las ecuaciones (8) y(6) en la ecuación (7).

$$K(Q_0 + \Delta P Q^2) - K(Q_0' + \Delta Q)^2 = 0.0 \quad (9)$$

Si lo consideramos el término ΔQ^2 del binomio por ser muy pequeño con respecto a Q_0 .

$$K(Q_0^2 + 2Q_0\Delta Q) - K(Q_0'^2 + 2Q_0'\Delta Q) = 0.0 \quad (10)$$

agrupando términos comunes

$$K(Q_0^2 - Q_0'^2) + 2K(Q_0 - Q_0')\Delta Q = 0.0 \quad (11)$$

resolviendo para ΔQ .

$$\Delta Q = -\frac{K(Q_0^2 - Q_0'^2)}{2K(Q_0 - Q_0')} \quad (12)$$

para un circuito de más tuberías.

$$\Delta Q = -\frac{KQ^2}{2\sum KQ} \quad (13)$$

de la ecuación (8)

$$KQ = \frac{\Delta P}{Q} \quad (14)$$

sustituyendo

$$Q = -\frac{\sum(\Delta P)}{2\sum\left(\frac{\Delta P}{Q}\right)} \quad (15)$$

al aplicar el valor de corrección ΔP a cada una de las tuberías del circuito adaptaremos el convenio de signos del modelo de hardy-cross, en el que el signo positivo se asigna a los gastos que coincidan con el sentido de giro de las manecillas del reloj y el signo negativo se asigna a los gastos que coincidan con el sentido contrario. lo anterior es con el fin de conservar el balance de materia. así pues, que se sumará a los gastos que tienen el signo positivo, y en el caso contrario, se restará.

EL ALGORITMO PARA EL CÁLCULO DE REDES ES EL SIGUIENTE:

- 1.- Examinar cuidadosamente la red, considerar el diámetro de las tuberías y suponer la mejor distribución de gastos que cumplan con la ecuación de continuidad en las uniones, esto en función del gasto total que se va a distribuir.
- 2.- Calcular la caída de presión en cada tubería y la caída de presión neta en cada circuito, esta debe ser cero para un circuito balanceado. si se cumple esta última condición el problema está resuelto.
- 3.- Calcular el término $2 \left(\frac{P}{Q} \right)$ para cada circuito de la red.
- 4.- Calcular el valor de corrección para el gasto supuesto de cada circuito mediante la ecuación (16).
- 5.- Con la ecuación (7) calcular el gasto de corrección para la siguiente iteración. repetir el algoritmo a partir del punto 1, hasta lograr balancear la red con la precisión deseada.

La naturaleza repetitiva de los cálculos, inducen al empleo de una computadora digital para disminuir el tiempo de cálculo, de cada uno de los loop existentes en las redes, esto se puede llevar a cabo con ayuda de un diagrama de flujo como se observa en la fig A3.

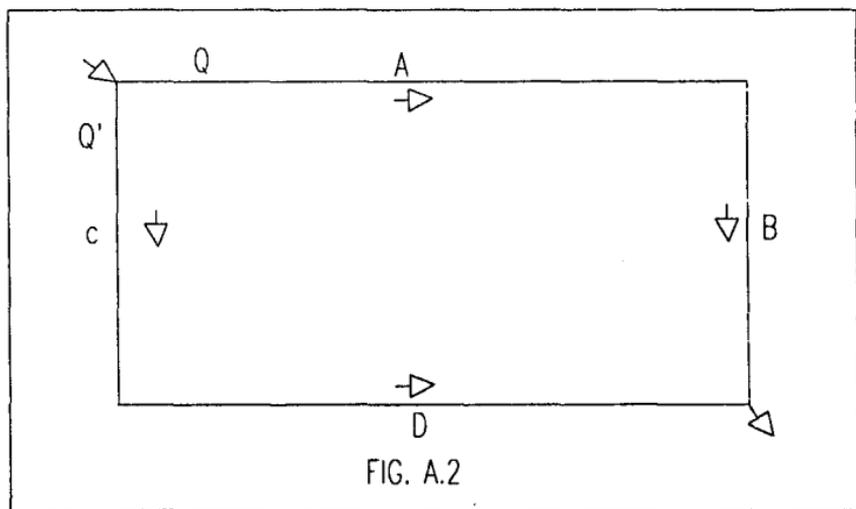
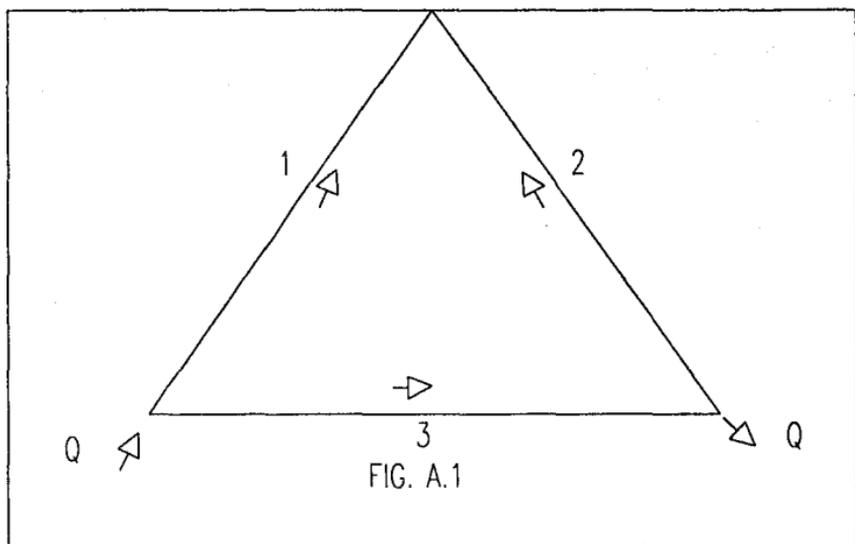
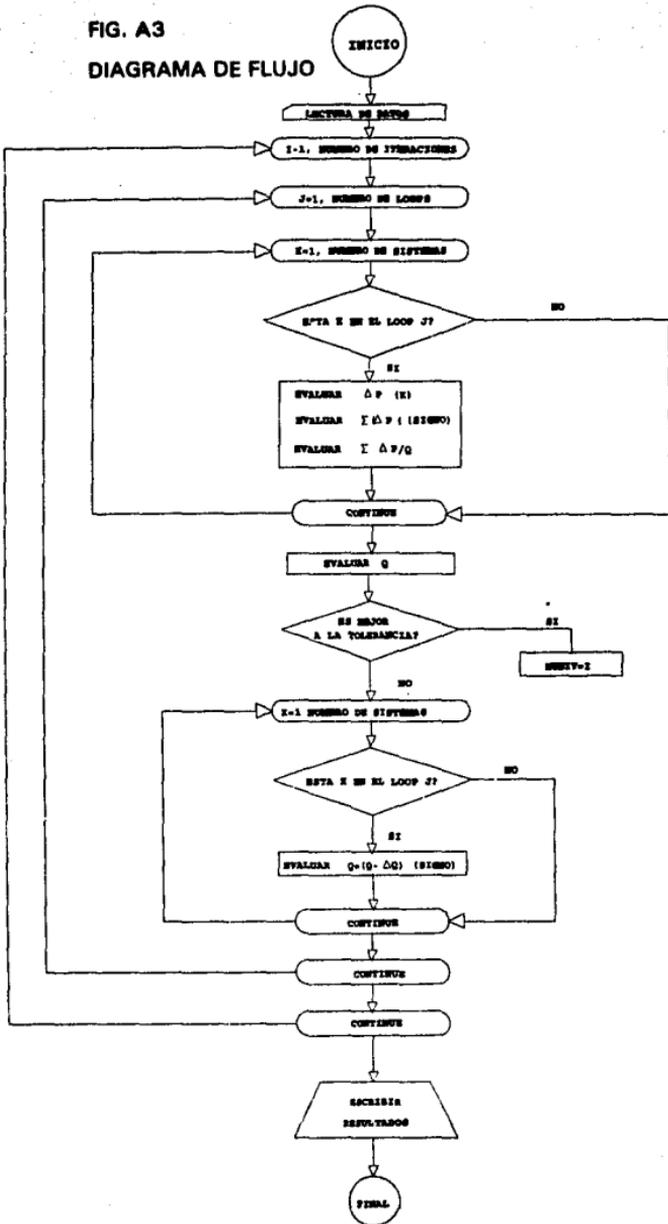


FIG. A3

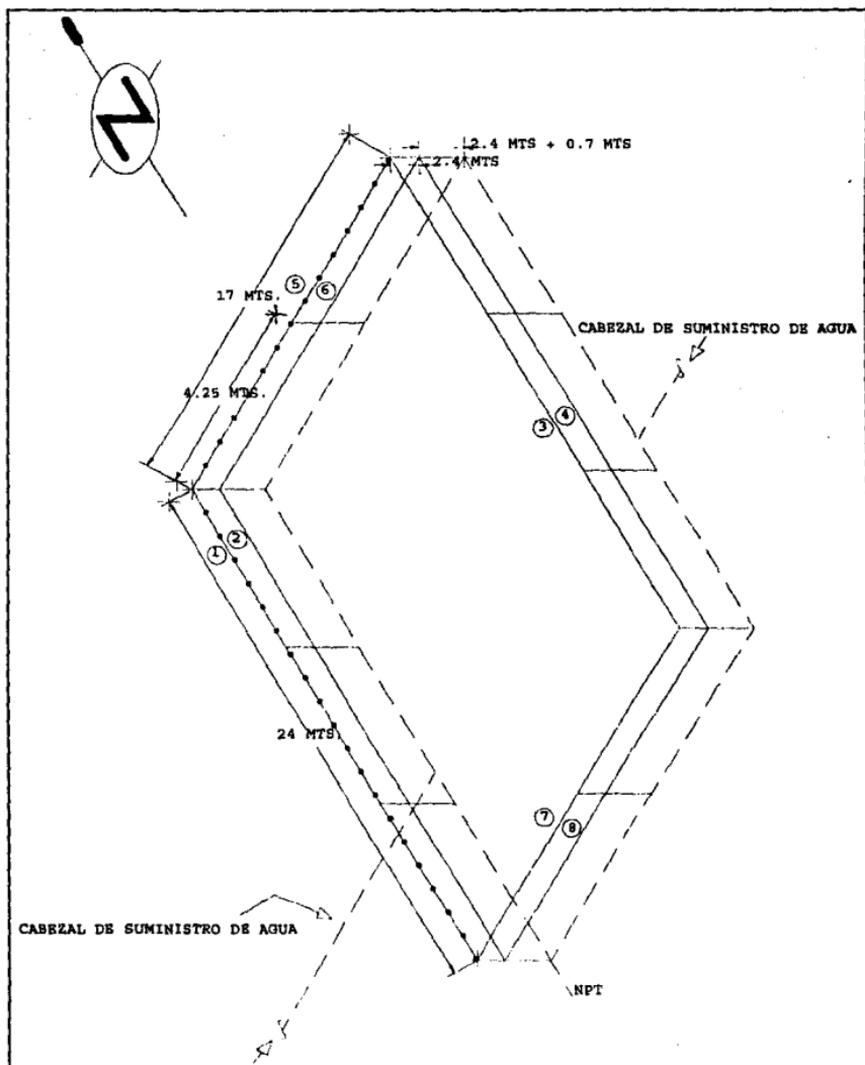
DIAGRAMA DE FLUJO



ANEXO B

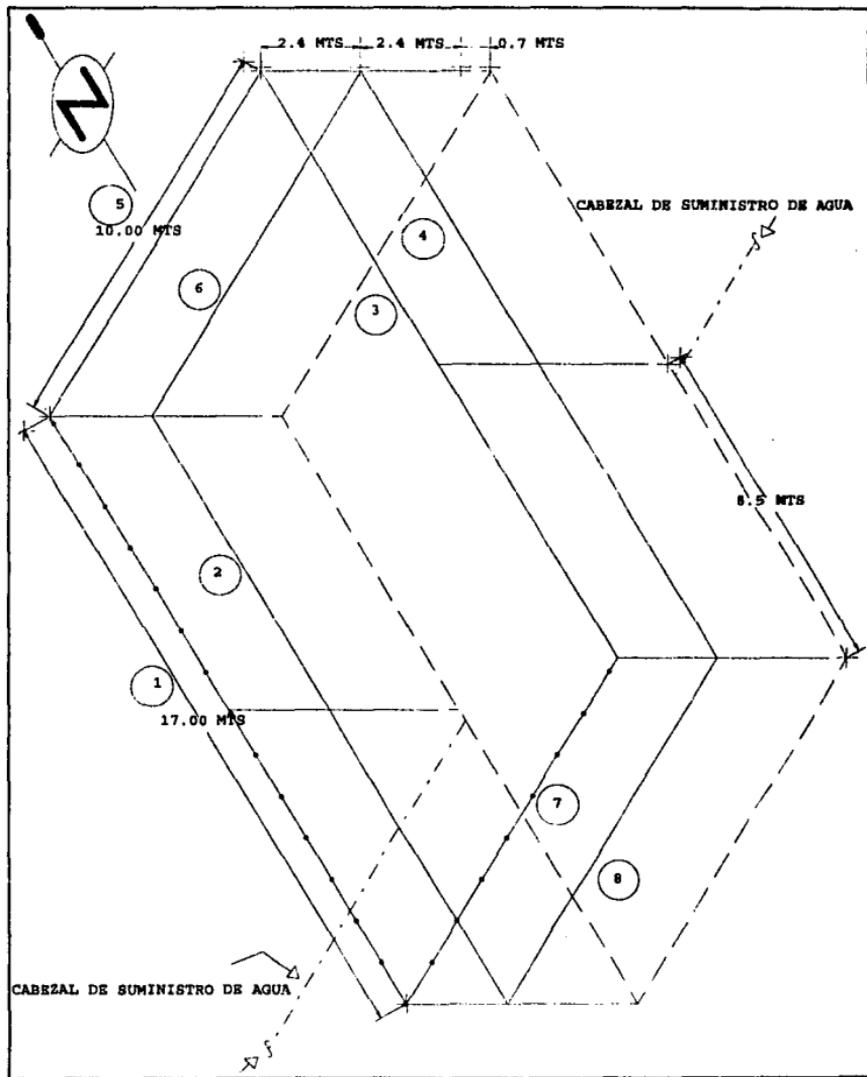
DIAGRAMAS DE LAS ZONAS DE MITIGACIÓN.

DIAG. 3 ZONA A . DE MITIGACIÓN.



1, 2, 3, y 4 En cada uno de los lados con esta numeración, tendrán 20 boquillas.
5, 6, 7 y 8 En cada uno de los lados con esta numeración tendrán 14 boquillas.

DIAG. 4 ZONA B DE MITIGACIÓN.



1,2,3 Y 4 En cada uno de los lados con esta numeración, tendrán 14 boquillas.

5,6,7 Y 8 En cada uno de los lados con esta numeración, tendrán 8 boquillas.

ANEXO C

DATOS DE ENTRADA Y RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE MITIGACIÓN.

JUNC NAME=Y
\$
\$ LINKS FROM SOURCES
\$
LINK NAME=Z-A, F=Z, T=A
PIPE NAME=Z-A, LENGTH(FT)=10.164, ID(IN)=4
LINK NAME=Z1-G, F=Z1, T=G
PIPE NAME=Z1-G, LENGTH(FT)=10.164, ID(IN)=4

\$
\$ LINKS TO SINKS
\$
LINK NAME=A-N1, F=A, TO=N1
PIPE NAME=A-N1, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25
LINK NAME=B-N2, F=B, T=N2
PIPE NAME=B-N2, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25
LINK NAME=C-N3, F=C, T=N3
PIPE NAME=C-N3, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25
LINK NAME=D-N4, F=D, T=N4
PIPE NAME=D-N4, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25
LINK NAME=E-N5, F=E, T=N5
PIPE NAME=E-N5, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25
LINK NAME=F-N6, F=F, T=N6
PIPE NAME=F-N6, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25
LINK NAME=G-N7, F=G, T=N7
PIPE NAME=G-N7, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

\$
LINK NAME=H-N8, F=H, TO=N8
PIPE NAME=H-N8, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25
LINK NAME=I-N9, F=I, T=N9
PIPE NAME=I-N9, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25
LINK NAME=J-N10, F=J, T=N10
PIPE NAME=J-N10, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25
LINK NAME=K-N11, F=K, T=N11
PIPE NAME=K-N11, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25
LINK NAME=L-N12, F=L, T=N12
PIPE NAME=L-N12, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25
LINK NAME=M-N13, F=M, T=N13
PIPE NAME=M-N13, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25
LINK NAME=N-N14, F=N, T=N14
PIPE NAME=N-N14, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

\$
\$ INTERMEDIATE LINKS
\$
LINK NAME=A-B, F=A, T=B
PIPE NAME=A-B, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2
LINK NAME=B-C, F=B, T=C
PIPE NAME=B-C, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2
LINK NAME=C-D, F=C, T=D
PIPE NAME=C-D, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

\$
LINK NAME=G-F, F=G, T=F
PIPE NAME=G-F, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2
LINK NAME=F-E, F=F, T=E
PIPE NAME=F-E, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2
LINK NAME=E-D, F=E, T=D
PIPE NAME=E-D, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

\$
LINK NAME=Z-W, F=Z, T=W
PIPE NAME=Z-W, LENGTH(FT)=18.036, ID(IN)=4
LINK NAME=Z1-Y, F=Z1, T=Y

PIPE NAME=Z1-Y, LENGTH(FT)=18.036, ID(IN)=4

\$

LINK NAME=W-N, F=W,T=N

PIPE NAME=W-N, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

LINK NAME=W-I, F=W,T=I

PIPE NAME=W-I, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

LINK NAME=I-J, F=I,T=J

PIPE NAME=I-J, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

LINK NAME=J-K, F=J,T=K

PIPE NAME=J-K, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

\$

LINK NAME=Y-N, F=Y,T=N

PIPE NAME=Y-N, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

LINK NAME=N-M, F=N,T=M

PIPE NAME=N-M, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

LINK NAME=M-L, F=M,T=L

PIPE NAME=M-L, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

LINK NAME=L-K, F=L,T=K

PIPE NAME=L-K, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

\$

END

END OF PRE-PROCESSING -- NO ERRORS
-- NO WARNINGS

PAGE CONTENTS

1 INTERMEDIATE PRINTOUT

CONVERGENCE TOLERANCE 0.0 PSI PRESSURE IMBALANCE AT SELECTED NODES
(RMS VALUE USED FOR STEP-SIZE SELECTION)

ITERATION NUMBER 0.0
MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.795 PSI AT NODE M
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.658 PSI

ITERATION NUMBER 1.0
MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.084 PSI AT NODE D
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.061 PSI

ITERATION NUMBER 2.0
MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.006 PSI AT NODE K
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.005 PSI

ITERATION NUMBER 3.0
MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.002 PSI AT NODE K
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.001 PSI

ITERATION NUMBER 4.0
MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.000 PSI AT NODE K
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.000 PSI

ITERATION NUMBER 5.0

MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.000 PSI AT NODE K
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.000 PSI

ITERATION NUMBER 6.0
MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.000 PSI AT NODE K
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.000 PSI

PBAL SOLUTION CONVERGED AFTER 7 ITERATIONS

CONVERGENCE TOLERANCE 0.0 PSI PRESSURE IMBALANCE AT SELECTED NODES
(RMS VALUE USED FOR STEP-SIZE SELECTION)

ITERATION NUMBER 0.0
MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.795 PSI AT NODE M
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.658 PSI

ITERATION NUMBER 1.0
MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.084 PSI AT NODE D
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.061 PSI

ITERATION NUMBER 2.0
MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.006 PSI AT NODE K
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.005 PSI

ITERATION NUMBER 3.0
MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.002 PSI AT NODE K
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.001 PSI

ITERATION NUMBER 4.0
MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.000 PSI AT NODE K
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.000 PSI

ITERATION NUMBER 5.0
MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.000 PSI AT NODE K
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.000 PSI

ITERATION NUMBER 6.0
MAX PRESSURE IMBALANCE = 0.000 PSI AT NODE K
RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 0.000 PSI

***** PROBLEM SOLUTION REACHED *****

BASE CASE

LINK SUMMARY

RATE, PRESSURE AND TEMPERATURE SUMMARY

FROM(F) AND TO(T)		----ACTUAL FLOW RATES----			PRESS:			----HOLDUP*---	
LINK	MODE	GAS (MMCFHR)	OIL (GPM)	WATER (GPM)	PRESS: (PSIA)	DROP (PSIA)	TEMP: (F)	GAS (MM SCF)	LIQ (SCF)
A-B	A (F)	0.00000	0.000	42.492	185.5		68.0		
	B (T)	0.00000	0.000	42.492	185.4	6.86E-2	68.0	0.0000	8.59E-2
A-N1	A (F)	0.00000	0.000	16.997	185.5		68.0		
	N1 (T)	0.00000	0.000	16.998	155.0	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
B-C	B (F)	0.00000	0.000	25.495	185.4		68.0		
	C (T)	0.00000	0.000	25.495	185.4	2.66E-2	68.0	0.0000	8.59E-2
B-N2	B (F)	0.00000	0.000	16.997	185.4		68.0		
	N2 (T)	0.00000	0.000	16.998	154.9	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
C-D	C (F)	0.00000	0.000	8.498	185.4		68.0		
	D (T)	0.00000	0.000	8.498	185.4	3.63E-3	68.0	0.0000	8.59E-2
C-N3	C (F)	0.00000	0.000	16.997	185.4		68.0		
	N3 (T)	0.00000	0.000	16.998	154.9	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
D-N4	D (F)	0.00000	0.000	16.997	185.4		68.0		
	N4 (T)	0.00000	0.000	16.998	154.9	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
E-D	E (F)	0.00000	0.000	8.498	185.4		68.0		
	D (T)	0.00000	0.000	8.498	185.4	3.63E-3	68.0	0.0000	8.59E-2
E-N5	E (F)	0.00000	0.000	16.997	185.4		68.0		
	N5 (T)	0.00000	0.000	16.998	154.9	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
F-E	F (F)	0.00000	0.000	25.495	185.4		68.0		
	E (T)	0.00000	0.000	25.495	185.4	2.66E-2	68.0	0.0000	8.59E-2
F-N6	F (F)	0.00000	0.000	16.997	185.4		68.0		
	N6 (T)	0.00000	0.000	16.998	154.9	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
G-F	G (F)	0.00000	0.000	42.492	185.5		68.0		
	F (T)	0.00000	0.000	42.492	185.4	6.86E-2	68.0	0.0000	8.59E-2
G-N7	G (F)	0.00000	0.000	16.997	185.5		68.0		
	N7 (T)	0.00000	0.000	16.998	155.0	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
H-I	H (F)	0.00000	0.000	42.490	185.4		68.0		
	I (T)	0.00000	0.000	42.490	185.3	6.86E-2	68.0	0.0000	8.59E-2
H-N8	H (F)	0.00000	0.000	16.997	185.4		68.0		
	N8 (T)	0.00000	0.000	16.998	154.8	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
I-J	I (F)	0.00000	0.000	25.493	185.3		68.0		
	J (T)	0.00000	0.000	25.493	185.3	2.66E-2	68.0	0.0000	8.59E-2
I-N9	I (F)	0.00000	0.000	16.997	185.3		68.0		
	N9 (T)	0.00000	0.000	16.998	154.7	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
J-K	J (F)	0.00000	0.000	8.496	185.3		68.0		
	K (T)	0.00000	0.000	8.496	185.3	3.63E-3	68.0	0.0000	8.59E-2
JN10	J (F)	0.00000	0.000	16.997	185.3		68.0		
	N10 (T)	0.00000	0.000	16.998	154.7	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
KN11	K (F)	0.00000	0.000	16.997	185.3		68.0		
	N11 (T)	0.00000	0.000	16.998	154.7	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
L-K	L (F)	0.00000	0.000	8.501	185.3		68.0		
	K (T)	0.00000	0.000	8.501	185.3	3.60E-3	68.0	0.0000	8.59E-2
LN12	L (F)	0.00000	0.000	16.997	185.3		68.0		
	N12 (T)	0.00000	0.000	16.998	154.7	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
M-L	M (F)	0.00000	0.000	25.497	185.3		68.0		
	L (T)	0.00000	0.000	25.497	185.3	2.66E-2	68.0	0.0000	8.59E-2
MN13	M (F)	0.00000	0.000	16.997	185.3		68.0		
	N13 (T)	0.00000	0.000	16.998	154.7	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5

N-M	N	(F)	0.00000	0.000	42.494	185.4		68.0	
	M	(T)	0.00000	0.000	42.494	185.3	6.86E-2	68.0	0.0000 8.59E-2
NW14	N	(F)	0.00000	0.000	16.997	185.4		68.0	
	N14	(T)	0.00000	0.000	16.998	154.8	30.5	68.0	0.0000 7.60E-5
W-H	W	(F)	0.00000	0.000	59.486	185.5		68.0	
	H	(T)	0.00000	0.000	59.486	185.4	0.1	68.0	0.0000 8.59E-2
Y-H	Y	(F)	0.00000	0.000	59.491	185.5		68.0	
	H	(T)	0.00000	0.000	59.491	185.4	0.1	68.0	0.0000 8.59E-2
Z-A	Z	(F)	0.00000	0.000	59.488	185.5*		68.0	
	A	(T)	0.00000	0.000	59.488	185.5	1.08E-2	68.0	0.0000 8.87E-1
Z-W	Z	(F)	0.00000	0.000	59.486	185.5*		68.0	
	W	(T)	0.00000	0.000	59.486	185.5	1.91E-2	68.0	0.0000 2.
Z1-G	Z1	(F)	0.00000	0.000	59.489	185.5*		68.0	
	G	(T)	0.00000	0.000	59.489	185.5	1.08E-2	68.0	0.0000 8.87E-1
Z1-Y	Z1	(F)	0.00000	0.000	59.489	185.5*		68.0	
	Y	(T)	0.00000	0.000	59.489	185.5	1.91E-2	68.0	0.0000 2.

* - INDICATES KNOWN PRESSURE

** REPORTED VOLUME AT 14.7 PSIA AND 60 F

*** RATE REPORTED AT ACTUAL TEMPERATURE AND PRESSURE CONDITIONS

BASE CASE

NODE SUMMARY

---STANDARD FLOW RATES ---**

NODE	PRES. (PSIA)	GAS (MWCFLR)	OIL (GPM)	WATER (GPM)	TEMP. (F)
A	185.5	0.00000	0.000	0.000*	68.0
B	185.4	0.00000	0.000	0.000*	68.0
C	185.4	0.00000	0.000	0.000*	68.0
D	185.4	0.00000	0.000	0.000*	68.0
E	185.4	0.00000	0.000	0.000*	68.0
F	185.4	0.00000	0.000	0.000*	68.0
G	185.5	0.00000	0.000	0.000*	68.0
H	185.4	0.00000	0.000	0.000*	68.0
I	185.3	0.00000	0.000	0.000*	68.0
J	185.3	0.00000	0.000	0.000*	68.0
K	185.3	0.00000	0.000	0.000*	68.0
L	185.3	0.00000	0.000	0.000*	68.0
M	185.3	0.00000	0.000	0.000*	68.0
N	185.4	0.00000	0.000	0.000*	68.0
W	185.5	0.00000	0.000	0.000*	68.0
Y	185.5	0.00000	0.000	0.000*	68.0
Z	185.5*	0.00000	0.000	118.998	68.0
Z1	185.5*	0.00000	0.000	119.003	68.0
N1	155.0	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N2	154.9	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N3	154.9	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N4	154.9	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N5	154.9	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N6	154.9	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N7	155.0	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N8	154.8	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N9	154.7	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N10	154.7	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N11	154.7	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N12	154.7	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N13	154.7	0.00000	0.000	-17.000*	68.0

* INDICATES KNOWN PRESSURE OR FLOW

** STANDARD FLOW RATES REPORTED AT 14.7 PSIA AND 60 F

BASE CASE

DEVICE SUMMARY

LINK NAME	DEVI NAME	DEVI TYPE	R	INSIDE DIAM (IN)	MEAS LENGTH (FT)	ELEV CHNG (FT)	----- OUTLET -----		AVG. INSTITU LGR HOLDUP
							PRESS: (PSIA)	TEMP: (F)	
A-B	**JUNCTION**						RATE= 42.500 (GPM)	185.5	68.0
	A							185.5	68.0
	A-B PIPE DW			2.000	3.9	0.0		185.4	68.0
	JUNCTION						PRES= 185.4 (PSIA)	TEMP= 68.0 (F)	
A-N1	**JUNCTION**						RATE= 17.000 (GPM)	185.5	68.0
	A							185.5	68.0
	A-N1 PIPE DW			0.250	0.2	0.0		155.0	68.0
	*** SINK ***						PRES= 155.0 (PSIA)	TEMP= 68.0 (F)	
B-C	**JUNCTION**						RATE= 25.500 (GPM)	185.4	68.0
	B							185.4	68.0
	B-C PIPE DW			2.000	3.9	0.0		185.4	68.0
	JUNCTION						PRES= 185.4 (PSIA)	TEMP= 68.0 (F)	
B-N2	**JUNCTION**						RATE= 17.000 (GPM)	185.4	68.0
	B							185.4	68.0
	B-N2 PIPE DW			0.250	0.2	0.0		154.9	68.0
	*** SINK ***						PRES= 154.9 (PSIA)	TEMP= 68.0 (F)	
C-D	**JUNCTION**						RATE= 8.500 (GPM)	185.4	68.0
	C							185.4	68.0
	C-D PIPE DW			2.000	3.9	0.0		185.4	68.0
	JUNCTION						PRES= 185.4 (PSIA)	TEMP= 68.0 (F)	
C-N3	**JUNCTION**						RATE= 17.000 (GPM)	185.4	68.0
	C							185.4	68.0
	C-N3 PIPE DW			0.250	0.2	0.0		154.9	68.0
	*** SINK ***						PRES= 154.9 (PSIA)	TEMP= 68.0 (F)	
D-N4	**JUNCTION**						RATE= 17.000 (GPM)	185.4	68.0
	D							185.4	68.0
	D-N4 PIPE DW			0.250	0.2	0.0		154.9	68.0
	*** SINK ***						PRES= 154.9 (PSIA)	TEMP= 68.0 (F)	
E-D	**JUNCTION**						RATE= 8.500 (GPM)	185.4	68.0
	E							185.4	68.0
	E-D PIPE DW			2.000	3.9	0.0		185.4	68.0
	JUNCTION						PRES= 185.4 (PSIA)	TEMP= 68.0 (F)	
E-N5	**JUNCTION**						RATE= 17.000 (GPM)	185.4	68.0
	E							185.4	68.0
	E-N5 PIPE DW			0.250	0.2	0.0		154.9	68.0
	*** SINK ***						PRES= 154.9 (PSIA)	TEMP= 68.0 (F)	

F-E	**JUNCTION**	RATE=	25.500 (GPM)		185.4	68.0
F					185.4	68.0
F-E	PIPE DW	2.000	3.9	0.0	185.4	68.0
	JUNCTION	PRES=	185.4 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
F-N6	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		185.4	68.0
F					185.4	68.0
F-N6	PIPE DW	0.250	0.2	0.0	154.9	68.0
	*** SINK ***	PRES=	154.9 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
G-F	**JUNCTION**	RATE=	42.500 (GPM)		185.5	68.0
G					185.5	68.0
G-F	PIPE DW	2.000	3.9	0.0	185.4	68.0
	JUNCTION	PRES=	185.4 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
G-N7	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		185.5	68.0
G					185.5	68.0
G-N7	PIPE DW	0.250	0.2	0.0	155.0	68.0
	*** SINK ***	PRES=	155.0 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
H-I	**JUNCTION**	RATE=	42.498 (GPM)		185.4	68.0
H					185.4	68.0
H-I	PIPE DW	2.000	3.9	0.0	185.3	68.0
	JUNCTION	PRES=	185.3 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
H-N8	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		185.4	68.0
H					185.4	68.0
H-N8	PIPE DW	0.250	0.2	0.0	154.8	68.0
	*** SINK ***	PRES=	154.8 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
I-J	**JUNCTION**	RATE=	25.498 (GPM)		185.3	68.0
I					185.3	68.0
I-J	PIPE DW	2.000	3.9	0.0	185.3	68.0
	JUNCTION	PRES=	185.3 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
I-N9	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		185.3	68.0
I					185.3	68.0
I-N9	PIPE DW	0.250	0.2	0.0	154.7	68.0
	*** SINK ***	PRES=	154.7 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
J-K	**JUNCTION**	RATE=	8.498 (GPM)		185.3	68.0
J					185.3	68.0
J-K	PIPE DW	2.000	3.9	0.0	185.3	68.0
	JUNCTION	PRES=	185.3 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
JN10	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		185.3	68.0
J					185.3	68.0
JN10	PIPE DW	0.250	0.2	0.0	154.7	68.0
	*** SINK ***	PRES=	154.7 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
KN11	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		185.3	68.0
K					185.3	68.0
KN11	PIPE DW	0.250	0.2	0.0	154.7	68.0
	*** SINK ***	PRES=	154.7 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
L-K	**JUNCTION**	RATE=	8.502 (GPM)		185.3	68.0
L					185.3	68.0
L-K	PIPE DW	2.000	3.9	0.0	185.3	68.0
	JUNCTION	PRES=	185.3 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
LN12	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		185.3	68.0
L					185.3	68.0

LN12 PIPE DW 0.250 0.2 0.0 154.7 68.0
 *** SINK *** PRES= 154.7 (PSIA) TEMP= 68.0 (F)

M-L **JUNCTION** RATE= 25.502 (GPM) 185.3 68.0
 M 185.3 68.0
 M-L PIPE DW 2.000 3.9 0.0 185.3 68.0
 JUNCTION PRES= 185.3 (PSIA) TEMP= 68.0 (F)

MN13 **JUNCTION** RATE= 17.000 (GPM) 185.3 68.0
 M 185.3 68.0
 MN13 PIPE DW 0.250 0.2 0.0 154.7 68.0
 *** SINK *** PRES= 154.7 (PSIA) TEMP= 68.0 (F)

M-N **JUNCTION** RATE= 42.503 (GPM) 185.4 68.0
 N 185.4 68.0
 M-N PIPE DW 2.000 3.9 0.0 185.3 68.0
 JUNCTION PRES= 185.3 (PSIA) TEMP= 68.0 (F)

MN14 **JUNCTION** RATE= 17.000 (GPM) 185.4 68.0
 N 185.4 68.0
 MN14 PIPE DW 0.250 0.2 0.0 154.8 68.0
 *** SINK *** PRES= 154.8 (PSIA) TEMP= 68.0 (F)

W-H **JUNCTION** RATE= 59.498 (GPM) 185.5 68.0
 W 185.5 68.0
 W-H PIPE DW 2.000 3.9 0.0 185.4 68.0
 JUNCTION PRES= 185.4 (PSIA) TEMP= 68.0 (F)

Y-N **JUNCTION** RATE= 59.503 (GPM) 185.5 68.0
 Y 185.5 68.0
 Y-N PIPE DW 2.000 3.9 0.0 185.4 68.0
 JUNCTION PRES= 185.4 (PSIA) TEMP= 68.0 (F)

Z-A ***SOURCE*** RATE= 59.500 (GPM) 185.5 68.0
 Z 185.5 68.0
 Z-A PIPE DW 4.000 10.2 0.0 185.5 68.0
 JUNCTION PRES= 185.5 (PSIA) TEMP= 68.0 (F)

Z-W ***SOURCE*** RATE= 59.498 (GPM) 185.5 68.0
 Z 185.5 68.0
 Z-W PIPE DW 4.000 18.0 0.0 185.5 68.0
 JUNCTION PRES= 185.5 (PSIA) TEMP= 68.0 (F)

Z1-G ***SOURCE*** RATE= 59.500 (GPM) 185.5 68.0
 Z1 185.5 68.0
 Z1-G PIPE DW 4.000 10.2 0.0 185.5 68.0
 JUNCTION PRES= 185.5 (PSIA) TEMP= 68.0 (F)

Z1-Y ***SOURCE*** RATE= 59.501 (GPM) 185.5 68.0
 Z1 185.5 68.0
 Z1-Y PIPE DW 4.000 18.0 0.0 185.5 68.0
 JUNCTION PRES= 185.5 (PSIA) TEMP= 68.0 (F)

```
*****
*****
***** INPLANT *****
*****
***** CORRIDA PARA LA ZONA B *****
TITLE PROJECT=FB-8429,PROBLEM=RED DE AGUA,USER=JANCH,DATE=14/10/94
DESC ARCHIVO DE DATOS PARA LA RED DE AGUA SIS. MITIGACION
DESC EN LA PLANTA DE ALQUILACION QUE UTILIZA ACIDO FLUORHIDRICO
DIMEN ENGLISH,TEMP=F,PRES=PSIA,RATE(LV)=GPM,LENGTH=FT,IN,DENS=LBF/3
CALC NETWORK,LIQUID,ISOTHERMAL
PRINT DEVICE=SUMM,INPUT=NONE,CONNECT=NONE,PLOT=NONE
$
PVT PROPERTY DATA
SET SETNO=1,GRAV(WATER,SPGR)=1.001
$
METHODS DATA
SOLUTION FLOWALOC=2, NOFR
TOLER PRES=0.001
$
STRUCTURE DATA
$
$ ALL SOURCES
$
SOURCE NAME=Z, PRES=187, RATE(ESTI,GPM)=119 ,SETNO=1,TEMP=68
SOURCE NAME=Z1, PRES=184, RATE(ESTI,GPM)=119, SETNO=1, TEMP=68
$
$ ALL SINKS
$
SINK NAME=N1,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
SINK NAME=N2,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
SINK NAME=N3,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
SINK NAME=N4,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
SINK NAME=N5,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
SINK NAME=N6,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
SINK NAME=N7,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
$
SINK NAME=N8,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
SINK NAME=N9,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
SINK NAME=N10,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
SINK NAME=N11,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
SINK NAME=N12,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
SINK NAME=N13,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
SINK NAME=N14,PRES(ESTI,PSIA)=117.35,RATE=17
$
$ ALL JUNCTIONS
$
JUNC NAME=A
JUNC NAME=B
JUNC NAME=C
JUNC NAME=D
JUNC NAME=E
JUNC NAME=F
JUNC NAME=G
$
JUNC NAME=H
JUNC NAME=I
JUNC NAME=J
JUNC NAME=K
JUNC NAME=L
JUNC NAME=M
JUNC NAME=N
JUNC NAME=W
```

JUNC NAME=Y

\$

\$ LINKS FROM SOURCES

\$

LINK NAME=Z-A, F=Z, T=A

PIPE NAME=Z-A, LENGTH(FT)=10.164, ID(IN)=4

LINK NAME=Z1-G, F=Z1, T=G

PIPE NAME=Z1-G, LENGTH(FT)=10.164, ID(IN)=4

\$

\$ LINKS TO SINKS

\$

LINK NAME=A-N1, F=A, TO=N1

PIPE NAME=A-N1, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

LINK NAME=B-N2, F=B, T=N2

PIPE NAME=B-N2, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

LINK NAME=C-N3, F=C, T=N3

PIPE NAME=C-N3, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

LINK NAME=D-N4, F=D, T=N4

PIPE NAME=D-N4, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

LINK NAME=E-N5, F=E, T=N5

PIPE NAME=E-N5, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

LINK NAME=F-N6, F=F, T=N6

PIPE NAME=F-N6, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

LINK NAME=G-N7, F=G, T=N7

PIPE NAME=G-N7, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

\$

LINK NAME=H-N8, F=H, TO=N8

PIPE NAME=H-N8, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

LINK NAME=I-N9, F=I, T=N9

PIPE NAME=I-N9, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

LINK NAME=J-N10, F=J, T=N10

PIPE NAME=J-N10, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

LINK NAME=K-N11, F=K, T=N11

PIPE NAME=K-N11, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

LINK NAME=L-N12, F=L, T=N12

PIPE NAME=L-N12, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

LINK NAME=M-N13, F=M, T=N13

PIPE NAME=M-N13, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

LINK NAME=N-N14, F=N, T=N14

PIPE NAME=N-N14, LENGTH(FT)=0.223, ID(IN)=0.25

\$

\$ INTERMEDIATE LINKS

\$

LINK NAME=A-B, F=A, T=B

PIPE NAME=A-B, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

LINK NAME=B-C, F=B, T=C

PIPE NAME=B-C, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

LINK NAME=C-D, F=C, T=D

PIPE NAME=C-D, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

\$

LINK NAME=G-F, F=G, T=F

PIPE NAME=G-F, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

LINK NAME=F-E, F=F, T=E

PIPE NAME=F-E, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

LINK NAME=E-D, F=E, T=D

PIPE NAME=E-D, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

\$

LINK NAME=Z-W, F=Z, T=W

PIPE NAME=Z-W, LENGTH(FT)=7.873, ID(IN)=4, ECHG=7.873

LINK NAME=Z1-Y, F=Z1, T=Y

PIPE NAME=Z1-Y, LENGTH(FT)=7.873, ID(IN)=4, ECHG=7.873

\$
 LINK NAME=W-H, F=W,T=H
 PIPE NAME=W-H, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2
 LINK NAME=H-I, F=H,T=I
 PIPE NAME=H-I, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2
 LINK NAME=I-J, F=I,T=J
 PIPE NAME=I-J, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2
 LINK NAME=J-K, F=J,T=K
 PIPE NAME=J-K, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

\$
 LINK NAME=Y-N, F=Y,T=N
 PIPE NAME=Y-N, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2
 LINK NAME=N-M, F=N,T=M
 PIPE NAME=N-M, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2
 LINK NAME=M-L, F=M,T=L
 PIPE NAME=M-L, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2
 LINK NAME=L-K, F=L,T=K
 PIPE NAME=L-K, LENGTH(FT)=3.937, ID(IN)=2

\$
 END

END OF PRE-PROCESSING -- NO ERRORS
 -- NO WARNINGS

PAGE CONTENTS

 1 INTERMEDIATE PRINTOUT

CONVERGENCE TOLERANCE 0.0 PSI PRESSURE IMBALANCE AT SELECTED NODES
 (RMS VALUE USED FOR STEP-SIZE SELECTION)

LINK	FLOW RATE BBL/DAY	MINIMUM RATE BBL/DAY	MAXIMUM RATE BBL/DAY	MAX. VELOCITY F/S
Z1-G	1805.701	0.000	9999999.000	2.176
Z1-Y	683.866	0.000	9999999.000	0.824

 PBAL SOLUTION CONVERGED AFTER 2 ITERATIONS

CONVERGENCE TOLERANCE 0.0 PSI PRESSURE IMBALANCE AT SELECTED NODES
 (RMS VALUE USED FOR STEP-SIZE SELECTION)

ITERATION NUMBER 0.0
 MAX PRESSURE IMBALANCE = 3.344 PSI AT NODE B
 RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 2.927 PSI

ITERATION NUMBER 1.0
 ** WARNING ** INTERVAL HALVING TO AVOID FLOW REVERSAL IN LINK B-C
 MAX PRESSURE IMBALANCE = 3.328 PSI AT NODE B
 RMS AVERAGE PRESSURE IMBALANCE = 2.914 PSI

ITERATION NUMBER 2.0

 PBAL SOLUTION CONVERGED AFTER 2 ITERATIONS

***** PROBLEM SOLUTION REACHED *****

BASE CASE

LINK SUMMARY

RATE, PRESSURE AND TEMPERATURE SUMMARY

FROM(F) AND TO(T)		----ACTUAL FLOW RATES----			PRESS:		----HOLDUP-----		
LINK	MODE	GAS (MMCFHR)	OIL (GPM)	WATER (GPM)	PRESS: (PSIA)	DROP (PSIA)	TEMP: (F)	GAS (MM SCF)	LIQ (SCF)
A-B	A (F)	0.00000	0.000	49.324	187.0		68.0		
B	(T)	0.00000	0.000	49.325	183.7	3.3	68.0	0.0000	8.59E-2
A-N1	A (F)	0.00000	0.000	16.997	187.0		68.0		
N1	(T)	0.00000	0.000	16.998	156.5	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
B-C	B (F)	0.00000	0.000	32.328	183.7		68.0		
C	(T)	0.00000	0.000	32.328	183.7	-1.5E-5	68.0	0.0000	8.59E-2
B-N2	B (F)	0.00000	0.000	16.997	183.7		68.0		
N2	(T)	0.00000	0.000	16.998	153.1	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
C-D	C (F)	0.00000	0.000	15.331	183.7		68.0		
D	(T)	0.00000	0.000	15.331	183.7	-1.3E-2	68.0	0.0000	8.59E-2
C-N3	C (F)	0.00000	0.000	16.997	183.7		68.0		
N3	(T)	0.00000	0.000	16.998	153.1	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
D-N4	D (F)	0.00000	0.000	16.997	183.7		68.0		
N4	(T)	0.00000	0.000	16.998	153.1	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
E-D	E (F)	0.00000	0.000	1.666	183.7		68.0		
D	(T)	0.00000	0.000	1.666	183.7	4.58E-2	68.0	0.0000	8.59E-2
E-N5	E (F)	0.00000	0.000	16.997	183.7		68.0		
N5	(T)	0.00000	0.000	16.998	153.2	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
F-E	F (F)	0.00000	0.000	18.663	183.8		68.0		
E	(T)	0.00000	0.000	18.663	183.7	9.74E-2	68.0	0.0000	8.59E-2
F-N6	F (F)	0.00000	0.000	16.997	183.8		68.0		
N6	(T)	0.00000	0.000	16.998	153.3	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
G-F	G (F)	0.00000	0.000	35.659	184.0		68.0		
F	(T)	0.00000	0.000	35.659	183.8	0.2	68.0	0.0000	8.59E-2
G-N7	G (F)	0.00000	0.000	16.997	184.0		68.0		
N7	(T)	0.00000	0.000	16.998	153.4	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
H-I	H (F)	0.00000	0.000	82.039	183.3		68.0		
I	(T)	0.00000	0.000	82.039	183.1	0.2	68.0	0.0000	8.59E-2
H-N8	H (F)	0.00000	0.000	16.997	183.3		68.0		
N8	(T)	0.00000	0.000	16.998	152.8	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
I-J	I (F)	0.00000	0.000	65.042	183.1		68.0		
J	(T)	0.00000	0.000	65.042	183.0	0.1	68.0	0.0000	8.59E-2
I-N9	I (F)	0.00000	0.000	16.997	183.1		68.0		
N9	(T)	0.00000	0.000	16.998	152.6	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
J-K	J (F)	0.00000	0.000	48.045	183.0		68.0		
K	(T)	0.00000	0.000	48.045	183.0	4.96E-2	68.0	0.0000	8.59E-2
J-N10	J (F)	0.00000	0.000	16.997	183.0		68.0		
N10	(T)	0.00000	0.000	16.998	152.5	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
K-N11	K (F)	0.00000	0.000	16.997	183.0		68.0		

N11	(T)	0.00000	0.000	16.998	152.4	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
L-K	K	(F)	0.00000	0.000	-31.048	183.0		68.0	
L	(T)	0.00000	0.000	-31.048	183.0	-1.5E-2	68.0	0.0000	8.59E-2
LN12	L	(F)	0.00000	0.000	16.997	183.0		68.0	
N12	(T)	0.00000	0.000	16.998	152.4	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
N-L	L	(F)	0.00000	0.000	-14.051	183.0		68.0	
N	(T)	0.00000	0.000	-14.051	183.0	-1.2E-4	68.0	0.0000	8.59E-2
NN13	N	(F)	0.00000	0.000	16.997	183.0		68.0	
N13	(T)	0.00000	0.000	16.998	152.4	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
N-N	N	(F)	0.00000	0.000	2.945	180.5		68.0	
M	(T)	0.00000	0.000	2.945	183.0	-2.4	68.0	0.0000	8.59E-2
NN14	N	(F)	0.00000	0.000	16.997	180.5		68.0	
N14	(T)	0.00000	0.000	16.999	150.0	30.5	68.0	0.0000	7.60E-5
W-N	W	(F)	0.00000	0.000	99.035	183.6		68.0	
H	(T)	0.00000	0.000	99.036	183.3	0.3	68.0	0.0000	8.59E-2
Y-W	Y	(F)	0.00000	0.000	19.942	180.6		68.0	
N	(T)	0.00000	0.000	19.942	180.5	4.11E-2	68.0	0.0000	8.59E-2
Z-A	Z	(F)	0.00000	0.000	66.321	187.0*		68.0	
A	(T)	0.00000	0.000	66.321	187.0	3.08E-3	68.0	0.0000	8.87E-1
Z-W	Z	(F)	0.00000	0.000	99.034	187.0*		68.0	
W	(T)	0.00000	0.000	99.035	183.6	3.4	68.0	0.0000	6.87E-1
Z1-G	Z1	(F)	0.00000	0.000	52.656	184.0*		68.0	
G	(T)	0.00000	0.000	52.656	184.0	2.08E-2	68.0	0.0000	8.87E-1
Z1-Y	Z1	(F)	0.00000	0.000	19.942	184.0*		68.0	
Y	(T)	0.00000	0.000	19.942	180.6	3.4	68.0	0.0000	6.87E-1

BASE CASE

NODE SUMMARY

---STANDARD FLOW RATES ---**

NODE	PRES. (PSIA)	GAS (MMCFHR)	OIL (GPH)	WATER (GPM)	TEMP. (F)
A	187.0	0.00000	0.000	0.000*	68.0
B	183.7	0.00000	0.000	0.000*	68.0
C	183.7	0.00000	0.000	0.000*	68.0
D	183.7	0.00000	0.000	0.000*	68.0
E	183.7	0.00000	0.000	0.000*	68.0
F	183.8	0.00000	0.000	0.000*	68.0
G	184.0	0.00000	0.000	0.000*	68.0
H	183.3	0.00000	0.000	0.000*	68.0
I	183.1	0.00000	0.000	0.000*	68.0
J	183.0	0.00000	0.000	0.000*	68.0
K	183.0	0.00000	0.000	0.000*	68.0
L	183.0	0.00000	0.000	0.000*	68.0
M	183.0	0.00000	0.000	0.000*	68.0
N	180.5	0.00000	0.000	0.000*	68.0
W	183.6	0.00000	0.000	0.000*	68.0
Y	180.6	0.00000	0.000	0.000*	68.0
Z	187.0*	0.00000	0.000	165.389	68.0
Z1	184.0*	0.00000	0.000	72.612	68.0
N1	156.5	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N2	153.1	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N3	153.1	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N4	153.1	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N5	153.2	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N6	153.3	0.00000	0.000	-17.000*	68.0

N7	153.4	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N8	152.8	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N9	152.6	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N10	152.5	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N11	152.4	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N12	152.4	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N13	152.4	0.00000	0.000	-17.000*	68.0
N14	150.0	0.00000	0.000	-17.000*	68.0

BASE CASE

DEVICE SUMMARY

LINK NAME	DEVI NAME	DEVI TYPE	R	INSIDE DIAM (IN)	NEAS LENGTH (FT)	ELEV CHNG (FT)	----- OUTLET -----		AVG. LIT
							PRESS: (PSIA)	TEMP: (F)	
A-B	**JUNCTION**		RATE=	49.334 (GPM)			187.0	68.0	
	A						187.0	68.0	
	A-B PIPE DW			2.000	3.9	0.0	186.9	68.0	
	JUNCTION		PRES=	183.7 (PSIA)			TEMP=	68.0 (F)	
A-N1	**JUNCTION**		RATE=	17.000 (GPM)			187.0	68.0	
	A						187.0	68.0	
	A-N1 PIPE DW			0.250	0.2	0.0	156.5	68.0	
	*** SINK ***		PRES=	156.5 (PSIA)			TEMP=	68.0 (F)	
B-C	**JUNCTION**		RATE=	32.334 (GPM)			183.7	68.0	
	B						183.7	68.0	
	B-C PIPE DW			2.000	3.9	0.0	183.6	68.0	
	JUNCTION		PRES=	183.7 (PSIA)			TEMP=	68.0 (F)	
B-N2	**JUNCTION**		RATE=	17.000 (GPM)			183.7	68.0	
	B						183.7	68.0	
	B-N2 PIPE DW			0.250	0.2	0.0	153.1	68.0	
	*** SINK ***		PRES=	153.1 (PSIA)			TEMP=	68.0 (F)	
C-D	**JUNCTION**		RATE=	15.334 (GPM)			183.7	68.0	
	C						183.7	68.0	
	C-D PIPE DW			2.000	3.9	0.0	183.6	68.0	
	JUNCTION		PRES=	183.7 (PSIA)			TEMP=	68.0 (F)	
C-N3	**JUNCTION**		RATE=	17.000 (GPM)			183.7	68.0	
	C						183.7	68.0	
	C-N3 PIPE DW			0.250	0.2	0.0	153.1	68.0	
	*** SINK ***		PRES=	153.1 (PSIA)			TEMP=	68.0 (F)	
D-N4	**JUNCTION**		RATE=	17.000 (GPM)			183.7	68.0	
	D						183.7	68.0	
	D-N4 PIPE DW			0.250	0.2	0.0	153.1	68.0	
	*** SINK ***		PRES=	153.1 (PSIA)			TEMP=	68.0 (F)	
E-D	**JUNCTION**		RATE=	1.666 (GPM)			183.7	68.0	
	E						183.7	68.0	
	E-D PIPE DW			2.000	3.9	0.0	183.7	68.0	
	JUNCTION		PRES=	183.7 (PSIA)			TEMP=	68.0 (F)	

E-N5	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		183.7	68.0
E					183.7	68.0
E-N5 PIPE DW		0.250	0.2	0.0	153.2	68.0
	*** SINK ***	PRES=	153.2 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
F-E	**JUNCTION**	RATE=	18.666 (GPM)		183.8	68.0
F					183.8	68.0
F-E PIPE DW		2.000	3.9	0.0	183.8	68.0
	JUNCTION	PRES=	183.7 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
F-N6	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		183.8	68.0
F					183.8	68.0
F-N6 PIPE DW		0.250	0.2	0.0	153.3	68.0
	*** SINK ***	PRES=	153.3 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
G-F	**JUNCTION**	RATE=	35.666 (GPM)		184.0	68.0
G					184.0	68.0
G-F PIPE DW		2.000	3.9	0.0	183.9	68.0
	JUNCTION	PRES=	183.8 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
G-N7	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		184.0	68.0
G					184.0	68.0
G-N7 PIPE DW		0.250	0.2	0.0	153.4	68.0
	*** SINK ***	PRES=	153.4 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
H-I	**JUNCTION**	RATE=	82.054 (GPM)		183.3	68.0
H					183.3	68.0
H-I PIPE DW		2.000	3.9	0.0	183.1	68.0
	JUNCTION	PRES=	183.1 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
H-N8	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		183.3	68.0
H					183.3	68.0
H-N8 PIPE DW		0.250	0.2	0.0	152.8	68.0
	*** SINK ***	PRES=	152.8 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
I-J	**JUNCTION**	RATE=	65.054 (GPM)		183.1	68.0
I					183.1	68.0
I-J PIPE DW		2.000	3.9	0.0	183.0	68.0
	JUNCTION	PRES=	183.0 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
I-N9	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		183.1	68.0
I					183.1	68.0
I-N9 PIPE DW		0.250	0.2	0.0	152.6	68.0
	*** SINK ***	PRES=	152.6 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
J-K	**JUNCTION**	RATE=	48.054 (GPM)		183.0	68.0
J					183.0	68.0
J-K PIPE DW		2.000	3.9	0.0	182.9	68.0
	JUNCTION	PRES=	183.0 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
JN10	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		183.0	68.0
J					183.0	68.0
JN10 PIPE DW		0.250	0.2	0.0	152.5	68.0
	*** SINK ***	PRES=	152.5 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
KN11	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)		183.0	68.0
K					183.0	68.0
KN11 PIPE DW		0.250	0.2	0.0	152.4	68.0
	*** SINK ***	PRES=	152.4 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
L-K	**JUNCTION**	RATE=	-31.054 (GPM)		183.0	68.0
L					183.0	68.0

L-K PIPE DW	2.000	3.9	0.0	182.9	68.0
JUNCTION	PRES=	183.0 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
LN12	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)	183.0	68.0
L				183.0	68.0
LN12 PIPE DW	0.250	0.2	0.0	152.4	68.0
*** SINK ***	PRES=	152.4 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
M-L	**JUNCTION**	RATE=	-14.054 (GPM)	183.0	68.0
M				183.0	68.0
M-L PIPE DW	2.000	3.9	0.0	183.0	68.0
JUNCTION	PRES=	183.0 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
NN13	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)	183.0	68.0
N				183.0	68.0
NN13 PIPE DW	0.250	0.2	0.0	152.4	68.0
*** SINK ***	PRES=	152.4 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
N-M	**JUNCTION**	RATE=	2.946 (GPM)	180.5	68.0
N				180.5	68.0
N-M PIPE DW	2.000	3.9	0.0	180.5	68.0
JUNCTION	PRES=	183.0 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
NN14	**JUNCTION**	RATE=	17.000 (GPM)	180.5	68.0
N				180.5	68.0
NN14 PIPE DW	0.250	0.2	0.0	150.0	68.0
*** SINK ***	PRES=	150.0 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
W-H	**JUNCTION**	RATE=	99.055 (GPM)	183.6	68.0
W				183.6	68.0
W-H PIPE DW	2.000	3.9	0.0	183.2	68.0
JUNCTION	PRES=	183.3 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
Y-N	**JUNCTION**	RATE=	19.946 (GPM)	180.6	68.0
Y				180.6	68.0
Y-N PIPE DW	2.000	3.9	0.0	180.6	68.0
JUNCTION	PRES=	180.5 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
Z-A	***SOURCE***	RATE=	66.334 (GPM)	187.0	68.0
Z				187.0	68.0
Z-A PIPE DW	4.000	10.2	0.0	187.0	68.0
JUNCTION	PRES=	187.0 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
Z-W	***SOURCE***	RATE=	99.055 (GPM)	187.0	68.0
Z				187.0	68.0
Z-W PIPE DW	4.000	7.9	7.9	183.6	68.0
JUNCTION	PRES=	183.6 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
Z1-G	***SOURCE***	RATE=	52.666 (GPM)	184.0	68.0
Z1				184.0	68.0
Z1-G PIPE DW	4.000	10.2	0.0	184.0	68.0
JUNCTION	PRES=	184.0 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	
Z1-Y	***SOURCE***	RATE=	19.946 (GPM)	184.0	68.0
Z1				184.0	68.0
Z1-Y PIPE DW	4.000	7.9	7.9	180.6	68.0
JUNCTION	PRES=	180.6 (PSIA)	TEMP=	68.0 (F)	

ANEXO D

DATOS PARA BOQUILLAS ESPREADORA DE AGUA, (CATÁLOGO "BETE").

FALLA DE ORIGEN

BETE

NOZZLE

100X



Manual No.104M



180°, 170° Metal



180° Metal



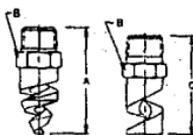
Hollow Cone 50° (N)



Hollow Cone 120° (W)



Hollow Cone 180° (XW)



50°, 120°

180°

TF Hollow Cone Flow Rates and Dimensions

Hollow Cone, 50° (N), 120° (W), and 180° (XW) Spray Angles, 1/4" to 1 1/2" Pipe Sizes, BSP or NPT

Pipe Size	Nozzle Number	Available Spray Angles			LITERS PER MINUTE @ BAR										Approx. (mm)		Dim. (mm) for Metal Only	Wt. (g) Metal Plus
		K	0.5	0.7	1	2	3	5	10	20	30	40	50	60	70	80		
1/4	TF8	50° 120°	3.18	2.28	2.87	3.18	4.5	5.5	7.1	10.1	14.2	2.28	2.28	47.6	14.2	26	21	
	TF9	50° 120° 180°	5.85	4.18	4.98	5.85	8.4	10.3	13.2	18.7	26.8	3.18	3.18	47.6	14.2			47.6
	TF10	50° 120° 180°	9.12	6.45	7.83	9.12	12.9	15.8	20.4	28.6	40.8	3.97	3.18	47.6	14.2			47.6
3/8	TF12	50° 120° 180°	13.7	9.7	11.4	13.7	19.3	23.7	30.8	43.2	61.4	4.76	3.18	47.6	17.5	47.6	50	21
	TF14	50° 120° 180°	18.5	13.1	15.4	18.5	26.1	32.0	41.3	56.4	82.0	6.58	3.18					
	TF18	50° 120° 180°	24.2	17.1	20.3	24.2	34.2	41.8	54.0	74.4	108	8.38	3.18					
1/2	TF20	50° 120° 180°	27.6	20.6	24.5	27.6	38.1	47.1	61.1	84.1	118	9.94	3.18	63.5	22.4	60.5	66	28
	TF24	50° 120° 180°	54.9	38.8	46.0	54.9	77.7	95.1	123	168	248	13.5	4.76					
	TF30	50° 120° 180°	79.2	52.2	62.9	79.2	108	130	168	238	338	15.1	4.76					
3/4	TF32	50° 120° 180°	95.7	67.7	80.1	95.7	135	166	214	302	438	18.7	4.76	69.8	26.9	76.2	88	38
	TF40	180° 153	108	128	153	216	264	341	482	688	19.9	6.35						
	TF48	180° 181	153	181	218	306	373	484	658	928	19.1	6.35						
1	TF56	180° 294	208	248	294	418	509	657	930	1320	22.2	7.94	50.8	111	95.1	170		
	TF64	180° 385	272	322	385	543	667	861	1220	1720	25.4	7.94						
	TF72	180° 438	308	368	438	613	736	978	1350	1950	28.9	7.94						

Flow Rate (l/min) = K √ Bar

Dimensions are for bar stock cast sizes may vary *25.4 mm for 180°

Standard Materials: Brass, 316 Stainless Steel, PVC, Polypropylene and Teflon (Poly. not available for TF6 & TF9). See chart on page 17 for complete list



TFXP

Largest Free Passage

DESIGN FEATURES

- Largest free passage in original spiral design
- Passes particles equal to orifice size
- Clog-resistant
- One-piece, extra-heavy construction
- High energy efficiency
- Male connection

SPRAY CHARACTERISTICS

- Wide range of flow rates
- Fine atomization
- Spray pattern:** Full Cone
- (Hollow Cone available by special order)
- Spray angles:** 90° and 120°
- Flow rates:** 9.87 to 10700 l/min



Metal Plastic



Full Cone 90° (XPN)



Full Cone 120° (XP)



Metal



Plastic

TFXP Flow Rates and Dimensions

Full Cone, 90° (XPN) and 120° (XP) Spray Angles, 3/8" to 4" Pipe Sizes, BSP or NPT

Male Pipe Size	Nozzle Number	K factor	LITERS PER MINUTE @ BAR										Approx. Free Pass. & Orifice Dia. (mm)	Approximate Dimensions (mm)			Wt. (g)
			0.5 bar	0.7 bar	1 bar	2 bar	3 bar	5 bar	7 bar	10 bar	20 bar	30 bar		A	B	C	
3/8	TF12	13.7	9.87	11.4	12.7	19.3	23.7	30.6	49.2	61.1	4.76						
	TF14	18.9	13.1	15.4	18.8	26.1	32.0	41.2	62.4	62.8	5.96	66.0	62.2	62.2	6.88	0.88	
	TF15	24.2	17.3	20.0	24.8	34.2	41.9	54.0	81.4	82.0	6.39						
	TF20	37.8	26.6	31.8	37.8	53.2	66.1	84.1	119	120	7.94						
	TF24	54.8	38.8	46.6	54.9	77.7	95.1	123	174	244	9.53						
1/2	TF28	78.2	53.2	62.9	78.2	106	130	168	238	234	11.1	86.7	76.9	74.9	9.19	0.89	
	TF32	95.7	67.7	80.1	95.7	130	166	214	308	420	12.7	120	84.8	84.8	9.71	0.10	
	TF40	153	109	129	153	216	264	341	483	663	16.6	130	90.8	90.8	9.71	0.11	
3/4	TF48	216	152	181	216	308	375	484	688	948	18.1	168	90.8	87.2	9.63	0.21	
	TF56	294	206	246	294	416	508	667	930	1318	22.2	171	83.8	83.8	1.01	0.87	
	TF64	386	272	322	386	545	667	861	1200	1720	25.4	171	83.8	83.8	1.11	0.24	
1	TF72	436	308	366	436	619	768	978	1380	1968	29.6	184	83.8	83.8	1.27	0.34	
	TF80	636	451	534	636	902	1110	1430	2020	2860	34.9	207	76.2	76.2	2.38	0.87	
	TF90	806	570	674	806	1140	1400	1800	2560	3600	38.1	207	76.2	76.2	2.68	0.87	
1 1/2	TF118	1187	826	978	1170	1660	2020	2610	3680	5080	44.8**	267	88.9	88.9	3.80	0.68	
	TF138	1547	1060	1280	1540	2180	2680	3480	4880	6680	50.8**	267	88.9	88.9	4.48	0.88	
	TF158	2363	1660	2000	2360	3280	4140	5360	7670	10700	62.5**	279	114	114	7.06	0.88	

Flow Rate l/min = K x bar

**Free passage is 38.1 mm

Standard Materials: Brass, 316 Stainless Steel, PVC, Polypropylene and Teflon®. See chart on page 17 for complete list.