

4/02/2011  
WOPDF



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**SISTEMA DE CALCULO PARA LA ESTIMACION DE  
RENDIMIENTOS Y PROPIEDADES DE PRODUCTOS  
EN UNA UNIDAD REDUCTORA DE VISCOSIDAD**

**T E S I S  
PARA GRADO DE MAESTRIA EN:  
INGENIERIA QUIMICA (PROYECTOS)  
MARIO ANTONIO BRAVO MEDINA**

**MEXICO, D. F.**

**1984**



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 esta 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.

Octubre 17, 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
Facultad de Química  
Div. de Estudios Superiores

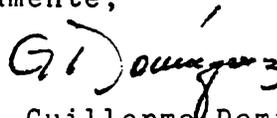
AT'N: M.EN C. ELIA MARGARITA LAGUNAS S.  
Coordinador Maestría Ingeniería  
de Proyectos U.N.A.M.

Estimada Srita. Lagunas:

Por medio de la presente, me permito informarle que la Tesis  
"SISTEMA DE CALCULO PARA LA ESTIMACION DE RENDIMIENTOS Y PRO  
PIEDADES DE PRODUCTOS EN UNA UNIDAD REDUCTORA DE VISCOCIDAD"  
presentada por el Ing. Mario Antonio Bravo Medina, ha sido  
aprobada por el suscrito.

Sin otro particular por el momento, me despido.

Atentamente,



M.en C. Guillermo Domínguez P.

\*mc

ABSTRACTO

( ABSTRACT )

ESTIMATION SYSTEM FOR YIELDS AND PROPERTIES PRODUCTS IN A VISBREAKING UNIT.

How to predict Visbreaking yields and properties of the products.

A series of graphs provide the required factors to estimate products yields for the sensible thermal cracking. The method is described step by step considering a set of data required to start the estimation.

This is a rapid method to calculate yields and some product properties which result from the thermal cracking. The method considers only the type of feedstock, conversion level and degree of severity.

Four feed properties are required, these are:

- Insolubles in nC5, % wt.
- K uop Factor.
- Viscosity of feed at 50° C, SSF.
- Sulfur, % wt.

and the degree of severity, that is:

- Required yield of gasoline ( I.B.P. - 204° C )
- Time of the reaction, seconds.

Thus, planning studies, economical analyses and preliminary design can be explored quickly with the yield data obtained from this method.

SISTEMA DE CALCULO PARA LA ESTIMACION DE RENDIMIENTOS Y PROPIEDADES DE PRODUCTOS EN UNA UNIDAD REDUCTORA DE VISCOSIDAD.

Como predecir rendimientos y propiedades de productos en una reductora de Viscosidad.

Una serie de gráficas proporcionan los factores necesarios para estimar los rendimientos de los productos que se obtienen en una desintegración térmica sensible. El método se describe paso a paso, considerando una serie de datos requeridos para iniciar la estimación.

El método es sencillo y ágil en el cálculo de los rendimientos y propiedades de los productos involucrados en éste proceso.

El método considera el tipo de carga a alimentar, el nivel de conversión y el grado de severidad a aplicar.

Cuatro propiedades de la carga son requeridas:

- Insolubles en nC5, % peso
- Factor K uop
- Viscosidad a 50° C, en SSF.
- Azufre, % peso

y el grado de severidad, esto es:

- Rendimiento deseado de gasolina ( T.I.E. - 204° C )
- Tiempo de reacción en segundos.

A partir de éste método se pueden efectuar estudios de planeación, análisis económicos, diseños preliminares y simulaciones del proceso considerado.

**INDICE TEMATICO**

## INTRODUCCION

- I Generalidades
- II Antecedentes, descripción y diagrama de flujo de la planta Reductora de Viscosidad.
- III Características analíticas y rendimientos de carga y productos involucrados en el proceso.
- IV Metodología empleada para el desarrollo del modelo de estimación.
- V Sistema de Cálculo.
- VI Resultados y Ejemplo manual de aplicación.
- VII Conclusiones
- VIII Tabla secuencial de las diferentes alternativas de cálculo y enlistado.
- IX Lista de símbolos; lista de equipos

## BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION.

" En el fondo de la Investigación científica  
existe un postulado evidente: la afirma -  
ción de que la naturaleza es explicable<sup>11</sup> .

E. MEYERSON

El hombre ha desarrollado tecnología desde el origen de su especie con el fin de sobrevivir en un mundo desconocido y al mismo tiempo peligroso para él, y, posteriormente, adaptar, dentro de ciertos límites, el medio que lo circunda para su beneficio propio.

El fundamento del conocimiento humano, esencialmente, no es más que el resultado de la observación, constante y repetida, de los hechos que de alguna forma percibimos, experiencias que son clasificadas y representadas mediante un conjunto de relaciones.

Este lenguaje simbólico es indiscutiblemente importante ya que no sólo facilita la transmisión de sucesos observados sino que, además, promueve la comprensión y predicción de los fenómenos y da lugar a las teorías o proyecciones especulativas hacia nuevos horizontes.

Partiendo de la base de tales relaciones; y con frecuencia considerando algunas simplificaciones, el hombre puede crear modelos aproximadamente representativos de algunas porciones de la realidad y, manipulando unas y otras de las variables que lo definen, establecer las condiciones favorables para satisfacer sus objetivos.

En este trabajo se pretende expresar el funcionamiento de un equipo utilizando la información disponible, traducida al lenguaje matemático, y, con la ayuda de una computadora, determinar los factores que hacen más eficiente su operación.

## GENERALIDADES

" Ello es, Horacio, que en el cielo y en la tierra hay más de lo que puede soñar tu filosofía."

W. SHAKESPEARE

Aunque hay publicadas diversas definiciones sobre el proceso de reducción de Viscosidad<sup>1</sup>, el concepto que se considera en el aspecto práctico, se refiere al de convertir, por medio de una desintegración térmica moderada, residuos pesados que por su alta viscosidad no son útiles directamente como combustóleo comercial, en aceites de menor viscosidad, con objeto principal de reducir o eliminar el costoso uso de diluentes.

Igual que en todo proceso de desintegración térmica, se generan gas, gasolina y gasóleos ligeros de mayor valor económico que la carga; también al reducirse la viscosidad y volumen del residuo, obviamente se reduce el consumo de diluentes y el volumen de combustóleo que es de menor precio. Como una consecuencia de la generación de gasóleos ligeros lograda durante este proceso, simultáneamente se obtiene la ventaja de una reducción en la temperatura de escurrimiento del residuo, pues la presencia de estos gasóleos ligeros actúan como diluentes.

En general, los residuos pesados de carga a plantas reductoras de viscosidad proceden de los fondos de una torre de destilación al vacío que ha sido alimentada con un residuo atmosférico. También pueden utilizarse otros residuos vírgenes pesados, que por su alta viscosidad lo justifiquen.

De la calidad de la carga depende en gran parte el grado de conversión factible en el proceso y, por consecuencia, la duración de la corrida. Se consideran buenas cargas las de alto contenido de

aceites pesados y bajo contenido de asfaltenos, ya que a la presencia de alto contenido de estos últimos se le atribuye que a severidades altas se generen residuos que no satisfagan la prueba NBTL de estabilidad térmica, que exigen algunos usuarios de combustóleo. Esto puede limitar el grado de severidad.

En la literatura<sup>1,2</sup> se citan valores de asfaltenos ( insolubles en pentano ) de cargas a plantas reductoras de viscosidad que fluctúan desde 2 a 12% para los de base parafínica y hasta 18 a 28 % para los de base nafténica, recomendándose como mejores cargas las de menor contenido de estos. Una prueba que correlaciona con la del contenido de asfaltenos y que se utiliza para definir calidad de cargas es la temperatura de ablandamiento de asfaltos, determinada por el método ASTM-D-2398; a medida que sube el porcentaje de asfaltenos, también sube proporcionalmente la temperatura de ablandamiento.

En la planta reductora de viscosidad de la Refinería de Azcapotzalco se observó durante dos corridas en las cuales el nivel de asfaltenos en la carga fué diferente, que el contenido de insolubles en benceno en el residuo se incrementó al subir los asfaltenos. Para la corrida en la cual el nivel de asfaltenos estaba en 5%, el contenido de insolubles en benceno se encontraba al rededor de 0.02%, mientras que en la corrida de 9% de asfaltenos, el nivel de insolubles en benceno subió a un promedio de 0.15%. En ambos casos el volúmen de carga a la planta y las temperaturas en los calentadores eran similares.

No obstante lo anterior, se han tenido experiencias procesando residuo primario de crudo asfáltico, de base nafténica, en el que se observa que aún con alto contenido de asfaltos y alto grado de reducción de viscosidad, el residuo resultó estable.<sup>3,4</sup>

Las variables principales en la reducción térmica de viscosidad en un solo paso son: temperatura de salida del calentador, tiempo de residencia y presión. Al aumentar cualquiera de las tres variables mencionadas, se produce un aumento en la severidad. Estas variables son intercambiables dentro de límites razonables: Por ejemplo, para una severidad en base al rendimiento de gasolina, la distribución de los productos y su calidad son los mismos, sin importar la combinación de temperatura, tiempo de residencia y presión utilizada para obtener esa severidad.

Al aumentar la severidad de la reacción incrementando por ejemplo, la temperatura de salida del calentador, se elevan los rendimientos de destilados y gases, y disminuye la cantidad necesaria de diluyente para ajustar la viscosidad del residuo obtenido a la especificación correspondiente al combustóleo deseado.

A severidades moderadas, los depósitos de coque en el calentador y en el separador son de poca consideración.

A severidades mayores, hay una tendencia creciente a la formación de coque en el calentador, la cual puede provocar un paro prematuro por carbonización en el calentador.<sup>8</sup> Conforme se aumenta la severidad, los aceites pesados y resinas que peptizan y

mantiene dispersos a los constituyentes asfálticos en el aceite, se descomponen a aceites más ligeros en una mayor proporción, propiciándose la separación de dichos constituyentes y su deposición dentro de los tubos del calentador.

#### OBSERVACIONES EXPERIMENTALES

La reducción de viscosidad suele apreciarse de diferentes maneras:

La cantidad de combustóleo obtenida y la cantidad de diluyente necesaria para ajustar la viscosidad del residuo reducido a la especificación correspondiente del combustóleo, se expresan como porcentaje de las cantidades de combustóleo obtenido y de diluyente requerido para su preparación, mediante la dilución de la carga a la planta Reductora de Viscosidad.

"Índice de Reducción de Combustible". Es la diferencia en barriles entre la cantidad de combustóleo de 300 SSF a 50°C obtenida por dilución directa de 100 Bls. de Asfalto con gasóleo de 37" SUS a 50°C y la obtenida por reducción térmica de 100 Bls. de asfalto.

"Índice de Reducción de Viscosidad" Es la diferencia entre la viscosidad de la carga a la planta y la del residuo de la misma, en SUS, medida en centímetros sobre la gráfica ASTM-D341\*.

"Conversión Volumétrica de ligeros" Es la suma de los rendimientos expresados como porcentaje en volumen líquido y con base en la carga a la planta, de gas, gasolina y gasóleo.

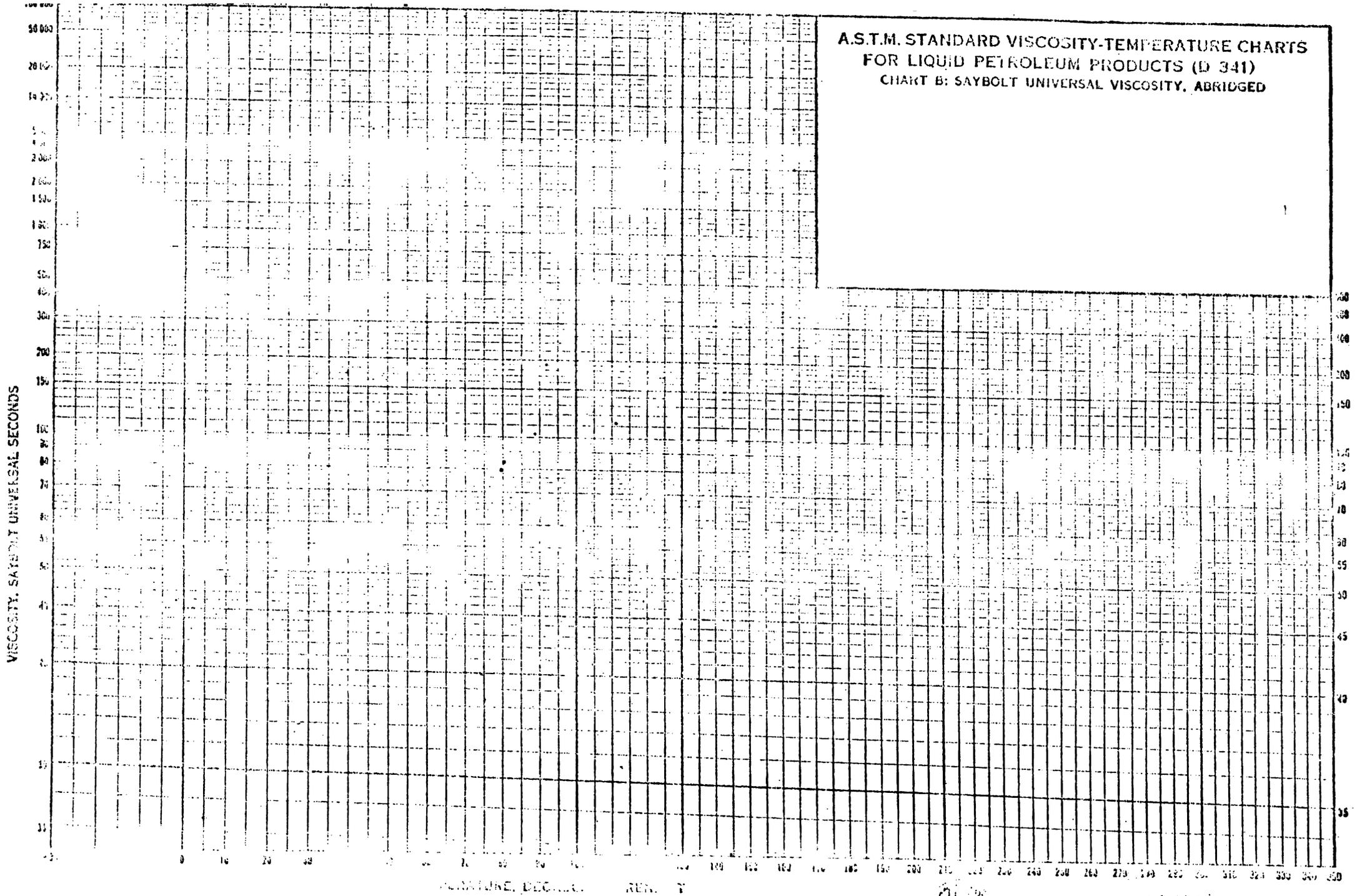
Un aumento en la severidad del proceso tiene como resultado una notable disminución en la necesidad de diluyente y disminución en el rendimiento de combustóleo.

Con rendimientos de gasolina de 10 de PVR y 300°F de TFE hasta de 7.8%, el combustóleo resulta estable. A severidades mayores éste resulta inestable.

Cuando no sea necesario llenar los requisitos de estabilidad térmica, puede pensarse en obtener otra distribución de los productos, empleando altas severidades, pero sin perder de vista que no reducirá más la cantidad necesaria de diluyente, y que los rendimientos de combustóleo se reducen al convertirse el residuo en destilados ligeros y gas.

\*.- A continuación se muestra la gráfica ASTM-D341 mencionada anteriormente.

A.S.T.M. STANDARD VISCOSITY-TEMPERATURE CHARTS  
 FOR LIQUID PETROLEUM PRODUCTS (D 341)  
 CHART B: SAYBOLT UNIVERSAL VISCOSITY, ABRIDGED



TEMPERATURE, DEGREES CENTIGRADE



AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS  
 1910 RAYBOLT BUILDING, PHILADELPHIA, PA.

VISCOSITY, SAYBOLT UNIVERSAL SECONDS

ANTECEDENTES, DESCRIPCION Y DIAGRAMA DE  
FLUJO DE LA PLANTA REDUCTORA DE VISCOSI-  
DAD.

" El hombre tiene tres caminos para ac-  
tuar sabiamente: primero, la medita -  
ción, éste es el más noble; segundo, la  
imitación, éste es el más sencillo; ter-  
cero, la experiencia, éste es el más a-  
margo."

CONFUCIO

En la refinería "18 de Marzo" situada en Azcapozalco, México D. F., se cuenta con una planta reductora de viscosidad operando desde 1960. La planta originalmente era del bien conocido proceso de desintegración térmica DUBBS, con capacidad para 15,000 Bls/día de carga. Al transformarse a reductora de viscosidad, se hicieron varios cambios en consecuencia; principalmente se agregó un tercer calentador que se instaló en serie con los dos calentadores conocidos anteriormente como el de aceite ligero y aceite pesado; además, se eliminó la cámara de reacción. El tercer calentador permitió variar los tiempos de residencia a diferentes temperaturas, dándole con esto gran flexibilidad para poder seleccionar los rangos de condiciones de operación más favorables e incrementar su conversión. Su capacidad actual es de 20,000 Bls./día. con el incremento de conversión logrado, la inversión por el tercer calentador se pagó en sesenta días. En este caso se optó por colocar el tercer calentador en serie debido a que era la alternativa más económica para la capacidad de proceso requerido, pero naturalmente que una planta nueva se diseñaría con un sólo calentador de suficiente capacidad y con un arreglo tal que le permitiera la flexibilidad necesaria para poder lograr la relación deseada de tiempos de residencia a diferentes niveles de temperatura. De hecho, en Petróleos Mexicanos se encuentran en etapa de diseño tres -

plantas Reductoras de Viscosidad con dos calentadores en paralelo y con una capacidad de proceso para 50,000 Bls/día cada una. Estas se construirán en las refinerías de Cadereyta, Minatitlán y Salina Cruz.

#### DESCRIPCION DEL FLUJO CON CONDICIONES DE OPERACION

La descripción del flujo obedece al diagrama adjunto.

( Las indicaciones de presión tanto en la descripción como en el diagrama son manométricas. )

La carga consiste en un residuo de alto vacío y se recibe en el tanque muelle RE-T10 a una temp. de 280°C., el cual se opera a una presión de 0.5 Kg/cm<sup>2</sup>, como mínimo ( para impedir que pierdan succión las bombas de carga ) y 2.0 Kg/cm<sup>2</sup>, como máximo. ( para evitar disminución de flujo de fondos de la torre de alto vacío ). Del tanque de balance de carga succionan las bombas RE-P5, P5A y P5B ( Turbina Eléctrica y Eléctrica respectivamente ) y descargan a una presión de 13 Kg/cm<sup>2</sup> a través de los cambiadores de carga vs. residuo RE-E6 A, B, C y D ( estos consisten de 2 bancos y su operación se alterna dependiendo del grado de suciedad, por lo general es de 45 días de operación para salir a limpieza mecánica ), la carga que fluye por la envolvente pasa a la succión de la bomba RE-P1 que está en serie con las RE-P5 y P5A-P5B, además, tiene desvío del flujo para cuando esta salga de operación. La bomba RE-P1 descarga a una presión comprendida entre los rangos de 28 Kg/cm<sup>2</sup> a 45 Kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente ( correspondien-

do al inicio y final de la corrida, respectivamente, conforme vá transcurriendo ésta, la formación de carbón en el sistema aumenta y, por consecuencia la caída de presión se refleja en la descarga de esta bomba ).

El calentador RE-H9 que recibe el flujo, consta de 5 celdas; por la zona de convección entra el flujo y por la zona de radiación sale una temperatura de 425°C. ( En este calentador no hay desintegración, la carga recibe nada más calor sensible ).

Del calentador RE-H9, la carga pasa al calentador RE-H10 que consta de 4 celdas de radiación ( las de convección se eliminaron por presentar problemas de tapazones ). Estas constituyen el reactor tubular donde se efectúa la desintegración térmica al elevar la temperatura de la carga a 460°C., y así pasa al tercer calentador RE-H11, que consta de dos celdas. Este calentador se opera apagado, sirve como cámara de reacción, dando tiempo de residencia, es aquí donde se termina de efectuar la reacción de desintegración, y así se explica el abatimiento de temperatura que se efectúa de 460°C a 432°C., de la cual sale la carga, la reacción, por ser fuertemente endotérmica, absorbe calor de descomposición abatiendo la temperatura.

En la salida del flujo del calentador RE-H11 se inyecta el " Quench" que consiste en gasóleo, producto de la desintegración enfriado a 35°C., y que tiene por objeto suspender la reacción para impedir la formación de carbón en el separador

RE-T2, al cual se alimenta el producto de la desintegración, aquí ocurre una vaporización instantánea al abatirse la presión a  $3.0 \text{ Kg/cm}^2$ .

Los vapores salen por el domo a una temperatura de  $385^\circ\text{C}$ . Esta temperatura se abate a  $270^\circ\text{C}$ , con gasóleo, producto de la desintegración, y así se alimenta a la torre fraccionadora RE-T10, la cual se opera a  $4.0 \text{ Kg/cm}^2$ . Los vapores a  $185^\circ\text{C}$ , que consisten en incondensables y condensables, pasan a los condensadores RE-E9 y E9 y, de ahí al acumulador RE-T11. Por la parte superior salen los gases incondensables al tanque de balance RE-T7 que es un separador de líquido, estos se recuperan con la bomba RE-P28, los gases incondensables se mandan a la planta catalítica ó a la línea de gas combustible a control de presión, con esta válvula se controla la presión de todo sistema de proceso en ésta unidad.

Por la parte inferior del acumulador RE-T11 succionan gasolina las bombas RE-P11 y P11A, parte de la cual se refluja a control de flujo a la torre RE-T10, el excedente se manda a control de nivel a la planta Catalítica.

Los fondos de la torre RE-T10 salen a  $260^\circ\text{C}$  y se enfrían en la caja enfriadora RE-E4A. Los fondos ya enfriados ( gasóleos ) se succionan con las bombas RE-P8 y P8A ( turbina y eléctrica ) mandándose parte a control de flujo como Quench

de la carga del RE-T2 después de pasar por el enfriador RE-E13. La otra parte se manda a control de flujo, para enfriar la carga a la torre RE-T10. Si hubiera un exceso de gasóleo se mandaría a la planta Catalítica.

Los fondos del separador RE-T2 son succionados a 380°C, con las bombas RE-P3; P3A y P3B ( eléctrica, turbina, turbina ) y descargan a través de los cambiadores de crudo Vs. Residuo. ( Se puede desviar el flujo directamente hacia los cambiadores sin pasar por las bombas en caso de que se presente un problema en éstas. El control de nivel del separador se efectúa con las revoluciones de las turbinas RE-P3A ó P3B ).

El residuo sale de los cambiadores a una temperatura de 340°C, y así se alimenta a las cajas enfriadoras RE-E-1 ó RE-E4 ( éstas se operan alternativamente por corridas de operación ), después pasa a un banco, de enfriadores tubulares ( RE-E29 y E29A ) y a 120°C se manda a tanques de almacenamiento.

El agua de enfriamiento empleada en la caja enfriadora de residuo se toma de la línea de retorno y descarga en una fosa junto con el agua de salida de los enfriadores tubulares RE-E29s para ser succionada por bombas retornándose a la Torre de Enfriamiento. ( Existe la flexibilidad de usar agua de enfriamiento de ambas torres ).

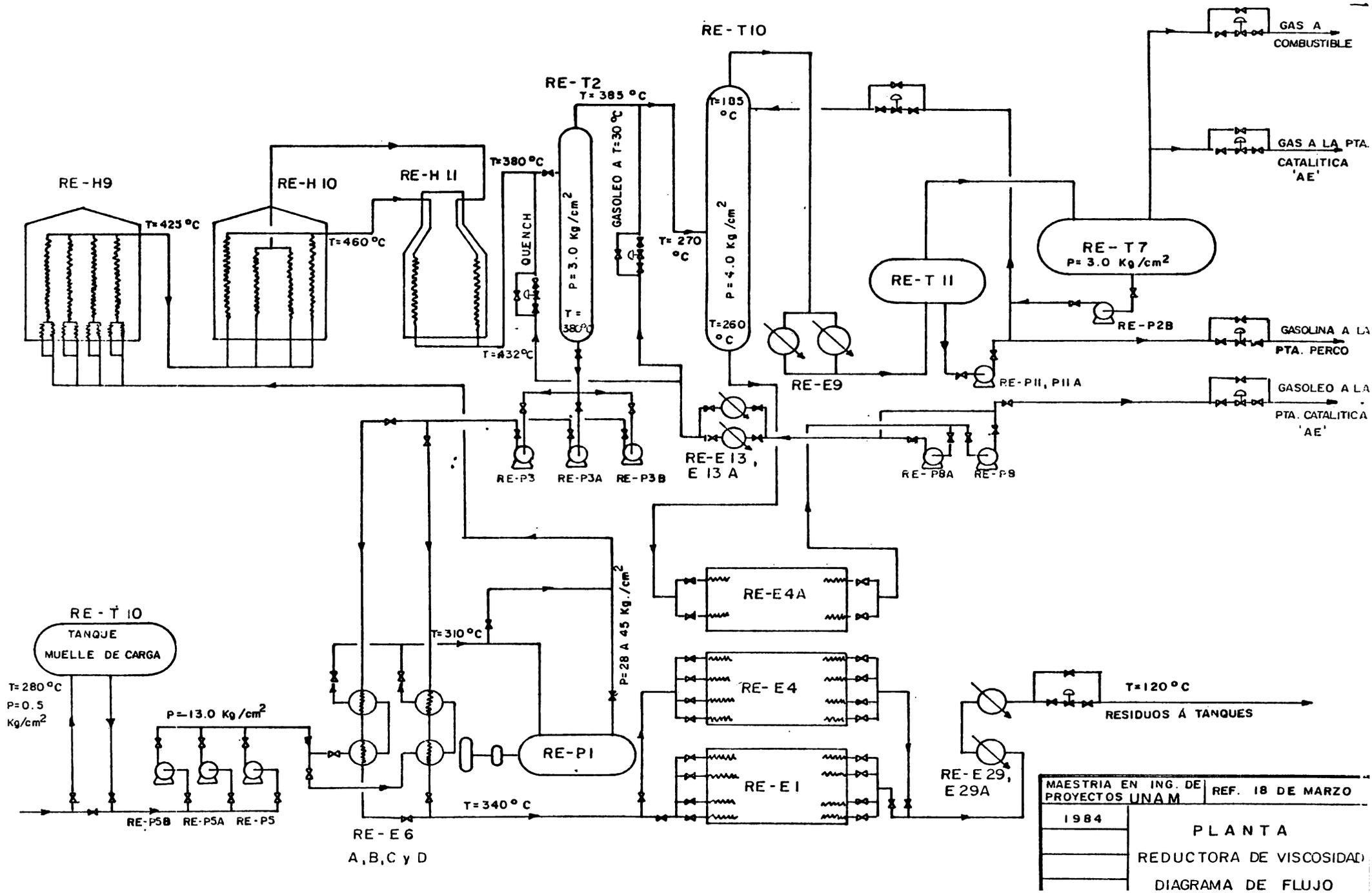
Se cuenta con bombas reciprocantes que suministran el gasóleo empleado como sello para impedir que se tapen

las tomas de los medidores de flujo a cada celda de los calentadores RE-H-9 y RE-H-10, así como a los medidores de carga a la planta y de residuo a tanques.

El flotador del nivel de fondos del separador RE-T2 tiene una inyección de sello para impedir que se pegue por formación de carbón, lo mismo las tomas de la celda diferencial de presión del fondo de este recipiente.

Otro sistema de bombas, suministran gasóleo a la temperatura ambiente para enfriar chumaceras y cajas de empaque de las bombas RE-P1, P5, P5-A, P5-B, P-3, P3-A y P3-B.

Las válvulas de relevo de los recipientes RE-T7 y RE-T11 están integradas al sistema de desfogues, las del RE-T2 al "Blow Down". La carga a los calentadores se puede mandar al "Blow Down" en forma manual.



MAESTRIA EN ING. DE	REF. 18 DE MARZO
PROYECTOS UNAM	
1984	
PLANTA	
REDUCTORA DE VISCOSIDAD	
DIAGRAMA DE FLUJO	

CARACTERISTICAS ANALITICAS Y RENDIMIENTOS  
DE CARGA Y PRODUCTOS EN EL PROCESO.

" El impulso permanente del ser humano es buscar el orden y la armonía ocultos en lo heterogéneo y cambiante del mundo visible. "

N. BOHR

El control de la planta se efectua con las siguientes pruebas analíticas principalmente:<sup>15</sup>

- Peso Específico
- Viscosidades
- Penetración
- Sedimento por centrifugación
- Sedimento por extracción con benceno
- Asfaltenos en nC<sub>5</sub> y nC<sub>7</sub>
- Carbón Ramsbottom
- Destilado a 1000°F
- N.B.T.L. ( prueba de estabilidad térmica )
- Temperatura de Inflamación
- Azufre
- Temp. de Escurrimiento

Para información detallada sobre los objetivos de cada prueba se incluye un anexo al final de ésta sección.

Durante el tiempo de recuperación de datos, que se utilizaron en este estudio, hubo amplias variaciones en las características de la carga, pues procedieron de diferentes tipos de crudos; además de las variaciones en el grado de extracción de la preparadora de carga. Un análisis típico se muestra en la tabla 1.

#### G A S

El análisis cromatográfico del gas sin embargo permaneció con pocas variaciones, por lo que se presenta un análisis típico. Como se puede observar en la tabla 2. Lo sobresaliente está en su alto contenido de ácido sulfhídrico, lo que le da carácter altamente corrosivo. Debido a estas características, el gas lleva tratamiento de endulzamiento con DEA.

T A B L A 1

PLANTA REDUCTORA DE VISCOSIDAD CARACTERISTICAS DE CARGA Y RESIDUO					
Pruebas	Método ASTM	Carga a la pta.	Resíduo a Severidades		
			baja	media	alta
Peso Esp. a 20/4°C	D-1298	1.002	0.994	0.994	0.998
Densidad API	D-1298	9.31	10.45	10.45	9.89
Viscosidad SSF a 50°C	D-88	8000	506	372	220
Viscosidad SSF a 100°C	D-88	174	---	---	---
Agua y Sedimento, % Vol.	D-1796	0.1	0.1	0.2	3.6
Sed. Extr. Benc. % peso	D-2317	0.02	0.02	0.11	1.07
Asfaltenos en nC7 % p.	D-3279	5.1	8.8	9.7	12.6
Carbón Ramsbottom, %p.	D-524	16.9	17.7	19.8	20.8
Factor de Caracteriza.	U.O.P.	11.4	11.2	11.2	11.1
Dest. a 1000°F, %Vol.	D-1160	12.0	36.0	43.0	54.0
Azufre, % peso	D-2622	2.9	3.0	3.1	3.1
Temp. de Inflamación °C	D-93	182	70.0	70.0	58.0
Temp. de Escurremto. °C	D-97	+27	+16	+13	+8
Conversión Total, % Vol.	---	---	30.0	39.9	55.2
Indice de Reducción de Viscosidad I. R. V.	---	---	4.0	4.6	5.6
Indice de Reducción de Combustóleo I. R. C.	---	---	20.7	23.9	28.5

TABLA 2

CARACTERISTICAS DEL  
GAS

Pruebas	Análisis Típico
-----	
Análisis cromatográfico, %mol	
H <sub>2</sub>	2.8
Inertes ( N <sub>2</sub> y CO )	2.5
CO <sub>2</sub>	0.2
H <sub>2</sub> S	9.0
C <sub>1</sub>	28.5
C <sub>2</sub> =	2.7
C <sub>2</sub>	14.8
C <sub>3</sub> =	5.6
C <sub>3</sub> .	11.1
iC <sub>4</sub>	1.5
nC <sub>4</sub>	5.7
Cis-C <sub>4</sub> =	0.6
Trans-C <sub>4</sub> =	0.9
iC <sub>4</sub> = + 1 buteno	3.7
iC <sub>5</sub>	1.5
Amilenos ( C <sub>5</sub> = )	2.9
nC <sub>5</sub>	3.4
C <sub>6</sub> +	2.6
Peso Esp. liq. a 15.6/15.6°C	0.471
Peso Esp. Rel. Aire	1.243
Peso Molecular Calculado	36.00
Poder Calorífico Neto, BTU/pie <sup>3</sup>	1,749

## G A S O L I N A

Se buscó una temperatura final de ebullición en la gasolina de aproximadamente 204°C, aunque hubo a lo largo de la corrida algunas variaciones.

Como se puede apreciar en la tabla N°3, esta gasolina cruda es altamente corrosiva, con calificación arriba de 4 y con un contenido de ácido sulfhídrico superior a 700 ppm. Además esta gasolina es muy inestable a la formación de gomas, por su alto contenido de olefinas. Por lo que toca a su carácter corrosivo, este se corrige con un tratamiento a base de sosa y su inestabilidad se vuelve despreciable al mezclarse con la producción total de la refinería.

## R E S I D U O

Las características del residuo sí variaron significativamente, como puede apreciarse en la tabla N°1, debido a que la planta operó a diferentes grados de severidad, generados por variaciones en las temperaturas de los calentadores y los tiempos de residencia. Se manifestaron los diferentes grados de severidad en varias formas. Hubo incrementos de diferencias de temperaturas entre las del residuo y las de pared de la línea a la salida del calentador, indicándo con esto incrementos de depósitos de carbón. Hubo aumentos de producción de gas y gasolina. Además, por el lado analítico, se observaron incrementos de insolubles en

benceno y sedimento por centrífuga en el residuo.

Precisamente con base a los niveles de insolubles en benceno y sedimento por centrífuga, correlacionados a las manifestaciones anteriores que limitan la duración de las corridas, se establecieron tres grados de severidad, para los cuales se fijaron los siguientes límites:

L I M I T E S		
Grados de Severidad.	Insolb. en benceno % peso	Sedimento por centrifugación % vol.
Baja	0.02 máx.	0.05 - 0.2
Media	0.02 a 0.3	0.2 - 1.0
Alta	0.3 a 1.0+	1.0 - 4.0+

En el laboratorio de la Refinería de Azcapozalco, se hicieron comprobaciones sobre estabilidad del residuo al almacenamiento. Se tomaron dos muestras para la prueba, una del residuo obtenido a severidad media y otra del de alta.

T A B L A N° 3

CARACTERISTICAS DE LA GASOLINA ( Caso; Sev. media )

Pruebas	Método ASTM	Análisis típico
Peso Esp.a 20/4°C	D-1298	0.738
Densidad API	D-1298	59.30
Azufre, % peso	D-1266	0.4
Prueba DOCTOR	D-484	Positiva
H <sub>2</sub> S ppm	UOP-163	704
PVR, lbs/pulg <sup>2</sup>	D-323	8.40
Corrosión	D-130	4A
Análisis PONA, % Vol.	UOP-273	
Parafinas		36.7
Olefinas		33.5
Nafténicos		17.7
Aromáticos		12.1
Destilación, °C	D-86	
TIE		44.0
10%		75.0
30%		107.0
50%		134.0
70%		154.0
90%		180.0
TFE		205.0
Gomas Preformada, mg/100ml	D-381	8.0
Gomas Potenciales, mg/100ml	D-873	0.03
Suceptibilidad al T.E.L.;	D-2699	
0 cc/gal. Octano F-1		60.0
1           "           "		66.0
2           "           "		70.0
3           "           "		72.0
4           "           "		73.0

El resultado del programa de trabajo se encuentra en la tabla N° 4.

El procedimiento que se utilizó fué el siguiente:

Se analizaron las dos muestras inicialmente encontrándose estables a la prueba de NBTL. Se almacenaron en reposo 30 días a 80°C permaneciendo estable la de severidad media y quedando inestable la de severidad alta. Se llevó el residuo a una destilación de 1000°F y este segundo residuo se dividió en dos partes, una se diluyó con kerosina y la otra con nafta catalítica pesada, buscando aproximadamente 500-600 SSF a 50°C. La mezcla del residuo de severidad media con kerosina virgen pasó la prueba en ambos casos recién elaborada y a los 30 días de almacenamiento a 80°C. En cambio la mezcla de residuo correspondiente a severidad alta en ningún caso pasó la prueba, ni recién elaborada ni menos aún después de 30 días a 80°C. Punto de especial importancia en este estudio fué el hecho de que las dos mezclas diluidas con nafta pesada catalítica en lugar de kerosina virgen, pasaron la prueba de estabilidad NBTL en los dos casos, el inicial y el de después de 30 días a 80°C.

Lo significativo de la experiencia anterior es que en los casos en que por alguna razón resulte inestable el residuo de acuerdo a la prueba NBTL, se puede corregir o, por lo menos, mejorar el resultado de la prueba mediante dilución con nafta catalítica pesada.

**TABLA Nº 4**  
**PRUEBAS DE ESTABILIDAD DEL RESIDUO AL ALMACENAMIENTO**

MUESTRAS % VOLUMEN				PLANTA A SEVERIDADES													
RESIDUO DE LAS PLANTAS	RESIDUO A 1000°F DEL RESIDUO PLANTA	Kerosina	NAFTA PESADA CATALITICA	M E D I A							A L T A						
				TIEMPO EN REPOSO A 80 ° C							TIEMPO EN REPOSO A 80 ° C						
				CERO DIAS			30 DIAS				CERO DIAS			30 DIAS			
				P. Esp.	SFS 50 °C	ESTAB. NBTL		P. Esp.	SFS 50 °C	ESTAB. NBTL	P. Esp.	SFS	ESTAB.		P. Esp.	SFS 50 °C	ESTAB. NBTL
100	—	—	—	0.994	372	ESTA- BLE	TAPA	0.981	380	ESTA-	0.998	228	ESTA-	TAPA	1.014	490	ESTA- BLE
							CENTRO	0.991	400					CENTRO	1.018	617	
							FONDO	1.004	480					FONDO	1.023	912	
—	66	34	—	0.993	614	ESTA- BLE	TAPA	0.991	654	ESTA- BLE				TAPA			
							CENTRO	0.995	639					CENTRO			
							FONDO	0.993	606					FONDO			
—	60	40	—	—	—	—	TAPA			—	1.001	600	INES- TABLE	TAPA	0.992	442	INES- TABLE
							CENTRO							CENTRO	1.039	750	
							FONDO							FONDO	1.034	12,010	
—	74	—	26	1.025	595	ESTA-	TAPA	1.028	580	ESTA-				TAPA			
							CENTRO	1.024	592					CENTRO			
							FONDO	1.026	583					FONDO			
—	65	—	35				TAPA				1.016	485	ESTA- BLE	TAPA	1.048	468	ESTA- BLE
							CENTRO							CENTRO	1.038	475	
							FONDO							FONDO	1.043	418	

## METODOS UTILIZADOS PARA EVALUAR LOS RENDIMIENTOS

Para evaluar los rendimientos de la planta, se utilizaron los siguientes tres métodos:

- 1.- Conversión total
- 2.- Indice de Reducción de Viscosidad ( IRV )
- 3.- Indice de Reducción de Combustóleo ( IRC )

### \* Conversión Total:

Se define convencionalmente para este proceso conversión total como la diferencia en volumen de la suma de la producción de gas ( equivalente en líquido ), gasolina y el destilado a 1000°F del residuo de la planta menos el destilado a 1000°F de la carga a la planta.

Aunque las condiciones de operación de temperatura y tiempos de residencia a diferentes niveles de temperatura en el calentador son los que generan el grado de severidad, invariablemente se pueden detectar sus efectos de alta severidad por análisis del residuo. Un alto grado de severidad se puede generar ya sea por temperaturas exageradamente altas de salida del calentador y con tiempo de residencia cortos a esos niveles o por muy altos tiempos de residencia aunque con temperaturas mucho más bajas.

### \* Indice de reducción de Viscosidad ( IRV ) :

Para determinar cuantitativamente el grado de reducción de viscosidad de la planta, no se puede utilizar directamente la diferencia en unidad de segundos de viscosidades entre

los valores para la carga y el residuo como medida activa absoluta, proporcional al grado de reducción de viscosidad, ya que, como ejemplo, una mezcla en partes iguales por volumen de un componente con 100 SUS con otro de 1'000,000 SUS a la misma temperatura, tiene una viscosidad de 2,600 segundos y no de 500,050. Se puede visualizar con facilidad el grado de reducción de viscosidad si se considera que el residuo de la planta estuviera integrado por una mezcla de dos componentes básicos, uno con viscosidad de la carga y el otro con viscosidad de un diluyente seleccionado. Como el grado de reducción de viscosidad que realiza la planta se puede medir como si la planta generara un sólo diluyente, la gráfica ASTM-D-341, ( presentada anteriormente ), es muy útil. Para determinar en forma rápida el grado de reducción de viscosidad que está logrando la planta, hemos desarrollado el siguiente sistema, que denominaremos Índice de Reducción de Viscosidad ( IRV ) :

Localizar en la gráfica ASTM D-341 los puntos de viscosidad en segundos universal de la carga y residuo determinados a una misma temperatura y medir la distancia entre estos dos puntos. Las variaciones de esta distancia miden proporcionalmente aumentos o disminuciones de conversión de la carga a un equivalente de diluyente de referencia seleccionado según convenga.

\* Índice de Reducción de Combustóleo ( IRC ) :

Definimos el I.R.C. como lo siguiente :

$$\text{I.R.C.} = X - Y \quad \text{donde:}$$

X = Volúmen de Combustóleo de 300 SFS a 50°C elaborable a partir de 100 unidades en volúmen de la carga a la planta.

Y = Volúmen de Combustóleo de 300 SFS a 50°C elaborable a partir del volúmen de residuo de la planta correspondiente a 100 unidades en volúmen de carga a la planta.

Al aplicar los métodos de evaluación para los tres grados de severidad presentados en este estudio, tenemos los siguientes resultados correspondientes al residuo de la planta.

#### EVALUACION DE LOS RENDIMIENTOS

	Residuo a severidades		
	Baja	Media	Alta
Conversión Total, % Vol.	30.0	39.9	55.2
Indice de Red. de Visc. IRV	4.0	4.6	5.6
Indice de Red. de Comb. ( IRC )	20.7	23.9	28.5

A N E X O

**PLANTA REDUCTORA DE VISCOSIDAD**  
Pruebas de Control Analítico y su Objetivo Principal

CARGA PRUEBA:	METODO ASTM:	OBJETIVO
Peso Esp. a 20/4°C	D-1298	Se usa para balances de materiales y para correlación de resultados de otras pruebas.
Visc. Kansas 100°C	D-88	Se usa para evaluaciones del proceso.
Visc. S.F.S. a 100°C	D-88	"
Penetración	D-5	Mide consistencia de asfalto. Las tres pruebas anteriores se complementan para definir la carga, en cuanto se refiere a su consistencia ó carácter de ligera o pesada. Para un mismo crudo, indica grado de agotamiento en el proceso anterior al de la pta. Reductora.
Sedimento por Centrifugación	D-1796	Indica el contenido de contaminantes sólidos detectables físicamente por centrifugación.
Sedimento por Extracción con benceno.	D- 2317	Detecta cuantitativamente los contaminantes sólidos insolubles en Benceno.
Asfaltenos en nC <sub>5</sub> y nC <sub>7</sub>	D-3279	Sirve para calificar la calidad de la carga para éste proceso, pues según aparece repetidas veces en la literatura, estos asfaltenos pueden limitar el grado de severidad térmica NBTL. Además indica que puede acortarse la duración de corridas.
Carbón Ramsbottom, %	D-524	Datos que dan una orientación comparativa entre diferentes cargas en cuanto a la tendencia a formación de carbón durante el proceso.
Destilado a 1000°F	D-1160	Indica en este caso el grado de agotamiento en procesos anteriores y es útil para determinar el grado de conversión en el proceso de reducción de viscosidad al comparar el resultado de esta prueba en la carga con el del residuo de la planta.

ANEXO ( Continuación )

Resíduo Prueba	Método ASTM:	Objetivo
Peso Esp.	D-1298	Se usa para balances de materiales.
Visc.S.F.S. 50°C	D-88	Es útil para medir el grado de conversión al compararla con la de la carga. Además tiene otros usos como son el de determinar el faltante ó sobrante de diluyente para llevar el resíduo a una viscosidad de combustóleo comercial.
Sedimento por centrifugación	D-1796	Mantener el resíduo dentro de especificación de combustóleo. Además su nivel es una indicación del grado de severidad del proceso. A bajas y medianas severidades el contenido es menor de 1.0 %. A severidades muy altas puede ser hasta de 4 %, ó mayor.
Sedimento por Extracción con benceno.	D-2317	Detectar principalmente el contenido de carbón y por lo tanto conocer el grado de severidad en lo que respecta a la tendencia a depósitos de carbón en las paredes de los tubos del calentador, líneas de transfer y separador.
N.B.T.L. ( Thermal Stability of U.S. Navy Special Fuel Oil)	D-1661	Cumplir con esta prueba de especificación que exigen algunos clientes para el combustóleo, pues indica el grado de estabilidad térmica. ( Las tres pruebas anteriores se complementan para juzgar el grado de severidad del proceso).
Temperatura de Inflamación	D-93	Verificar que se encuentre dentro de especificación, cuando se utilice como combustóleo, para seguridad en su manejo,
Carbón Ramsbottom	D-524	Dato para referencia con respecto al resultado obtenido en la carga.
Destilado a 1000°F	D-1160	Extraer los gasóleos volátiles a esa temperatura para comparar este resultado con los de la carga. En esta forma se puede determinar el grado de conversión de carga a destilados con la misma temperatura final de ebullición. Este dato es útil para hacer evaluaciones diversas. Entre otras indica cuantitativamente el contenido de gasóleos que pueden ser aprovechables como carga a plantas catalíticas.
Azufre	D-129	Cuando el resíduo va a combustóleo, que es su uso más común, éste dato lo clasifica en cuanto si cumple ó no con una especificación; en algunos casos puede afectar el precio del combustóleo.

METODOLOGIA EMPLEADA PARA EL DESARROLLO  
DEL MODELO DE ESTIMACION

" Si los sentidos no son veraces,  
toda nuestra razón es falsa. "

LUCRECIO

Básicamente la metodología que se empleó para el desarrollo del modelo; consta de los siguientes pasos:

1A.- Recopilación de información de la Unidad Industrial de Viscoreducción;

La información obtenida; se tabuló en hojas estadísticas, las cuales presentaron el siguiente formato:

		1	2
		FECHA	
CONCEPTOS			
1	* CARACTERISTICAS DE LA CARGA		
2	- Peso Específico a 20/4°C		
3	- Viscosidad a 98.9 °C, S.U.S.		
4	.		
5	.		
6	* CONDICIONES DE OPERACION		
7	- Temperatura de salida del horno, °C		
8	- Tiempo de residencia, segundos		
9	.		
10	.		
11	* RENDIMIENTOS DE PRODUCTOS		
12	- Gas, % volúmen		
13	- Gasolina, % volúmen		
14	- Resíduo, % volúmen		
15	:		
16	* CARACTERISTICAS DE PRODUCTOS		
17	- Gas.- Composición molar / Peso Esp. a 20/4°C, etc		
18	- Gasolina.- Peso Esp. a 20/4°C / Número de Oct. etc		
19	- Resíduo.- Peso Esp. a 20/4°C / Viscosidades. etc		
20			
21			
22			
23			

1B. - Paralelamente al paso anterior, se desarrolló la búsqueda bibliográfica referente al proceso en cuestión.

2A. - Una vez, integradas las hojas estadísticas, se procedió a efectuar una clasificación de la información. Es de hacerse notar que ésta, se llevo a cabo en conjunto con el ingeniero de zona del sector primario de la refinería de Azcapotzalco de Petróleos Mexicanos.

Esto se desarrolló con el fin de eliminar información errónea ( ruido ) la cual no representa el comportamiento real de la unidad. El ruido proviene principalmente de dos fuentes típicas :

- a) Lectura de medidores falseada por falla mecánica y/o deficiencia en la instrumentación.
- b) Situaciones anormales en la planta; paro e inicio de operación, falla en algún equipo en específico, reparaciones y modificaciones en la operación de la misma etc.

De tal forma que de 200 bloques de datos recopilados se eliminaron mas del 25 %. Y en base a éstos se desarrolló el modelo que a continuación se presentará.

2B. -De la bibliografía encontrada se seleccionó, aquella que presentara ya en sí, algún modelo desarrollado o correcciones indirectas para su desarrollo.

En este punto se encontró que Cooper y Ballard proponen correlaciones para máxima severidad aplicadas a diferentes tipos de cargas. Rhoe y Bligniers sin embargo, presentan un estudio sobre el efecto de la duración de la corrida en función precisamente de la severidad aplicada. Allen; Little; Wadill sin embargo tratan más ampliamente el tema y muestran correlaciones más complejas.

3A.-A partir de la información obtenida en 2A se procedió a efectuar el análisis matemático por medio de algoritmos de regresión múltiple y lineal con el fin de conocer las correlaciones existentes entre todas las variables involucradas.

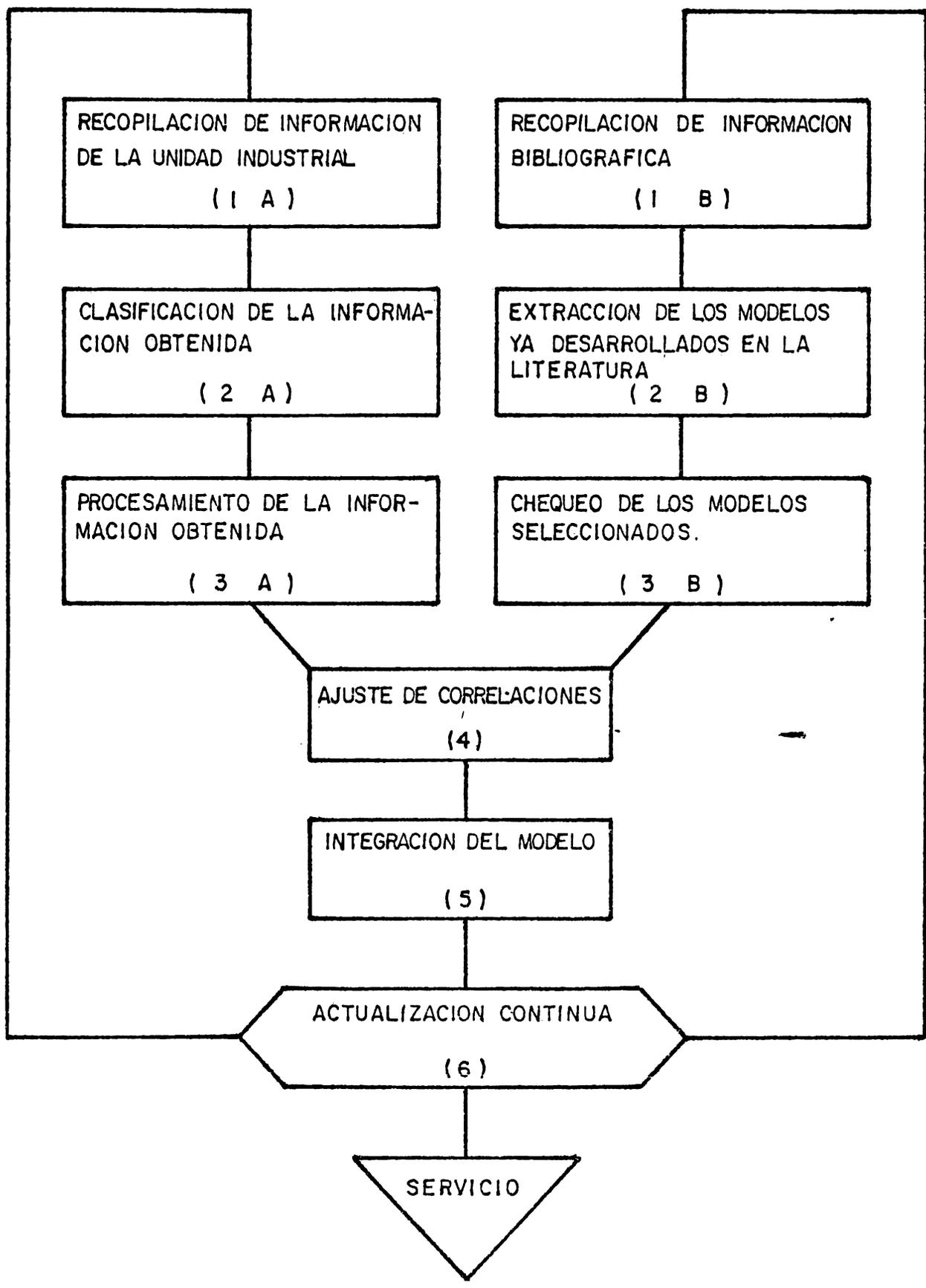
Se hizo uso del paquete estadístico y probabilístico de la Burroughs Central de la U.N.A.M. así como de la UNIVAC del I.M.P. ( Sistema 1100 ). Se utilizaron también programas de ajustes de curvas en los cuales se probaron cerca de 60 ecuaciones para determinar la correlación de los datos seleccionados más confiable. ( Este programa llamado de cúmulos se encuentra en el I.M.A.S. de la U.N.A.M. ).

3B.-De los modelos de la literatura seleccionados, se probaron y ajustaron con información real de la unidad industrial. Es de mencionarse que de ellos se tomaron como primer paso el tratar de correlacionar las variables que ellos mismos proponían.

- 4.- Una vez teniendo ya las conclusiones y resultados de los pasos 3A y 3B se procedió a seleccionar las correlaciones de mayor confiabilidad, efectuando por último un ajuste total de todo el modelo. ( Aceptando un 5 % máx. de Desv.)
- 5.- Por último se llevó a cabo la integración de las correlaciones y su ordenación para determinar ya en sí la secuencia de cálculo y su programación. De tal forma que se obtuviera el modelo final.
- 6.- Este paso consiste en actualizar continuamente el modelo, con nueva información que arroje la unidad de proceso. De lo anterior se desprende que el modelo necesariamente debe de depurarse hasta obtener un coeficiente de correlación cercano a 1.0 y así obtener una considerable precisión y menor desviación de la realidad.
- 7.- Aplicación o servicio al usuario.

Es de mencionarse que los ajustes que se llevaron a cabo utilizaron métodos matemáticos de tipo sencillo tales como mínimos cuadrados, regresiones lineales, Runge K., polinomios, análisis iterativos y el soft-ware de Cúmulos proporcionado por la U.N.A.M.. Todo ello con el fin de obtener el mayor grado de precisión para la reproducción fiel de las variables involucradas, aceptando un error máximo del 5 % en todos los casos.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGIA EMPLEADA



SISTEMA DE CALCULO

" La paradoja está ahora totalmente establecida: Las mayores abstracciones son las verdaderas armas con las cuales se controla nuestro concepto de los hechos concretos".

A.N. WHITEHEAD.

En base a las actuales necesidades de Petróleos Mexicanos de contar con una herramienta de estimación y predicción que permita conocer de antemano el comportamiento de los diferentes tipos de cargas que se alimentan a las viscoreductoras<sup>14</sup>, el presente trabajo se ha encaminado al desarrollo de un sistema de cálculo que determina en segundos los rendimientos y propiedades de los productos obtenidos, así como el ahorro de diluyente en la mencionada unidad, considerando uno o varios niveles de severidad aplicada.

El sistema de cálculo, presenta correlaciones entre las características de la carga, rendimientos y propiedades de productos para el proceso de Reducción de Viscosidad. Algunas de las correlaciones se aplican a lo que se denomina máxima severidad;<sup>16</sup> esto es a la combinación de las variables: Temperatura, tiempo de residencia y presión para la obtención de máxima producción de gasolina y un residuo que satisfaga, al ser diluido en la preparación de combustóleos, la prueba de estabilidad térmica ( Método ASTM D-1661 explicada anteriormente ).

Debido a la necesidad de un sistema de cálculo más flexible, que se aplique a casos en los cuales el grado de severidad sea menor al máximo, las correlaciones se ajustaron con datos experimentales de la planta industrial de la Refinería de Azcapotzalco e información bibliográfica. El término grado de severidad se define en el sistema como la relación en porciento volúmen de la cantidad

de gasolina obtenida y la que se obtendría si se operará a máxima severidad.

## DESARROLLO DEL SISTEMA DE CALCULO

La secuencia que se presenta, se basa en propiedades de la carga, tales como: Gravedad Específica, Factor de caracterización, insolubles en pentano, Viscosidad y otras características importantes, así como en la severidad a aplicar (rendimiento de gasolina deseado).

### A) Medidas de Severidad

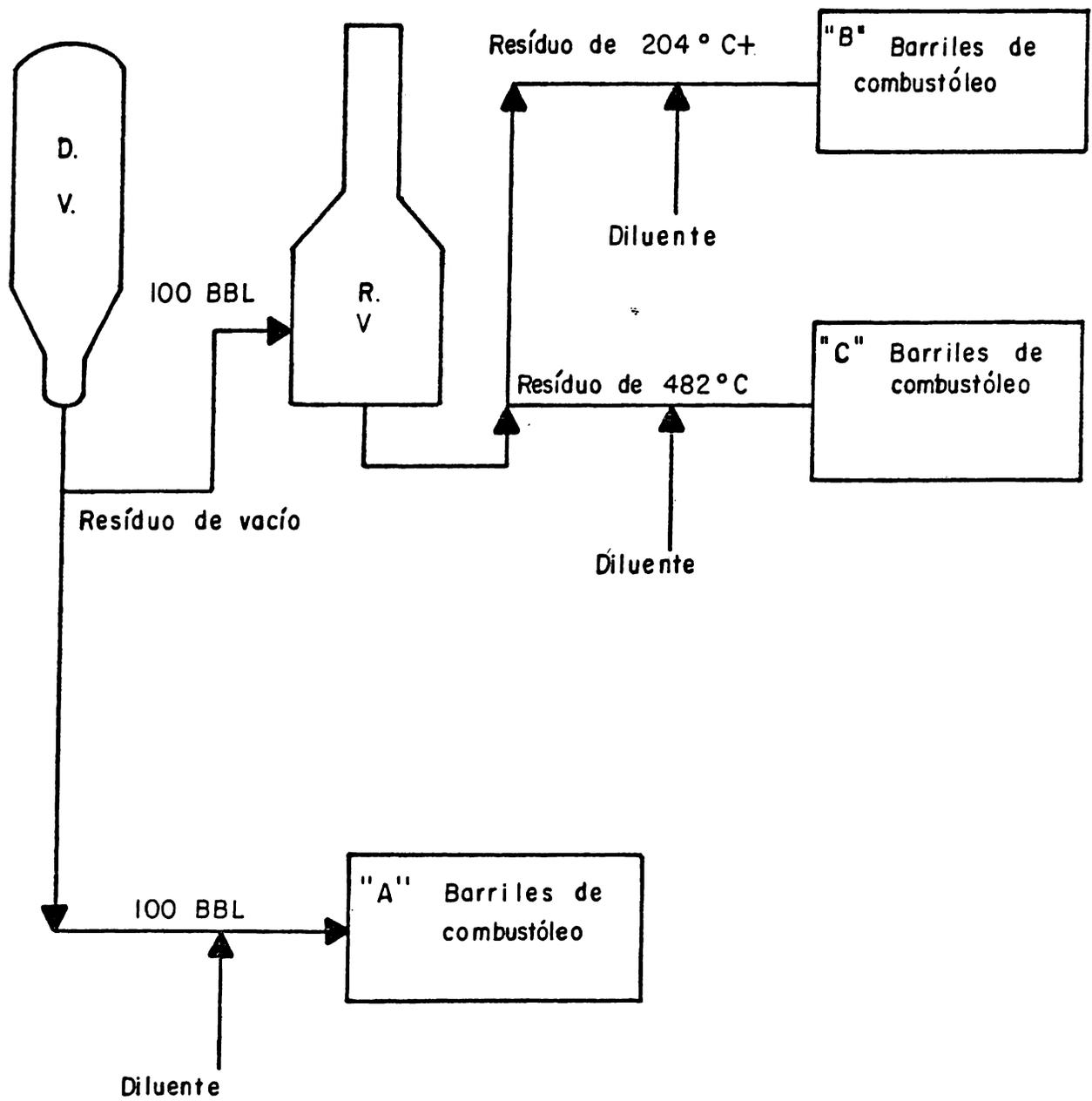
A.1) Severidad.- Como se mencionó, el término severidad se define en el sistema de cálculo como la relación en % volúmen de la cantidad de gasolina obtenida y la que se obtendría si se operará a máxima severidad ( gráfica 1 ).

$$\text{Severidad} = \frac{\text{Gasolina obtenida en \% vol.}}{\text{Gasolina Máxima severidad}}$$

### A.2) Indice de reducción de combustóleo ( I. R. C. ). -

Es la diferencia entre los barriles obtenidos de combustóleo de 300 SSF a 50°C a partir de 100 barriles de carga obtenidos por dilución directa y los barriles de combustóleo de 300 SSF a 50°C obtenidos por dilución del residuo de 204°C+ ó de 482°C+ obtenidos en la unidad viscoreductora.

En el siguiente diagrama se muestra gráficamente lo señalado anteriormente.



Nomenclatura : D.V. = Destilación al vacío ; R.V. = Red. de viscosidad.

Así, la ecuación para el cálculo del I.R.C. sería :

$$\text{I.R.C.} = ( A - B \text{ ó } C )$$

En las gráficas N° 2 , 3 y 4 se presentan relaciones entre el contenido de insolubles en pentano normal de la carga y el I.R.C. en función de la severidad aplicada.

A.3) Reducción de Viscosidad.- Es la relación entre la viscosidad del residuo de 482°C+ ó 204°C+ y la viscosidad de la carga determinadas a 210°F ( gráfica N° 5 ).

#### B) Distribución de productos

Los rendimientos de residuos y gasóleos se presentan en las gráficas 6 a 11 en función del contenido de insolubles en la carga y de la severidad de operación.

El rendimiento de gasolina se presenta en la gráfica uno, la cual relaciona el contenido de insolubles en pentano normal, el factor de caracterización de la carga y de la severidad aplicada. De igual forma, se estima el rendimiento de gas ( butano y más ligeros en % volumen ), Con las gráficas N° 12 y 13 del sistema de cálculo.

#### C) Propiedades de los Productos

C.1) Distribución de azufre en los productos: se puede estimar como se indica en la siguiente tabulación:

%peso de S de carga como H<sub>2</sub>S = ( 3.3 ) ( % peso S en carga )

%peso de S en la gasolina = ( 0.12 ) ( % peso S en carga )

$\% \text{ peso de S en el gasóleo lig.} = ( 0.36 ) ( \% \text{ peso S en carga } )$   
 $\% \text{ peso de S en el gasóleo pes.} = ( 0.70 ) ( \% \text{ peso S en carga } )$   
 $\% \text{ peso de S en el residuo } 204^{\circ}\text{C}+ = ( 0.94 ) ( \% \text{ peso S en carga } )$   
 $\% \text{ peso de S en el residuo } 482^{\circ}\text{C}+ = ( 1.25 ) ( \% \text{ peso S en carga } )$

C.2 ) Viscosidad de los residuos de 482°C+ y 204°C+ .- Esta se puede estimar a partir del IRC y los siguientes pasos:

IRC = Bls ( Combustóleo directo - Combst. resd. estudio )

Combustóleo Directo ( C.D. ).- Es la cantidad de combustóleo de 300 SSF a 50°C preparado a partir de 100 barriles de carga a la unidad de viscoreducción.

Combustóleo Residuo Estudio ( C.R.E. ) .- Es la cantidad de combustóleo de 300 SSF a 50°C preparado a partir del residuo de reductora de viscosidad, ya sea de 482°C+ ó de 204°C+ .

C.R.E. = C.D. - I.R.C.

$\% \text{ Res. ( 482 ó 204^{\circ}\text{C} )} = \frac{\text{Rdto. de Resd. ( 482 ó 204^{\circ}\text{C}+ ) pta.}}{\text{C.R.E. ( 482 ó 204^{\circ}\text{C}+ )}}$

Con la viscosidad del diluyente a 50°C y un diagrama de trazo ( R.E.F.U.T.A. ; Reidwood, Engler, Furol, Universal Tar Associations ; éste diagrama se muestra despues de la gráfica N°17 ) buscamos en el eje el 100% del componente ligero en la escala de mezclado obteniendo un punto. Posteriormente, con el %volumen de residuo en el combustóleo y con la viscosidad del combustóleo ( 300 SSF a 50°C ), obtenemos un segundo punto. De tal forma que con éstos trazamos una línea recta que se continúa hasta el cero por ciento del eje del componente ligero en la escala de mezclado. Este punto corresponde a la viscosidad a 50°C del residuo en estudio.

C.3 ) Peso Específico ( 20/4°C ) .- En la gráfica N° 14, se presenta la correlación entre los °API de la carga, el factor de caracterización de la misma, la severidad y el peso específico del residuo de 482°C+ .

En la gráfica N° 15, se muestra la funcionalidad entre la severidad y los pesos específicos de los residuos de 482 y 204°C.

De igual forma, con la gráfica N° 16 se puede estimar el peso específico de la gasolina en función del factor de caracterización de la carga y la severidad.

El peso específico del gasóleo de ( 204 - 482°C ) puede ser obtenido por balance considerando el peso específico del gas ( C4 y más ligeros ) como 0.430 en fase líquida.

C.4 ) Número de Octano de la gasolina .- La gráfica N° 17 correlaciona la severidad aplicada y el factor de caracterización de la carga, para estimar el número de octano de la gasolina obtenida como producto.

#### D) Condiciones de Operación

Para una misma severidad y para un mismo tipo de carga, tenemos un gran número de juegos de condiciones de operación. De tal forma que la ecuación que representa éste fenómeno es :

$$t = \frac{E/RT}{A} \ln. \frac{100 - a}{100 - a - x}$$

$$6, \quad T = \frac{-E}{R \ln \frac{1/t \ln (100 - a) / (100 - a - x)}{A}}$$

donde :

t = tiempo de reacción en segundos

E= Energía de Activación ( aprox. 47223 cal/gr-mol )

R= 1.987 cal / gr-mol °K

T= Temperatura de reacción en °K

A= Factor preexponencial; A= f( Kuop de la carga )

a = Insolubles en nC<sub>5</sub> de la carga, % Vol.

x = Rendimiento de gasolina, % Vol.

Estas nos muestran la funcionalidad entre el tipo de carga, la severidad ( rendimientos de productos ) y las condiciones de operación.<sup>12, 13</sup>

Debido a que el proceso de reducción de viscosidad; así como el de desintegración térmica, presentan reacción de primer orden<sup>7,9</sup>; la ecuación de velocidad de ésta; integrada entre límites, es del tipo:

$$k = ( 1/t ) \ln ( 100 / R ) \dots\dots\dots(A)$$

donde R = Rendimiento de gasolina, y como se sabe por la ley de Arrhenius que:

$$k = A e^{-E / RT} \dots\dots(B)$$

entonces sustituyendo ( B ) en ( A ) y considerando que la constan-

te de velocidad de reacción resulta una función de la temperatura, y que para propósitos de estimación de una expresión que da el valor global de " R " entre 420°C y la temperatura de salida del horno :

$$A e^{-E / RT} = (1 / t) \ln (100 / R)$$

de donde

$$t = (E / A^{\circ} R T) \ln (100 / R)$$

y para efectos de ajuste de la misma se tiene que :

$$t = (E / R T A^{\circ}) \ln (100-a / 100 -a- x)$$

Tiempo de Reacción :

Es la relación del volúmen del reactor ( horno ) que se encuentra a temperaturas superiores a los 420°C ( temperatura inicial de desintegración ), dividido entre el flujo de carga <sup>5</sup>.

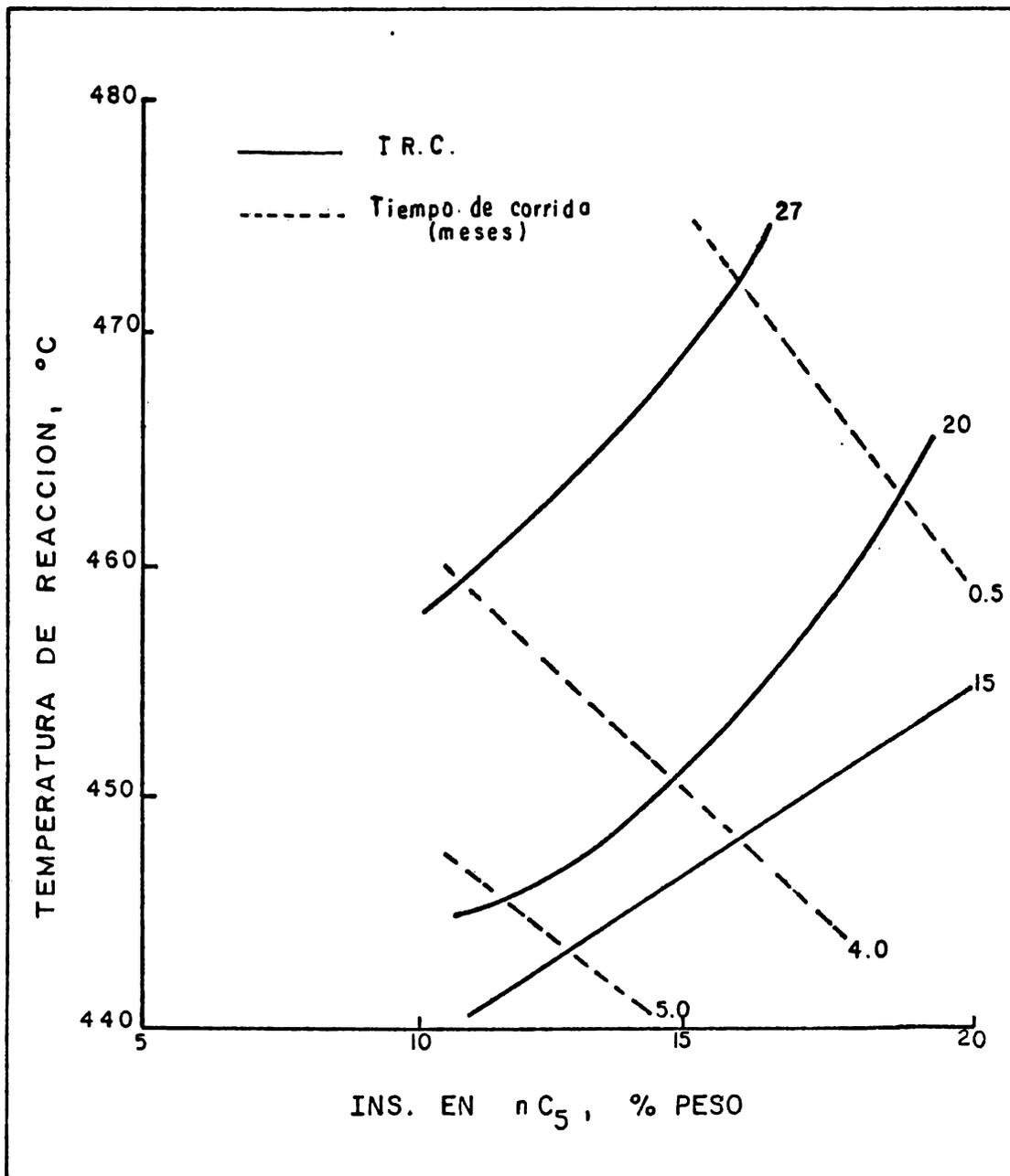
Temperatura de Reacción.-

Es la temperatura promedio en la zona de reacción ( zona que se encuentra a temperaturas superiores a los 420° C ).<sup>5, 6</sup>

Por otro lado, estas mismas variables, nos correlacionan y ayudan a estimar el tiempo de duración de la corrida <sup>10, 11</sup> para los distintos tipos de carga y a diferentes niveles

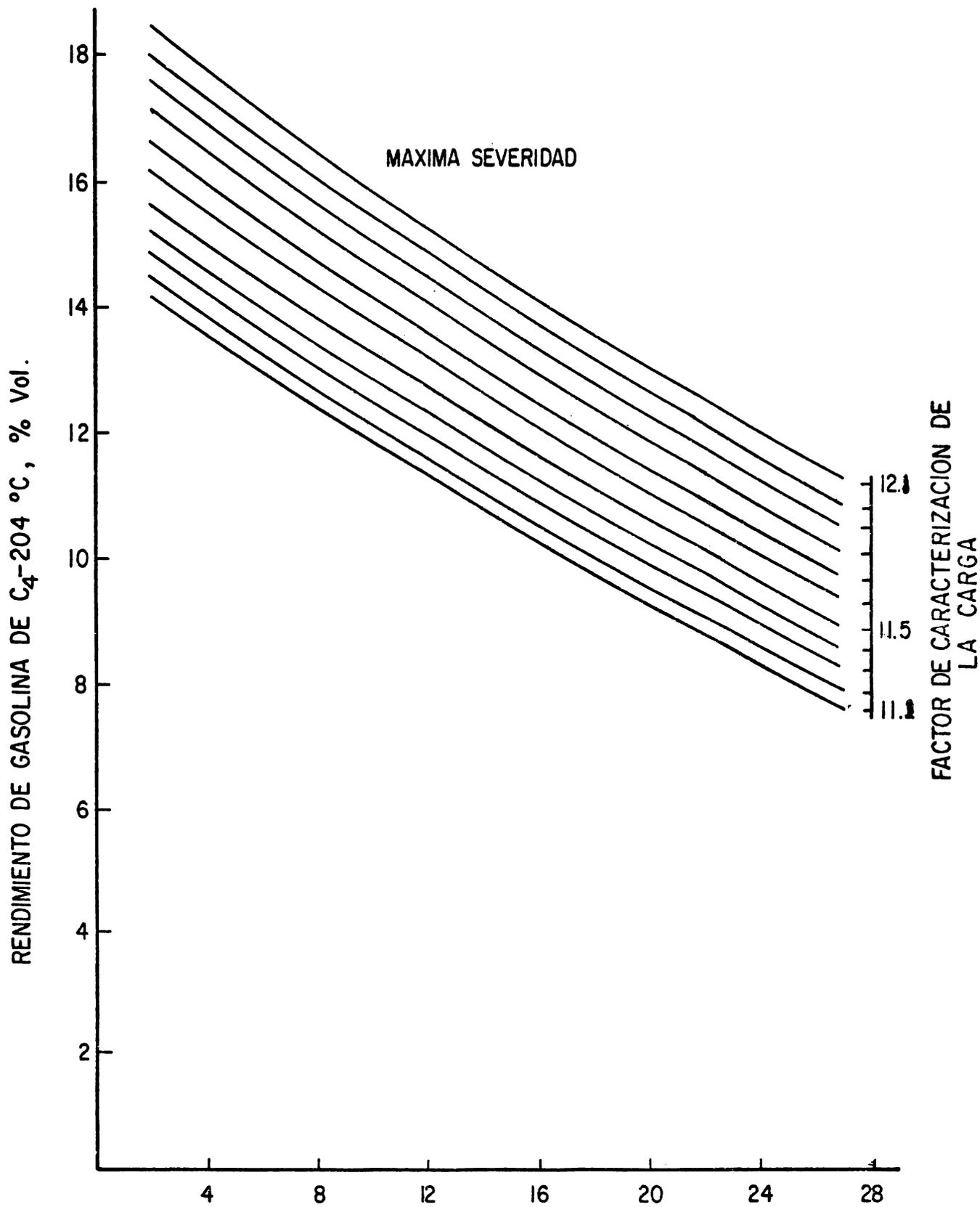
de severidad.

A continuación, se presenta esta correlación para una carga y una unidad de viscoreducción en específico ( Azcapotzalco ).



G R A F I C A S

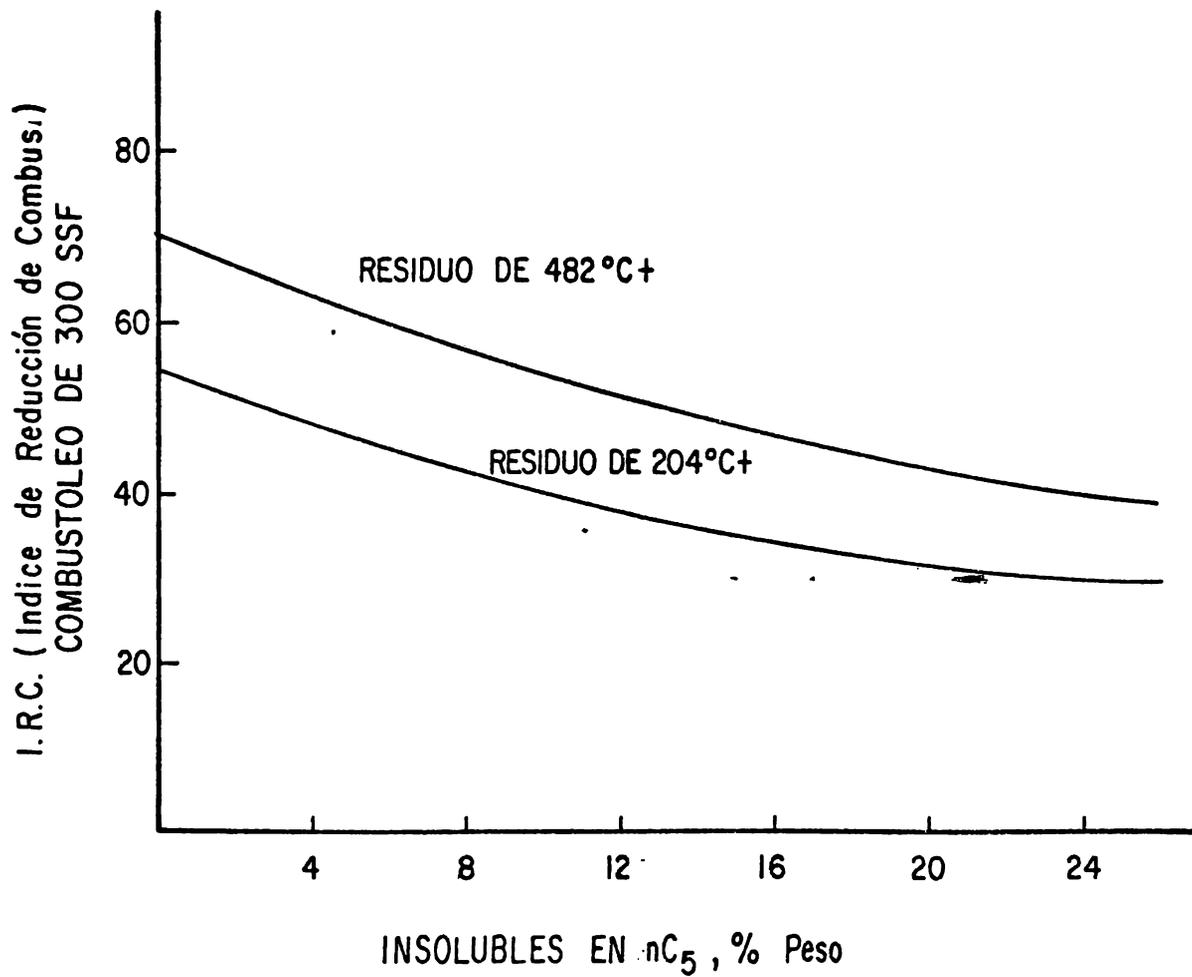
GRAFICA N° 1



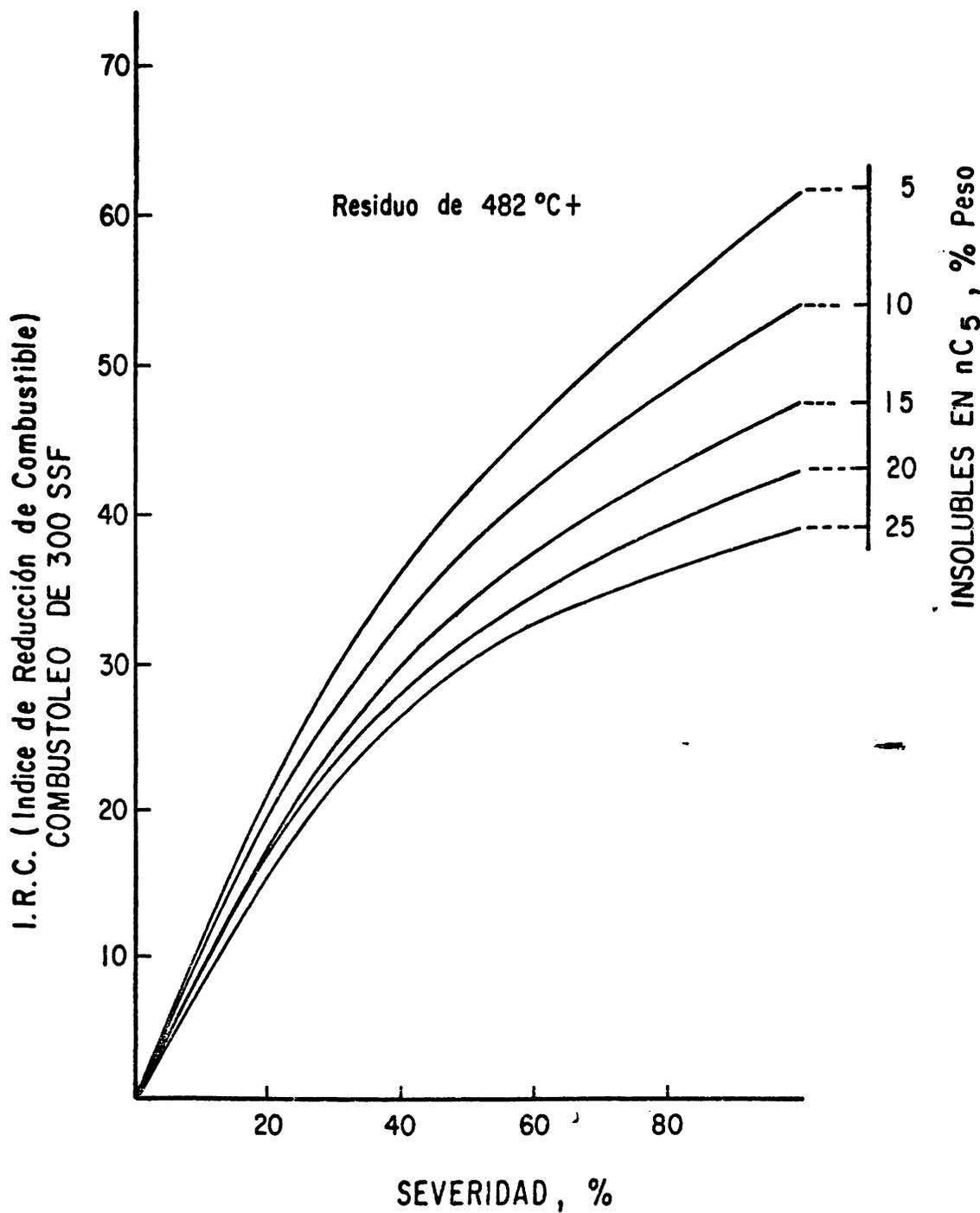
SEVERIDAD =  $\frac{\text{RENDIMIENTO DE GASOLINA OBTENIDO} \times 100}{\text{RENDIMIENTO DE GASOLINA MAXIMA SEVERIDAD}}$

### GRAFICA Nº 2

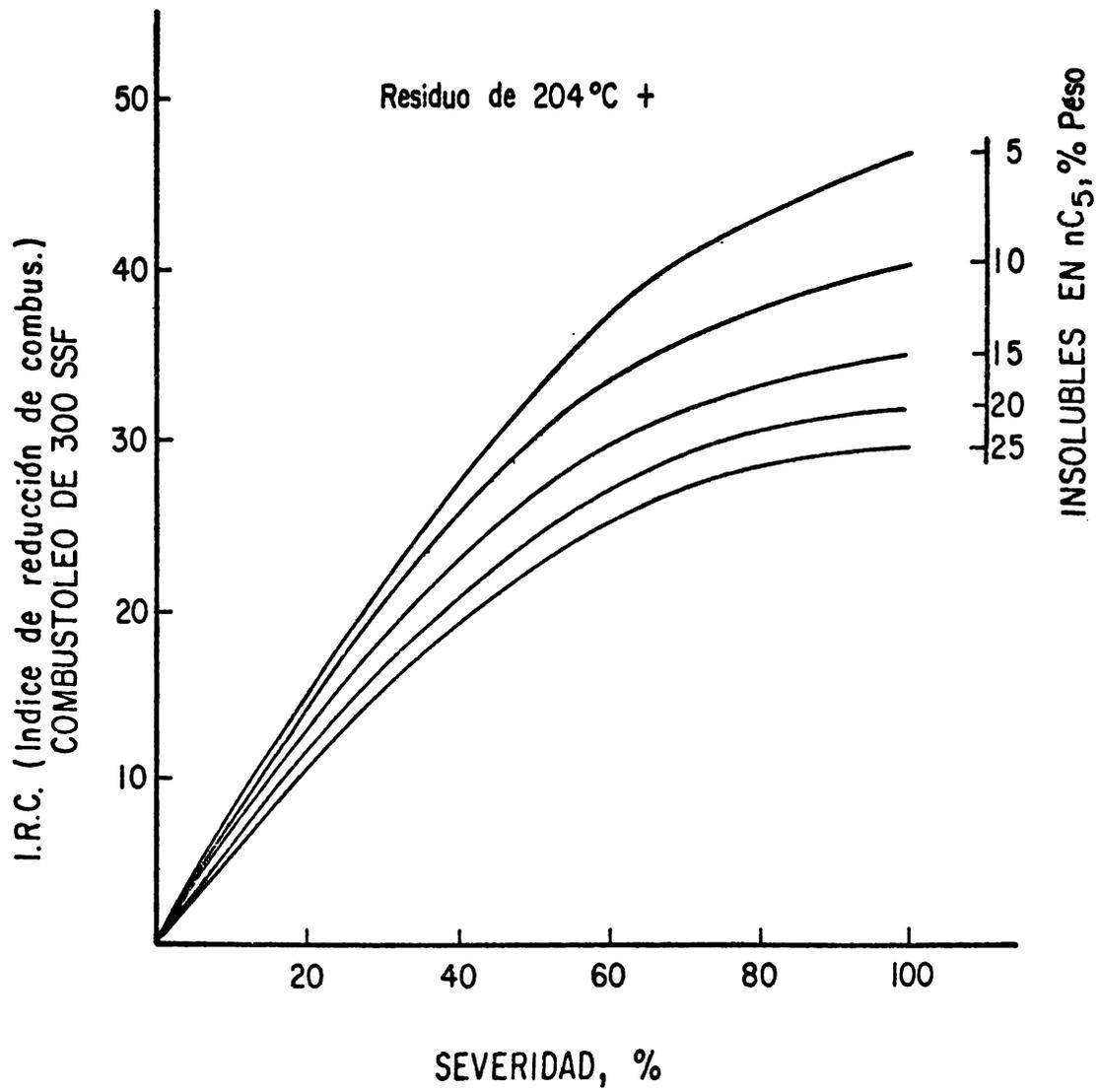
MAXIMA SEVERIDAD



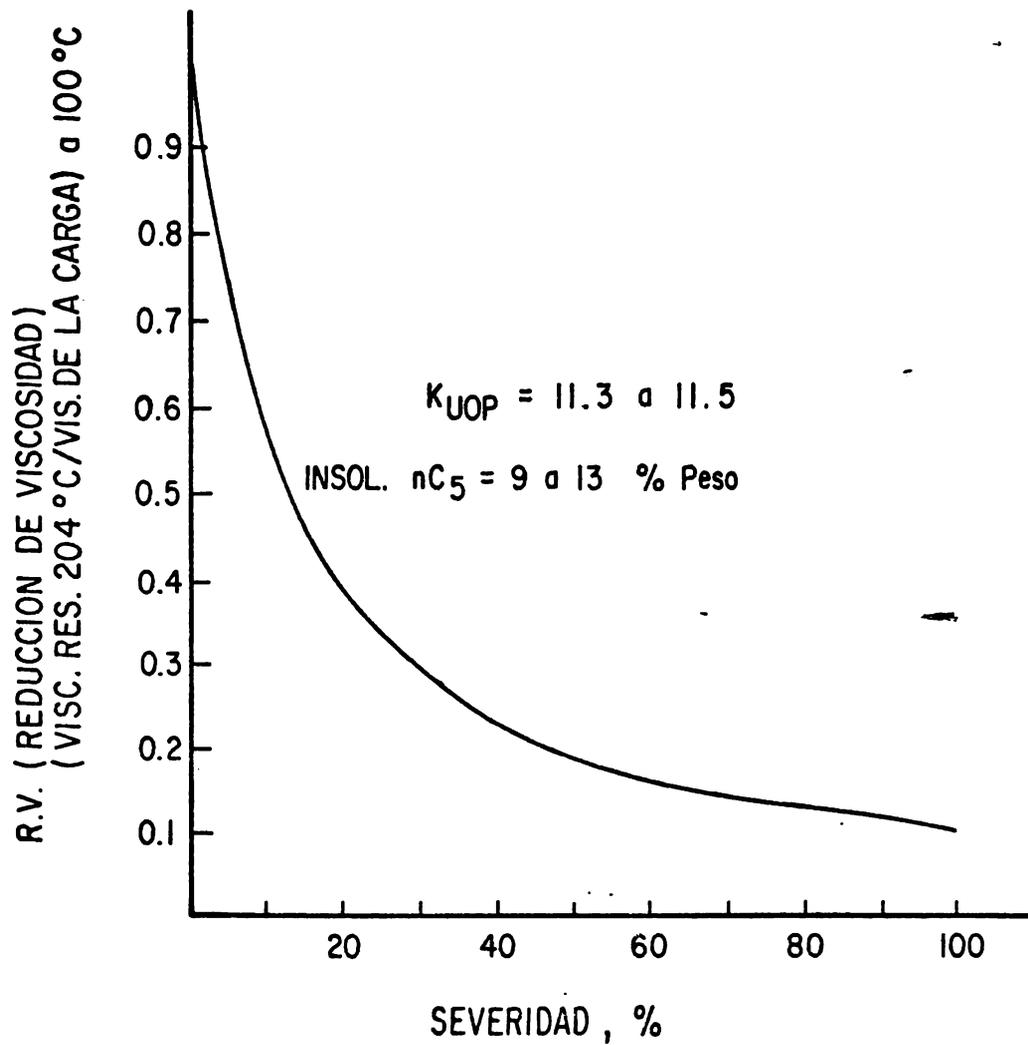
GRAFICA Nº 3



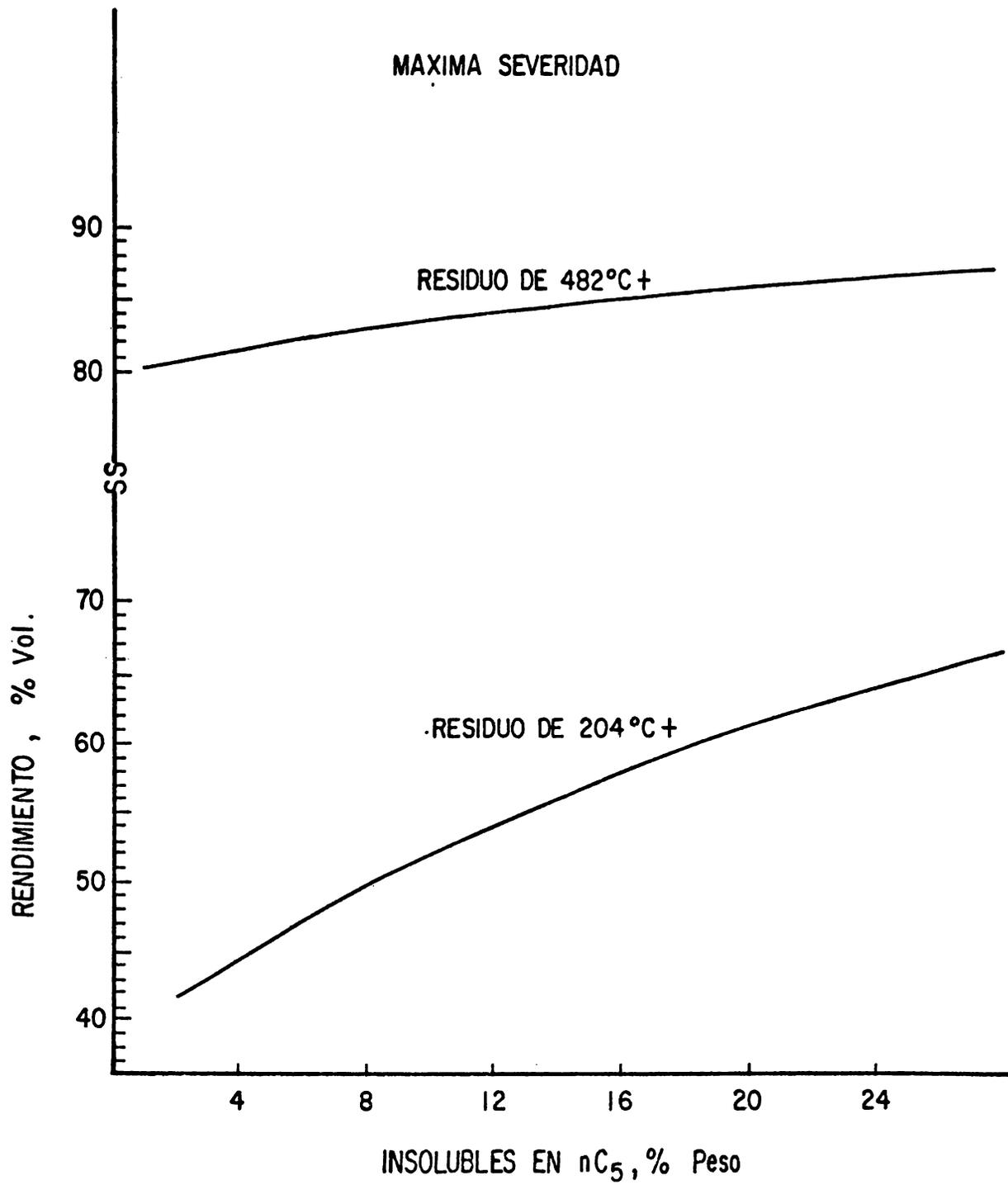
GRAFICA Nº 4



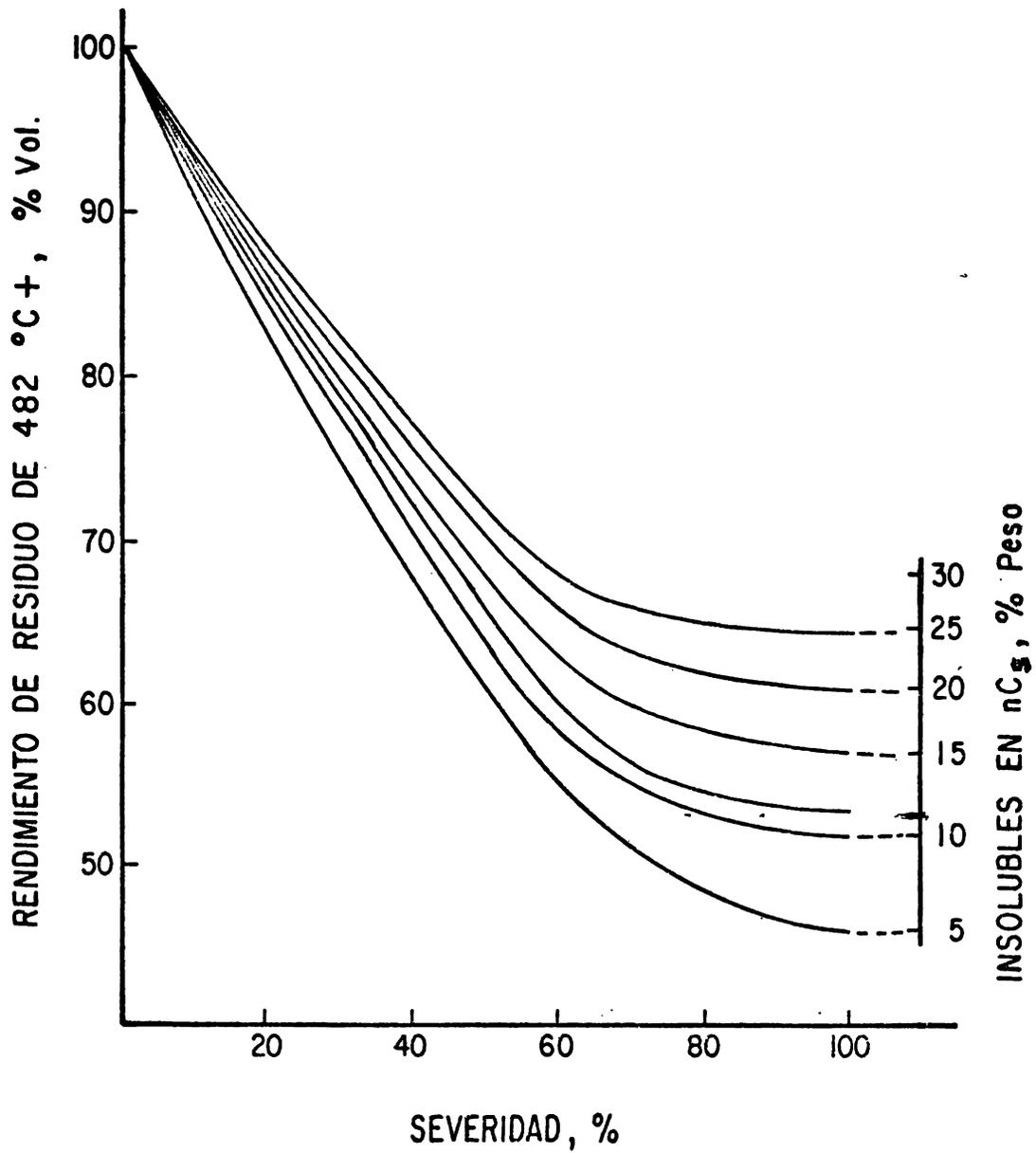
GRAFICA Nº 5



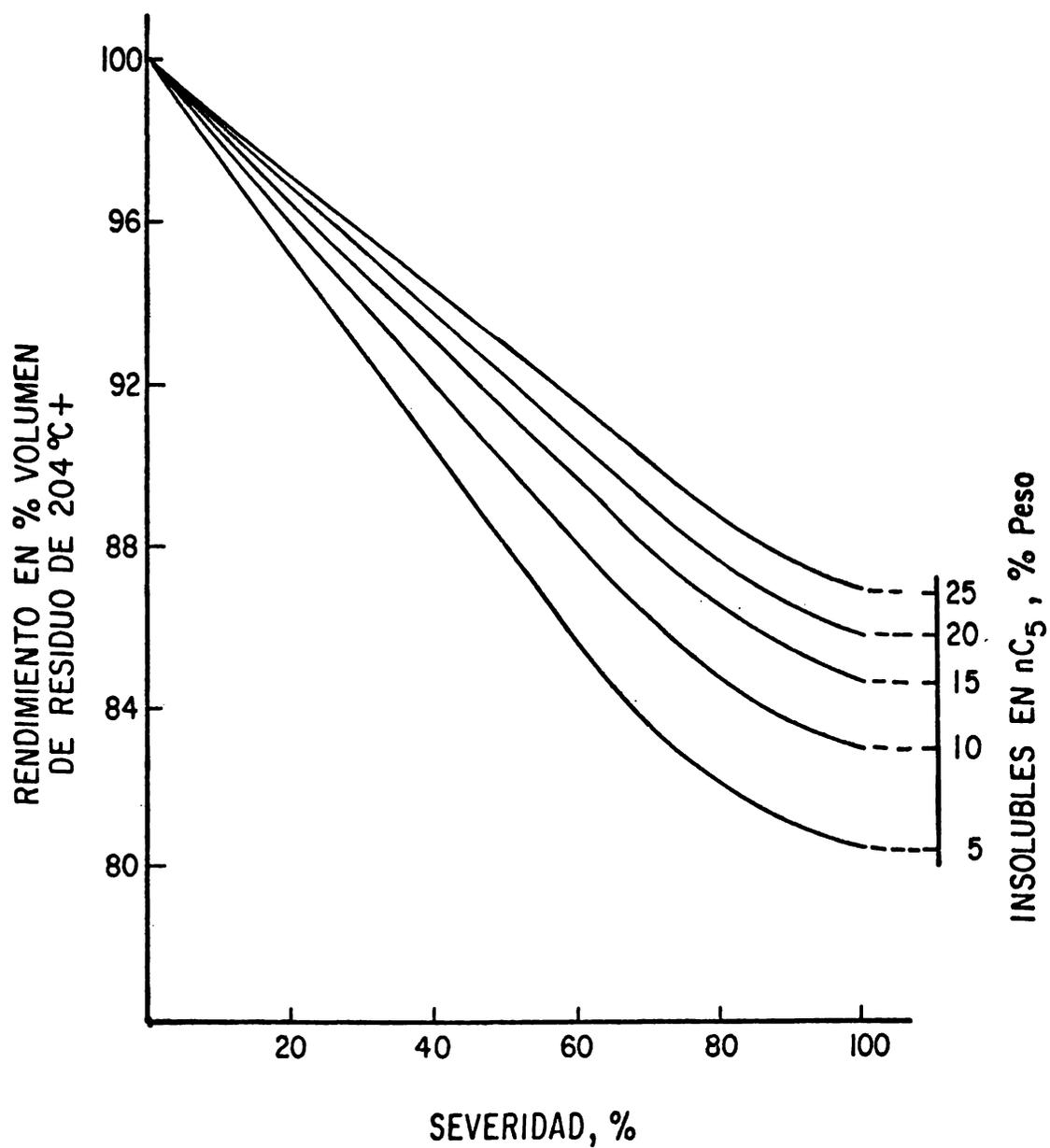
GRAFICA Nº 6



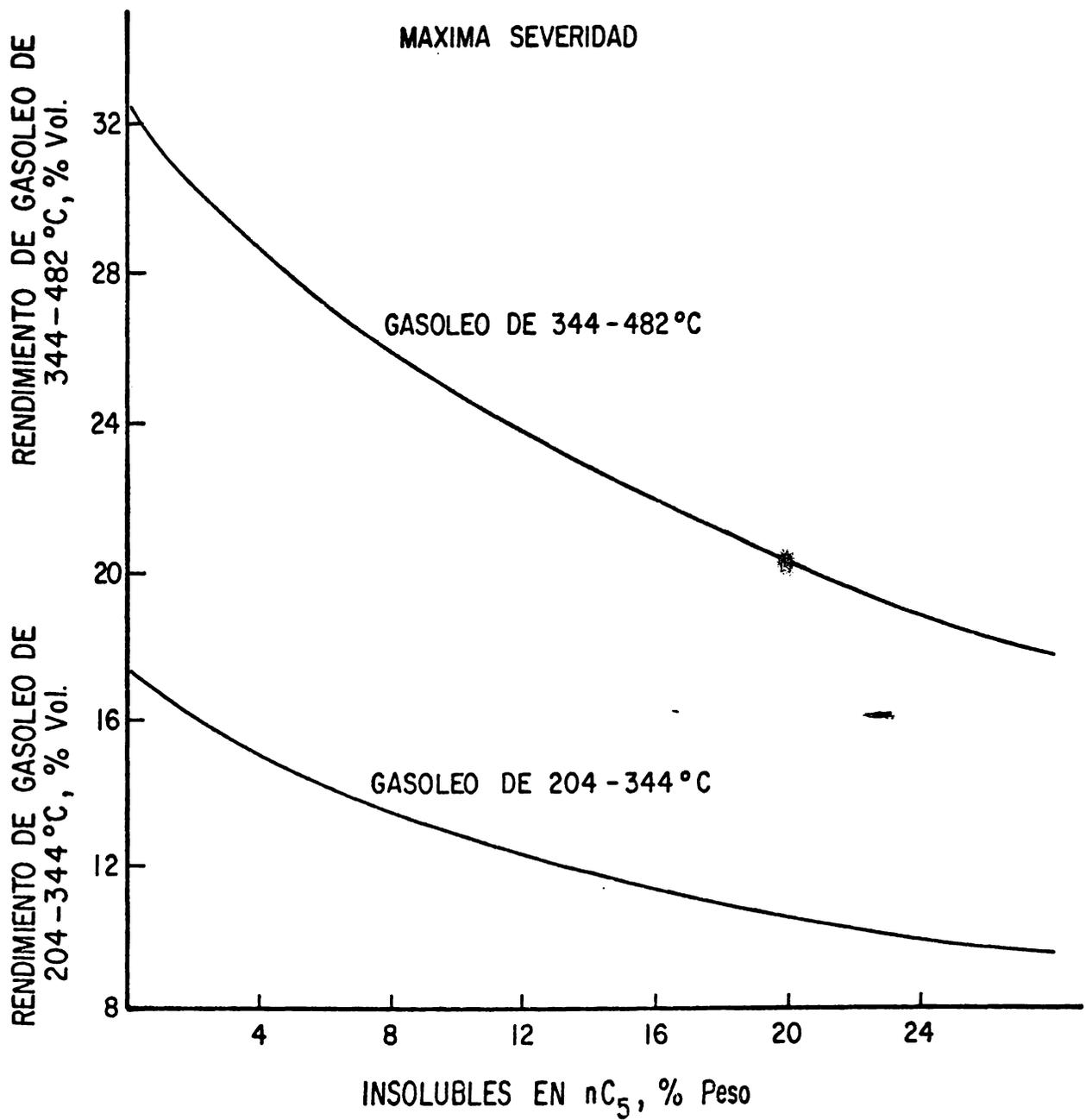
GRAFICA Nº 7



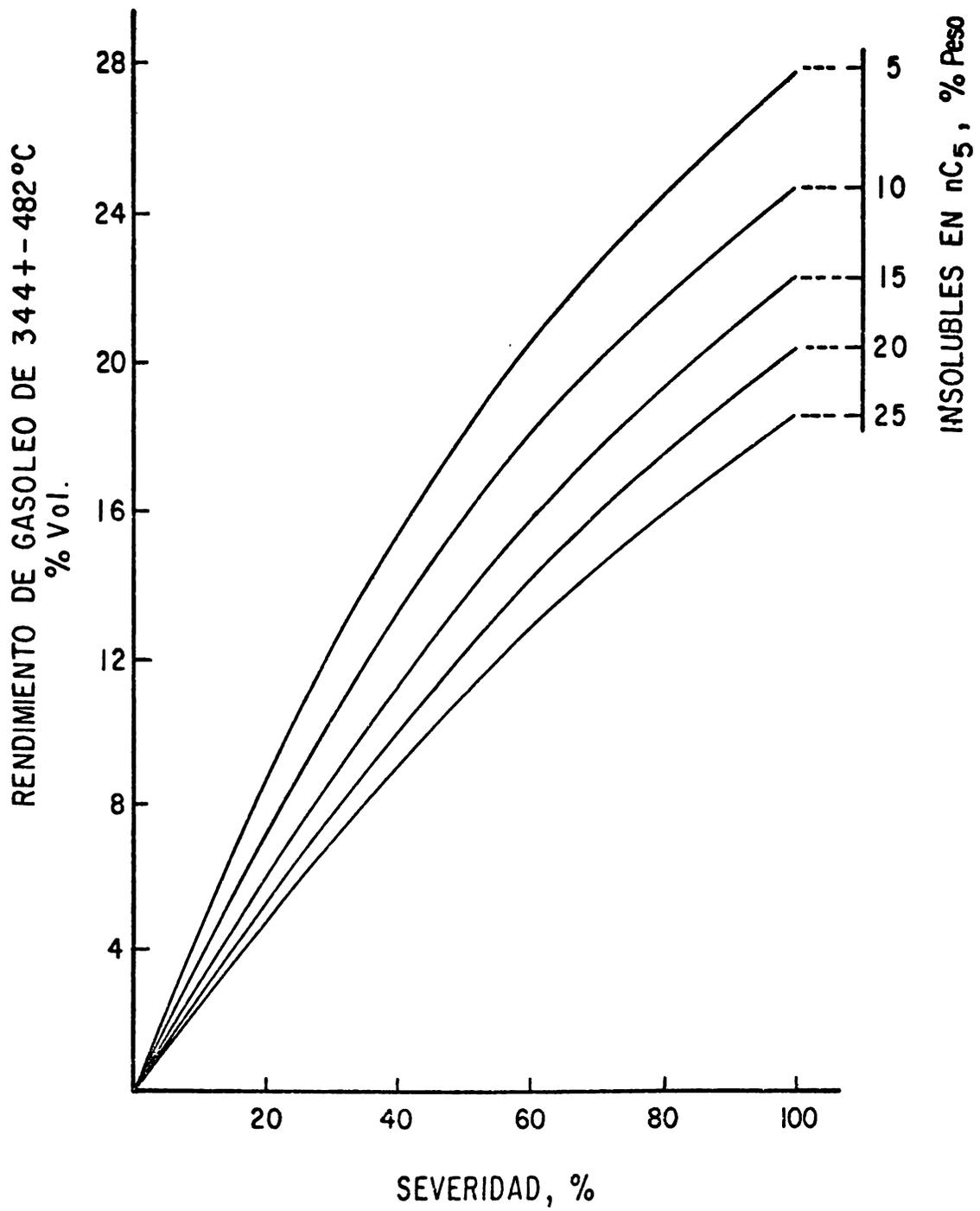
GRAFICA N° 8



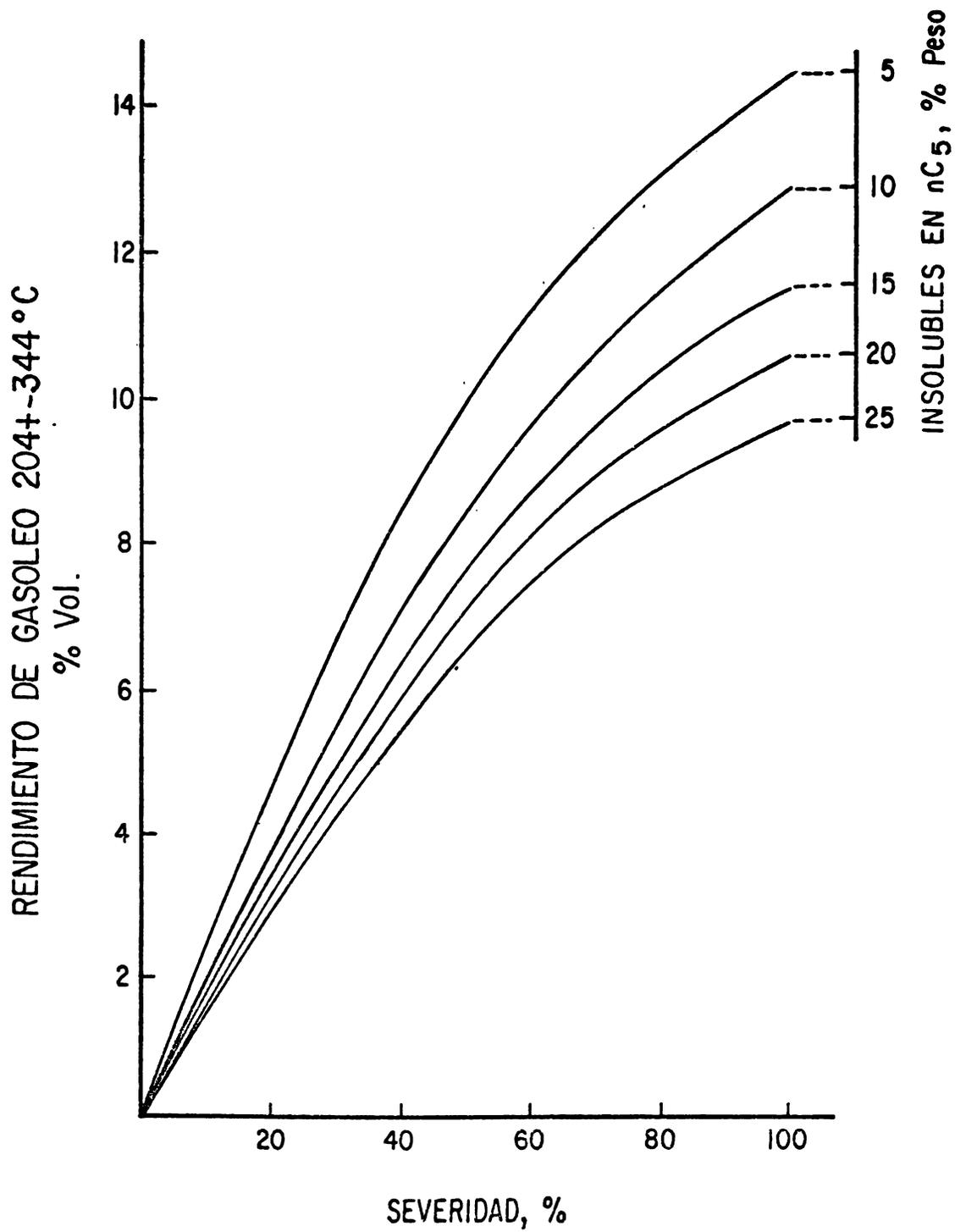
GRAFICA Nº 9



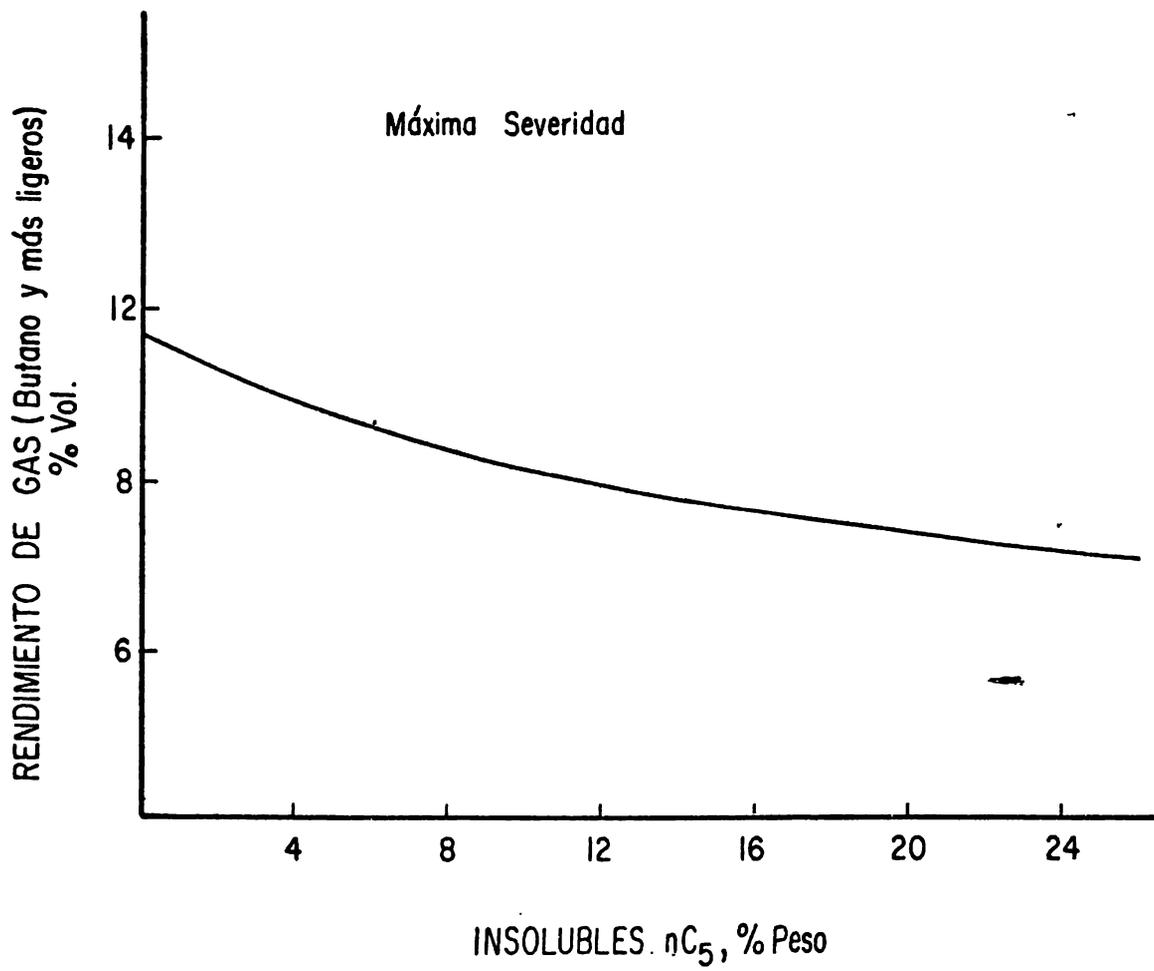
GRAFICA N° 10



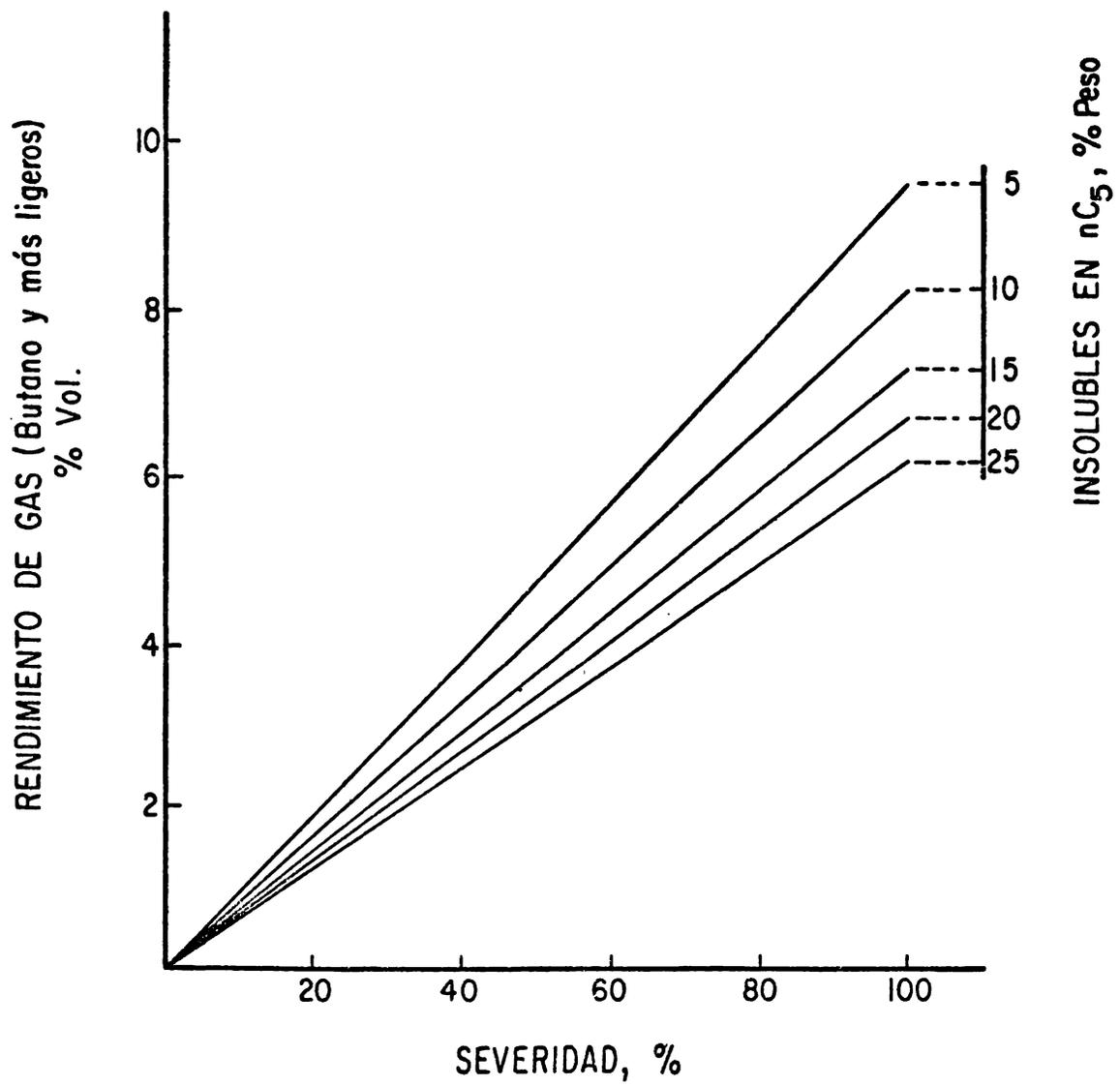
GRAFICA Nº 11



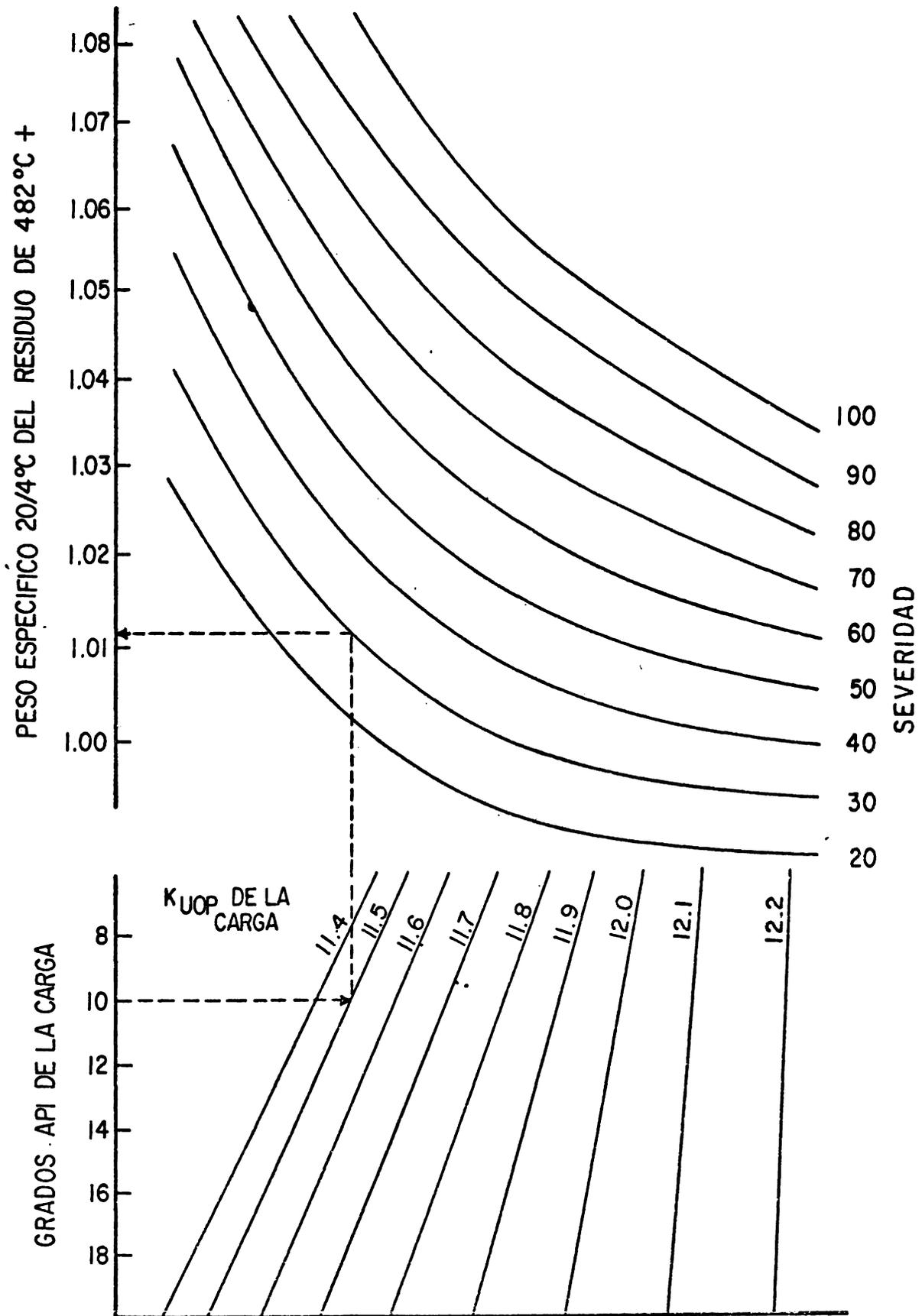
GRAFICA Nº 12



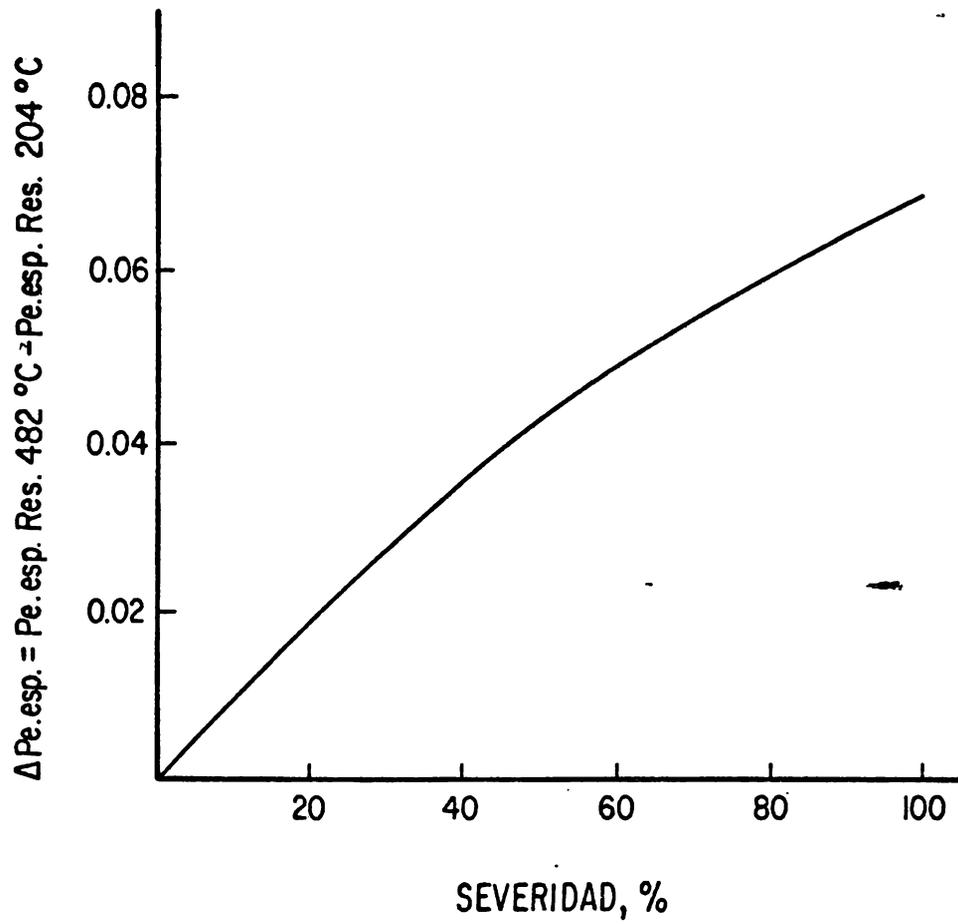
GRAFICA N° 13



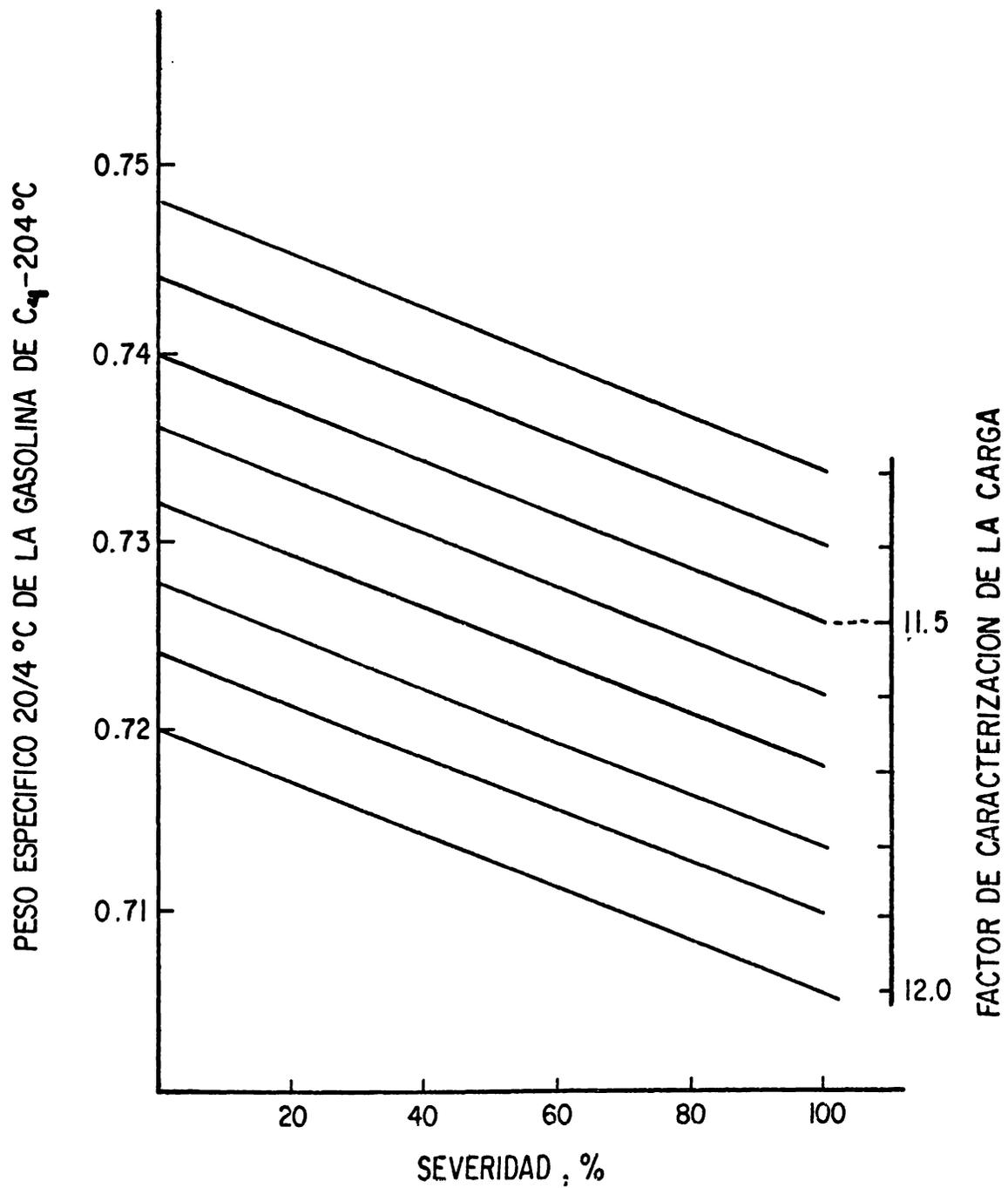
GRAFICA N° 14



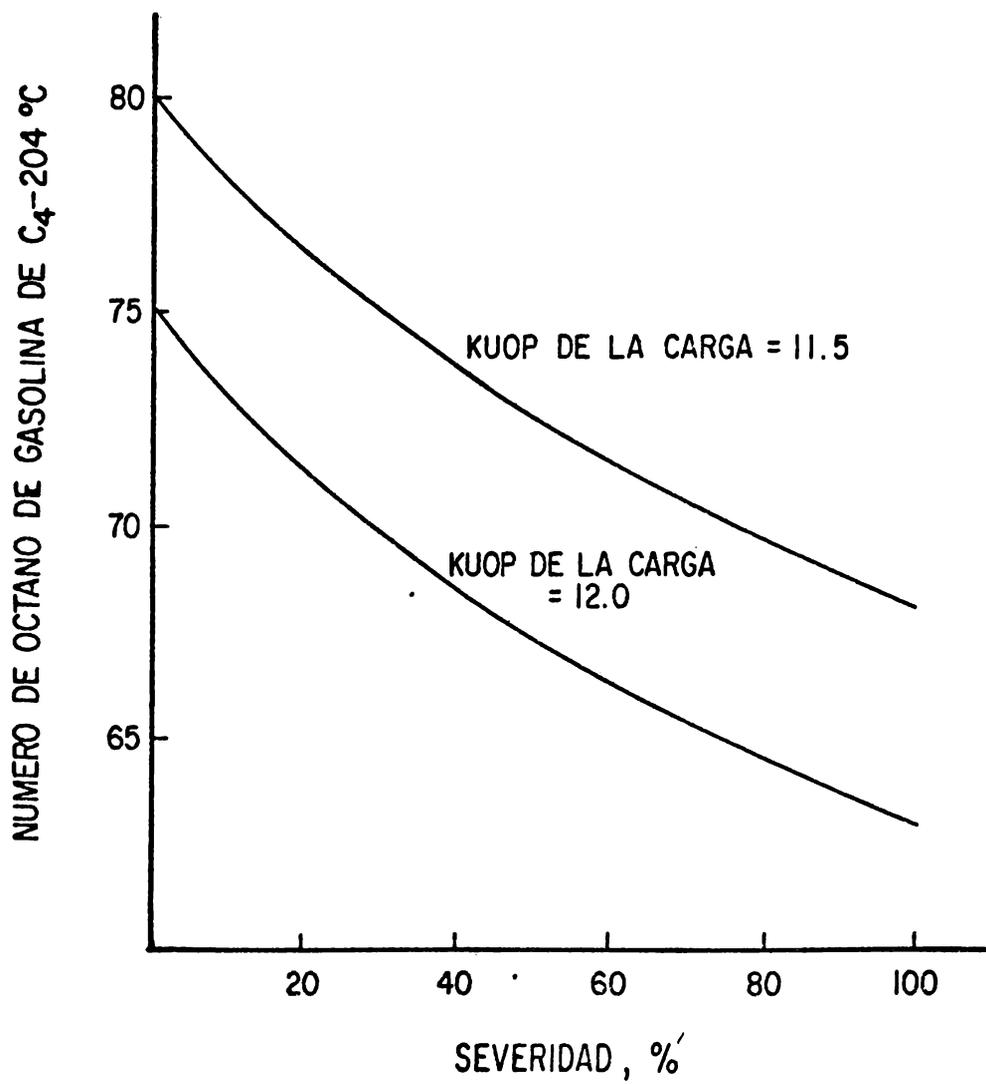
GRAFICA Nº 15

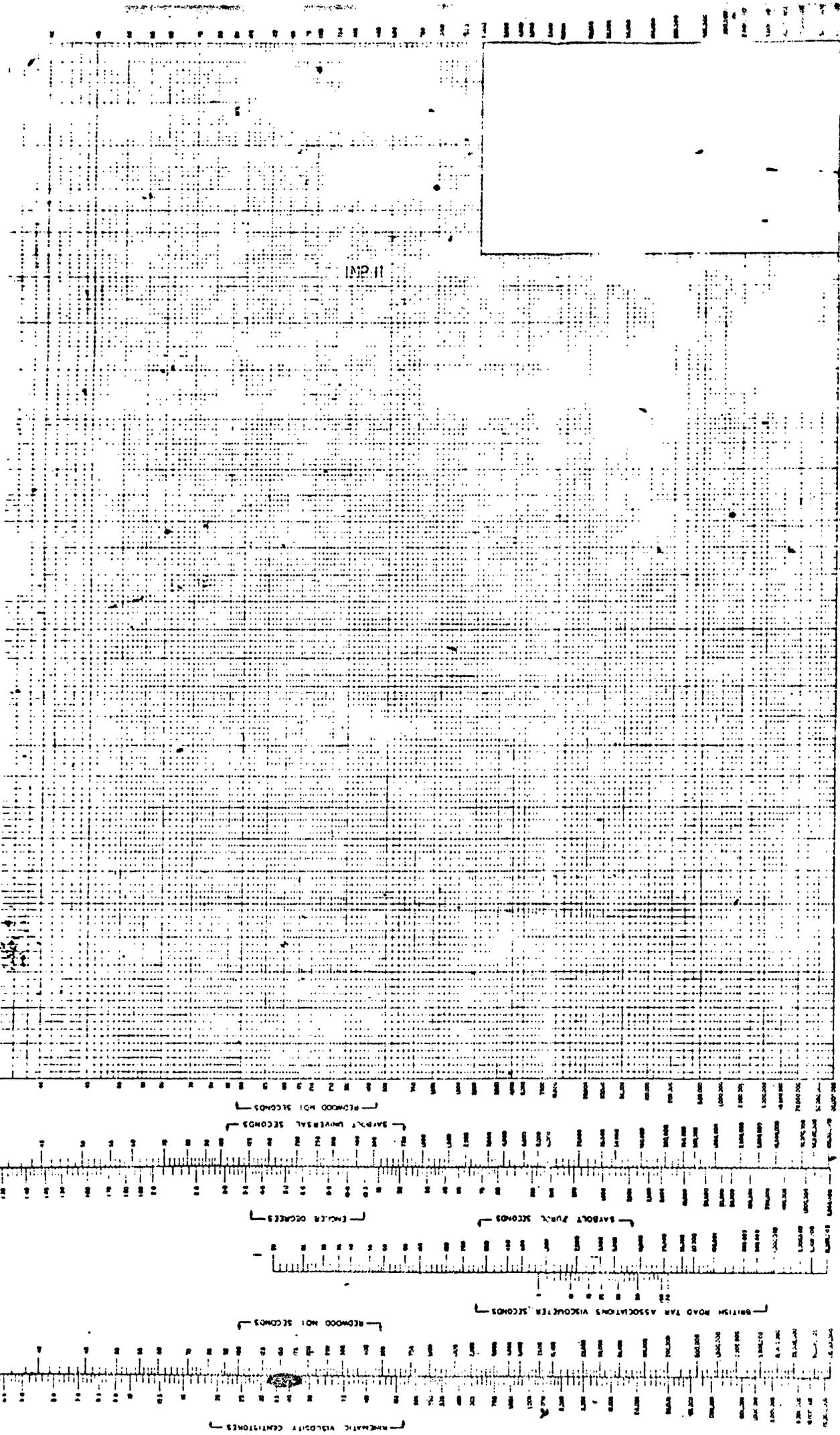


GRAFICA Nº 16



GRAFICA N°17





INP II



R E F U T A S  
 1000 17th St. S.W.  
 SEATTLE, WASH. 48

AMERICAN VISCOSITY CENTISTOSES



SAVOLT'S VISCOMETER SECONDS



SAVOLT, PLAIN SECONDS

ENGLEER DEGREES

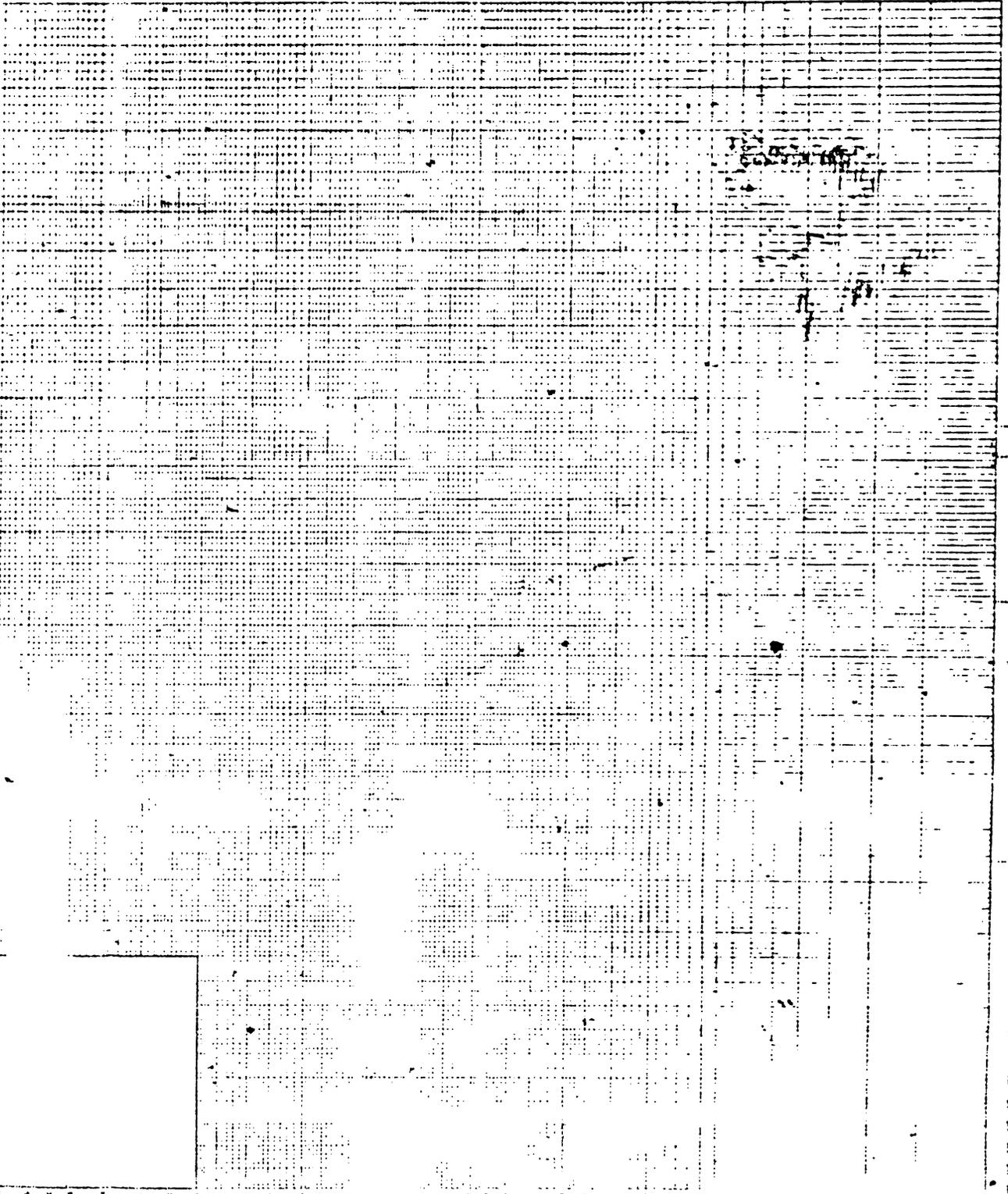


SAVOLT UNIVERSAL SECONDS

REDWOOD NO. 1 SECONDS



REDWOOD NO. 1 SECONDS  
SAVOLT'S VISCOMETER SECONDS  
SAVOLT UNIVERSAL SECONDS  
ENGLEER DEGREES  
IMP II  
SAVOLT, PLAIN SECONDS  
AMERICAN VISCOSITY CENTISTOSES



SAVOLT'S VISCOMETER SECONDS  
SAVOLT UNIVERSAL SECONDS  
ENGLEER DEGREES  
IMP II  
SAVOLT, PLAIN SECONDS  
AMERICAN VISCOSITY CENTISTOSES

SAVOLT'S VISCOMETER SECONDS  
SAVOLT UNIVERSAL SECONDS  
ENGLEER DEGREES  
IMP II  
SAVOLT, PLAIN SECONDS  
AMERICAN VISCOSITY CENTISTOSES

## RESULTADOS Y EJEMPLO MANUAL DE CÁLCULO

" Los pensamientos no son más que sueños, en tanto no se ponen a prueba. "

W. SHAKESPEARE

- 69 -

FORMATO E IMPRESION DE SALIDA  
( Print - Out )

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA ( MAESTRIA EN ING.DE PROYECTOS ).

TESIS DE GRADO ( SIMULACION UNIDAD VISCOREDUCTORA )

REFINERIA : AZCAPOTZALCO  
PLANTA : REDUCTORA DE VISCOSIDAD  
FECHA : AGOSTO DE 1984  
HECHO POR : M BRAVO M

INFORMACION REQUERIDA

1.- PROPIEDADES DE LA CARGA :

- INSOLUBLES EN PENTANO NORMAL, % PESO	22.0
- FACTOR DE CARACTERIZACION, KUOP	11.2
- VISCOSIDAD A 50 C, EN SSF	2000000.0
- AZUFRE, % PESO	6.0
- GRAVEDAD A P I	4.0

2.- CONDICIONES DE OPERACION :

- RENDIMIENTO DE GASOLINA DE C5-204 ( EN % VOLUMEN )	6.8
- TIEMPO DE REACCION EN SEGUNDOS	770.0

\*\*\*\*\* \*\*\*\*\*

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA ( MAESTRIA EN ING. DE PROYECTOS ).

TESIS DE GRADO ( SIMULACION UNIDAD VISCOREDUCTORA )

REFINERIA : AZCAPOTZALCO  
PLANTA : REDUCTORA DE VISCOSIDAD  
FECHA : AGOSTO DE 1984  
HECHO POR : M BRAVO M

INFORMACION OBTENIDA

1.- RENDIMIENTOS DE PRODUCTOS

A).-

PRODUCTOS	SEVERIDAD APLICADA		SEVERIDAD MAXIMA	
	% PESO	% VOLUMEN	% PESO	% VOLUMEN
H2 - C2	54.51	68.34	55.75	69.44
C3S	28.37	20.92	27.38	20.06
C4S	17.12	10.74	16.86	10.50
* GAS TOTAL	1.92	4.71	2.53	6.40
* GASOLINA	4.77	6.30	6.29	9.23
* NAFTA P.	1.89	2.65	2.45	3.55
* GASOLEO L.	8.10	8.96	10.00	10.30
* GASOLEO P.	8.43	8.66	10.60	11.50
* RESIDUO P.	74.27	64.22	68.81	62.85

\* .- INTERVALOS DE DESTILACION :

- GAS TOTAL	C4 Y MAS LIGEROS
- GASOLINA	C5 - 204 C
- NAFTA P.	148 - 204 C
- GASOLEO L.	204 - 344 C
- GASOLEO P.	344 - 432 C
- RESIDUO P.	432 C +

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA ( MAESTRIA EN ING. DE PROYECTOS ).

TESIS DE GRADO ( SIMULACION UNIDAD VISCOREDUCTORA )

REFINERIA : AZCAPOTZALCO  
PLANTA : REDUCTORA DE VISCOSIDAD  
FECHA : AGOSTO DE 1984  
HECHO POR : M BRAVO M

INFORMACION OBTENIDA

B).-

IRC PARA PREPARACION DE COMBUSTOLEOS DE 300 SSF PARA EL RESIDUO DE 482 C	36.3782
- BARRILES DE COMBUSTOLEO A PARTIR DE 100 BARRI- LES DE CARGA	137.1097
- BARRILES DE COMBUSTOLEO A PARTIR DE LOS BARRI- LES OBTENIDOS DEL RESIDUO DE 482 C Y SU COMPO- SICION EN % VOLUMEN	100.7315 63.75

2.- CONDICIONES DE OPERACION :

- SEVERIDAD	73.6728
- TIEMPO DE REACCION EN SEGUNDOS	770.0000
- TEMPERATURA DE REACCION EN C	470.3000
- TIEMPO DE DURACION DE LA CORRIDA EN MESES	1.9514

-----

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA ( MAESTRIA EN ING. DE PROYECTOS ):

TESIS DE GRADO ( SIMULACION UNIDAD VISCOREDUCTORA )

REFINERIA : AZCAPOTZALCO  
PLANTA : REDUCTORA DE VISCOSIDAD  
FECHA : AGOSTO DE 1984  
HECHO POR : M BRAVO M

### INFORMACION OBTENIDA

#### 3.- PROPIEDADES DE LOS PRODUCTOS :

##### A).- GAS ( C4 Y MAS LIGEROS )

- PESO ESPECIFICO 20/4 C ( FASE LIQ. )	0.4292
- AZUFRE % PESO ( COMO AC. SULFH. )	19.8000

##### B).- GASOLINA ( C5 - 204 C )

- PESO ESPECIFICO 20/4 C	0.7407
- AZUFRE % PESO	0.7200
- NUMERO DE OCTANO	63.0815

##### C).- GASOLEO DE 204 A 344 C

- PESO ESPECIFICO 20/4 C	0.8893
- FACTOR DE CARACTERIZACION KUOP	11.2928
- AZUFRE % PESO	2.1600

##### D).- GASOLEO DE 344 A 482 C

- PESO ESPECIFICO 20/4 C	0.9584
- FACTOR DE CARACTERIZACION KUOP	11.2928
- AZUFRE % PESO	4.2000

##### E).- RESIDUO DE 482 C +

- PESO ESPECIFICO 20/4 C	1.1385
- Viscosidad a 50 C EN SSF	7000000.0000
- AZUFRE % PESO	7.5000

EJEMPLO MANUAL DE ESTIMACION

**Ejemplo de aplicación manual:**

**\* Datos requeridos de la carga y de severidad :**

- Ins. en nC5, % peso = 27.0
- Factor de Caract. Kuop = 11.6
- Rendto. de gasolina, %vol= 7.8
- Viscosidad de la carga  
SSF a 50° C = 2 000 000.0
- Azúfre, % peso = 3.0

**\* Secuencia de cálculo :**

- 1.- Con los insolubles, el Kuop y la gráfica No.12, leemos el rendimiento máximo de gasolina; osea a máxima severidad ( Máx. severidad = máx. obtención de gasolina y gas con residuos estables a la prueba U.S. NAVY ).

Así máxima obtención de gasolina = 9.25

con este dato y el rendimiento de gasolina deseado calculamos la severidad como sigue:

$$\text{Severidad} = \frac{7.8}{9.25} \times 100 = 84.32$$

- 2.- Con la severidad y los insolubles en nC5 de la carga estimamos :

Rendimientos, %vol. :

- Resíduo de 204° C+ = 88.8 gráfica 8
- Gasóleo de 344-482° C = 16.0 gráfica 10
- Gasóleo de 204-344° C = 8.7 gráfica 11
- Gas ( butano y más lig)= 5.0 gráfica 14

Notas: a) También se puede estimar el rendimiento del resíduo de 482° C +

b) Los gasóleos se mezclan con el resíduo totalmente en Azcapotzalco.

- 3.- Con el rendimiento de gasolina, estimamos:

Rendimientos, %vol. :

- Etano y más ligeros 3.7 gráfica 16-A
- Propano - Propileno 1.1 gráfica 16-B
- Butano-butileno 0.5 gráfica 16-C
- Nafta 149-204° C 3.0 gráfica 16-D

- 4.- Con la severidad y el contenido de insolubles estimamos el IRC en la preparación de combustóleos de 500 SSF a 50° C o de 300 SSF a 50° C, tomando como base ya sea el residuo de 482° C+ ó el de 204° C+. ( en este caso se muestra el de 204° C+ ).

$$\text{IRC} = 27.0 \quad (\text{gráfica No.4})$$

- 5.- Estimación de la viscosidad del residuo de 204° C, en base al IRC en la preparación de combustóleos de 300 SSF a 50° C, considerando un diluyente de 32 SUS a 50° C.

Si el IRC se define como se mencionó anteriormente:

$$\text{IRC} = \left[ \begin{array}{l} \text{Bls. de combst. obtenidos} \\ \text{a partir de 100 Bls de car-} \\ \text{ga, por dilución directa} \\ \text{( A )} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{Bls. de combst.} \\ \text{obtenido por di-} \\ \text{lución directa del} \\ \text{resíduo. ( B )} \end{array} \right]$$

y considerando que ya habíamos estimado el IRC, nos queda por calcular los dos paréntesis de la ecuación, ( A ) y ( B ). Así calculando el primer paréntesis, o sea los Bls. de combustóleo que se pueden obtener con 100 Bls. de carga:

En una R. E. F. U. T. A. localizamos la viscosidad de la carga y ésta a su vez la consideramos como el 100% de componente pesado. De igual forma localizamos la viscosidad del diluyente y consideramos el 100% del componente ligero. Con estos dos puntos trazamos una recta y posteriormente estimamos que para una viscosidad de 300 SSF a 50° C en el combustóleo, que porcentos de pesado y ligero conforman el mismo. Así obtenemos :

73 % de pesado y 27 % de ligero , osea :

73 Bls. de carga necesitan 27 de diluyente para preparar el combustóleo deseado. Por tanto 100 Bls. de carga necesitan 36.98 de diluyente. Así el primer paréntesis tiene un valor numérico de  $100 + 36.98 = 136.98$  y sustituyendo en la ecuación, tenemos:

$$27 = 136.98 - x \quad \text{y} \quad x = 136.98 - 27 = 109.98$$

por tanto éste es el valor numérico del segundo paréntesis. Ahora bien si nos interesa conocer los porcentajes de residuo y de diluyente que constituyen este paréntesis, realizamos los siguientes calculos; considerando la siguiente ecuación:

Bls. de Combst. de 300 = ( Rendto. %Vol. del Resd. ) + ( % vol. de  
SSF a 50° C del residuo diluyente ).

y sustituyendo en esta ecuación:

$$109.98 = ( 88.8 ) + ( \% \text{ de diluyente } )$$

$$\text{así \% de diluyente} = 109.98 - 88.8 = 21.18$$

por tanto el combustóleo tiene 80.74 de residuo y 19.25 de diluente.

Así localizamos estos puntos en la R. E. F. U. T. A., el del combustóleo y el del diluyente, trazamos una recta, la cual la extrapolamos hasta el 100% de residuo y posteriormente leemos la viscosidad del mismo.

Así la viscosidad del residuo es:

$$25000 \text{ SSF a } 50^\circ \text{ C o } 300 \text{ SSF a } 100^\circ \text{ C}$$

#### 6.- Estimación de azúfre en los productos :

Para ello se utilizan factores de cálculo según el producto, así:

Gas ( butano y más lig. )	= 3.3 x 3.0 = 9.9 % peso de H <sub>2</sub> S
Gasolina ( T.E. -204° C )	= 0.12x3.0 = 0.36% peso de S
Gasóleo ( 204-344° C )	= 0.36x3.0 = 1.08% peso de S
Gasóleo ( 344-482° C )	= 0.7 x3.0 = 2.10% peso de S
Residuo de 204° C+	= 0.94 x 3.0 = 2.82% peso de S
Residuo de 482° C+	= 1.25 x 3.0 = 3.75% peso de S

7.- Como la temperatura esta fija en 450° C procedemos a calcular el tiempo de residencia con las ecuaciones o gráficas de la sección del sistema de cálculo la cual nos correlaciona la severidad aplicada, los insolubles en nC<sub>5</sub>, el Kuop, la temperatura de reacción y el tiempo de residencia.

$$\text{Asi tiempo de residencia} = 25.0 \text{ minutos}$$

en el caso de no conocer la temperatura, habra que calcularla de la siguiente forma;

calcular el tiempo de residencia con la siguiente ecuación:

$$\text{tiempo de residencia} = \frac{423189.36}{\text{Bls. / dia de carga}}$$

con esta estimación y las gráficas y/o ecuaciones mostradas en la sección mencionada anteriormente, se obtendra la temperatura promedio de reacción.

- 8.- Con la severidad a la que estamos operando, nos dirigimos a la gráfica específica de tiempo de duración de la corrida en meses, para Azcapotzalco ( sección de sistema de cálculo ) y obtenemos el tiempo de duración de la corrida. ( Esta considera según se observa el IRC , la temperatura de reacción, los insolubles en nC5 de la carga y el mismo tiempo de duración de la corrida ).
- 9.- Las demas propiedades de los productos se calculan directamente de las gráficas anexas a este sistema.

• • •

## CONCLUSIONES

" Todo aquello que está debajo de la tierra, el tiempo lo sacará a la luz del sol ".

HORACIO

El presente sistema de cálculo es en la actualidad una herramienta de gran servicio en la operación de ésta unidad para Petróleos Mexicanos, ya que proporciona información sobre el ahorro de diluyente, los rendimientos y calidades de los productos de una carga determinada a diferentes niveles de severidad. Toda la información se obtiene en un intervalo muy corto de tiempo y con opción de realizar multicorridas, para distintos tipos de cargas. Sin dejar de mencionar que todo ello con un alto grado de confiabilidad y exactitud en la estimación realizada.

TABLA SECUENCIAL DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS  
DE CALCULO Y ENLISTADO.

" El hombre que no medita vive en la ceguera, el que medita vive en la obscuridad. No nos queda más que la elección de la negrura. En esta negrura a que, por ahora, se halla reducida nuestra ciencia, la experiencia va a tientas, la observación está a la mira, y las suposiciones van de aquí para allá. "

V. HUGO

**TABLA - SECUENCIAL**

# P R O C E D I M I E N T O D E C A L C U L O

## P R E D I C C I O N E S

ALTERNATIVA No.	INFORMACION BASICA	INFORMACION COMPLEMENTARIA										RENDIMIENTO DE PRODUCTOS EN % VOL. BASE CARGA										PROPIEDADES DE PRODUCTOS										TEMPERATURA DE REACCION	TIEMPO DE REACCION		
												PESOS ESPECIFICOS 20/4 °C										% DE AZUFRE EN LOS PRODUCTOS													
												RESIDUO DE 482 °C+	RESIDUO DE 204 °C+	GASOLEO DE 344-482 °C	GASOLEO DE 204-344 °C	GASOLINA DE C <sub>4</sub> -204 °C	GAS BUTANO Y MAS LIG.	ETANO Y MAS LIG.	PROPANO - PROPILENO	BUTANO - BUTILENO	NAFTA DE M9-204 °C	RESIDUO DE 482 °C+	RESIDUO DE 204 °C+	GASOLEO DE 204-482 °C	GASOLINA DE C <sub>4</sub> -204 °C	GASOLEO DE 204-482 °C	RESIDUO DE 482 °C+	RESIDUO DE 204 °C+	GASOLEO DE 344-482 °C	GASOLEO DE 204-344 °C	GASOLINA DE C <sub>4</sub> -204 °C			BUTANO Y MAS LIG (M <sub>7</sub> S)	
R	C	RES EN PUNTO DE A- EL AJUSTAMIENTO DE LA CARGA	FACTOR DE C- RACTERIZACION DE LA CARGA UOP.	GRADOS API DE LA CARGA	AZUFRE EN LA CARGA	TIEMPO DE REACCION	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	G-30	G-40		
							G-30	G-30	G-60	G-60	G-90	G-90	G-12	G-13	G-13	G-16	G-16	G-16	G-16	G-16	G-17	G-18	**	G-19	G-20	TAB-1	TAB-1	TAB-1	TAB-1	TAB-1	TAB-1	G-21	G-40		
							G-5	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	G-2	
							G-7	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	G-3	
							G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8	G-8
							G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10	G-10
							G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12
							G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12
							G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12
							G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12	G-12
							G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31	G-31

BSERVACIONES

○ SECUENCIA A SEGUIR PARA EL USO DE LAS CORRELACIONES  
 G: GRAFICA  
 E: ECUACION  
 TAB: TABLA

\* \* OBTENER EL PESO ESPECIFICO POR BALANCE SUPONIENDO 0.430 DE PESO ESP. PARA EL GAS EN FASE LIQUIDA.

ENLISTADO

ZUL

7/84-09:19(,0)

```

COMMON A(20),AA(16),B(16),C(10),D(10),E(41)
CHARACTER*40 IDAT
COMMON PINS,FUOP,VALI,AZUF,API,REGA,TIEM,TEMP,SP2,SP3
COMMON IDAT,INDX,VCOM
NAMELIST/ALIM/PINS,FUOP,REGA,AZUF,TEMP,TIEM/VISC/VALI,VDIL,VCOM
A,API,INDX,TEXT,IA

```

```

18 READ(5,11,ERR=10,END=9) IDAT
   READ(5,ALIM,ERR=7,END=9)
   READ(5,VISC,ERR=8,END=9)

```

11 FORMAT(A40)

C

```

RENDIMIENTO MAXIMO DE GASOLINA
IF(PINS.GT.18.OR.PINS.LT.10.)GO TO 20
AUXA=14.856571-.33100811*PINS+.28609929E-2*PINS**2+.17767250E-3
A*PINS**3-.20041911E-4*PINS**4+.51612744E-6*PINS**5
AUXB=3.5*FUOP-38.85
GO TO 21

```

20 AUXA=3.5\*FUOP-.266\*PINS-24.118

AUXB=0

21 A(1)=AUXA+AUXB

C

```

CALCULO DE SEVERIDAD
ANTA=REGA*100./A(1)
A(2)=100.
ANTB=REGA
REGA=A(1)

```

C

```

RENDIMIENOS A PRODUCTOS
40 AUXA=100.13291-.90483992*A(2)+.47234989E-2*A(2)**2-.12579254E-3
A*A(2)**3+.21096423E-5*A(2)**4-.96034426E-8*A(2)**5
AUXB=-.0096782381+.31175492*A(2)+.11738314E-2*A(2)**2-.2579535E-3
A*A(2)**3+.60860318E-5*A(2)**4-.60040353E-7*A(2)**5+.22584947E-9
B*A(2)**6
AUXC=.13108626E-2-.58828502E-1*PINS+.15160389E-1*PINS**2-.74959388
AE-3*PINS**3+.12048827E-4*PINS**4
A(3)=AUXA+AUXB*AUXC

```

C

```

RESIDUO DE 482 G.C.
AUXA=100.00836-.23774995*A(2)-.14187110E-2*A(2)**2+.99606581E-4*
AA(2)**3-.26410006E-5*A(2)**4+.29447959E-7*A(2)**5-.1116334E-9
B*A(2)**6
AUXB=-.10765074E-1+.98256110E-1*A(2)+.14201616E-2*A(2)**2-.9916820
AE-4*A(2)**3+.27533518E-5*A(2)**4-.33992774E-7*A(2)**5+.16156836E-9
B*A(2)**6-.1517314E-12*A(2)**7
AUXC=-.81175274+.2370604*PINS-.18773667E-1*PINS**2+.83588541E-3*
APINS**3-.13931361E-4*PINS**4
A(4)=AUXA+AUXB*AUXC

```

C

```

RESIDUO DE 204 G.C.
AUXA=.40455099E-1+.28411454*A(2)+.13609668E-1*A(2)**2-.41985407
AE-3*A(2)**3+.44675739E-5*A(2)**4-.16388189E-7*A(2)**5
AUXB=-.10765074E-1+.98256110E-1*A(2)+.14201616E-2*A(2)**2-
A.99168208E-4*A(2)**3+.27533518E-5*A(2)**4-.33992774E-7*A(2)**5
B+.16156836E-9*A(2)**6-.1517314E-12*A(2)**7
AUXC=-.81175274+.23706040*PINS-.18773667E-1*PINS**2+.83588541E-3
A*PINS**3-.13931361E-4*PINS**4
A(5)=AUXA-AUXB*AUXC-.0665033252*A(2)-3.077633882

```

C

```

FUNCION 11 GASOLEO 204-482
AUXA=.13012604E-1+.22953998*A(2)+.69615242E-3*A(2)**2-.42696097
AE-4*A(2)**3+.38635655E-6*A(2)**4-.11371903E-8*A(2)**5
AUXB=.79912263E-2+.10649106*A(2)-.14718284E-2*A(2)**2+.46715494
AE-4*A(2)**3-.12477353E-5*A(2)**4+.15785822E-7*A(2)**5-.85373848
BE-10*A(2)**6+.14432987E-12*A(2)**7

```

```

AUXC=-.29937335+.45930349E-1*PINS+.41287693E-2*PINS**2-.29605896
AE-3*PINS**3+.56231929E-5*PINS**4
A(6)=AUXA-AUXB*AUXC
C   GASOLEO 204-344
AUXA=.095*A(2)
AUXB=.034*A(2)
AUXC=-1.78885+.56818676*PINS-.051940487*PINS**2+.21272499E-2*PINS
A**3-.31209788E-4*PINS**4
C   BUTANO Y MAS LIGEROS
A(7)=AUXA-AUXB*AUXC
C   ETANO Y MAS LIGEROS
A(8)=-.30366075E-2+.67961986*REGA-.40656529E-1*REGA**2+.28378043
AE-2*REGA**3-.84257622E-4*REGA**4-.55119976E-6*REGA**5
C   PROPANO-PROPILENO
A(9)=.89310657E-3+.13973474*REGA+.28371936E-1*REGA**2-.68789787
AE-2*REGA**3+.54951906E-3*REGA**4-.15209669E-4*REGA**5
C   BUTANOS-BUTILENOS
A(10)=.35529138E-3+.11683678*REGA-.12280544E-1*REGA**2+.19566477
AE-2*REGA**3-.1856845E-3*REGA**4+.65730572E-5*REGA**5
C   NAFTA 300-400 G.F.
A(11)=.32167919E-2+.5122228*REGA-.39432778E-1*REGA**2+.42183407
AE-2*REGA**3-.15685533E-3*REGA**4
IF(A(2).NE.100.)GO TO 41
DO 42 I=1,11
AA(1)=A(1)
42 CONTINUE
A(2)=ANTA
REGA=ANTB
GO TO 40
C   IRC RESIDUO A 482 G.C.
41 AUXA=.4335848E-1+.14908192E1*A(2)-.33803771E-1*A(2)**2+.87947513
AE-3*A(2)**3-.14129292E-4*A(2)**4+.11239377E-6*A(2)**5-.33959505
BE-9*A(2)**6
AUXB=.28763999E-1+.66085467*A(2)-.302722E-1*A(2)**2+.84826886E-3
A*A(2)**3-.11614362E-4*A(2)**4+.72296422E-7*A(2)**5-.9443674E-10
B*A(2)**6-.56251641E-12*A(2)**7
AUXC=-.33230351+.54807576E-1*PINS+.34885848E-2*PINS**2-.25394345
AE-3*PINS**3+.44790272E-5*PINS**4
A(12)=AUXA-AUXB*AUXC
C   IRC RESIDUO A 204 G.C.
AUXA=-.15833268E-1+.1249572E1*A(2)-.54303254E-1*A(2)**2+.19352527
AE-2*A(2)**3-.32310324E-4*A(2)**4+.2466342E-6*A(2)**5-.70545712
BE-9*A(2)**6
AUXB=.31971464E-1+.42991797*A(2)-.21307802E-1*A(2)**2+.80065338
AE-3*A(2)**3-.138224E-4*A(2)**4+.10869346E-6*A(2)**5-.31731499
BE-9*A(2)**6
AUXC=-.44440036+.98873585E-1*PINS-.16660973E-2*PINS**2
A(13)=AUXA-AUXB*AUXC-.0886206897*A(2)+6.084137931
NNN=2
CALL V50(VALI,B(1),NNN)
NNN=1
CALL V50(VDIL,B(2),NNN)
NNN=2
CALL V50(VCOM,B(3),NNN)
B(4)=(ABS(B(1)-B(3))*100)/(ABS(B(3)-B(2))+ABS(B(1)-B(3)))-1.4
B(5)=100.-B(4)
B(6)=10000./B(5)
B(7)=B(6)-A(12)
B(8)=B(6)-A(13)
B(11)=A(5)*100/B(7)

```

```

IF(B(11).GT.100.)B(11)=100.
B(9)=(B(7)-A(3))*100/B(7)
IF(B(11).LT.100.)B(9)=0.
B(12)=A(4)*100/B(8)
IF(B(12).GT.100.)B(12)=100.
B(10)=(B(8)-A(4))*100/B(8)
IF(B(12).EQ.100.)B(10)=0.
B(13)=(B(3)*100.-B(9)*B(2))/B(11)-.35
B(14)=((B(3)*100.-B(10)*B(2))/B(12))-69
NNN=4
CALL V50(B(13),B(15),NNN)
CALL V50(B(14),B(16),NNN)
C      MODULO C
C(1)=AZUF*3.3
C(2)=AZUF*.12
C(3)=AZUF*.36
C(4)=AZUF*.7
C(5)=AZUF*.94
C(6)=AZUF*1.25
EA=47223.
R=1.987
CALL EXP0(FUOP,C(7))
IF(TIEM.EQ.0)GO TO 3
C(8)=-EA/(R*ALOG(1/TIEM*ALOG((100.-PINS)/(100.-PINS-REGA)))/C(7))
C(9)=TIEM
GO TO 4
3  C(8)=TEMP
   IF(C(8).EQ.0.)GO TO 7
   C(9)=(EXP(EA/(R*TEMP)))/C(7)*ALOG((100.-PINS)/(100.-PINS-REGA))
4  C(10)=16.99715*EXP(-.02938*A(2))
   C(8)=C(8)-273.16
C      MODULO D  PESOS ESPECIFICOS 20/4
C PESO ESPECIFICO DE GASOLEOS 482 - 775 F
  D(1)=173.76556-53.066484*FUOP+4.5848739*FUOP**2-.098517651*FUOP**3
C PESO ESPECIFICO DE GASOLEOS 204 - 525 F
  D(2)=-127.50552+13.026268*FUOP+.073474687*FUOP**2
C PESO ESPECIFICO DE LA GASOLINA
  D(3)=-.153E-3*A(2)-.04*FUOP+1.2
C NUMERO DE OCTANO DE LA GASOLINA
  D(4)=194.697612-.17219894*A(2)+.12528968E-3*A(2)**2+.10746158
  AE-4*A(2)**3-.04727914E-7*A(2)**4-10*FUOP
C PESO ESPECIFICO DEL GAS
  D(5)=.0116110236*FUOP+.2968897636
C PESO ESPECIFICO DEL RESIDUO
  AUXA=42.0943-7.5344782*FUOP+.63368922*FUOP**2-.055392692*FUOP
  A**3+.24976896E-2*FUOP**4
  AUXB=1024.2077-184.00312*FUOP+8.354405*FUOP**2
  AUXC=AUXA*API+AUXB
  D(6)=.11575978-.11997565E-1*AUXC+.15326574E-2*AUXC**2-.1121512
  AE-3*AUXC**3+.3935185E-5*AUXC**4-.52781349E-7*AUXC**5
  D(6)=D(6)*(A(2)*.0125-.25)
  D(6)=1.0433*AUXC**(-.0192)+D(6)
C DELTA DEL PESO ESPECIFICO
  AUXA=-.12333323E-2+.1030943E-2*A(2)-.29341127E-5*A(2)**2
  A-.43709034E-8*A(2)**3
  D(7)=D(6)-AUXA
C FKUOP DEL GASOLEO 482 Y 204 C
  D(8)=-2.8125E-3*A(2)+.3
  D(8)=FUOP+D(8)
C      MODULO E

```

```

SP1=141.5/(A(1)+131.5)
SP2=141.5/(D(1)+131.5)
SP3=141.5/(D(2)+131.5)

```

C

```
IF (INDX.EQ.3) THEN
```

C

```
  CALCULO PARA OPCION 3 GASOLEO PESADO, LIGERO, Y RESIDUO P
```

C

```

AUXA=REGA+A(3)+A(5)+A(7)+A(11)+A(6)
IF (IA.NE.1) AUXA=100.
E(18)=REGA*100./AUXA
E(38)=A(3)*100./AUXA
E(30)=A(5)*100./AUXA
E(14)=A(7)*100./AUXA
E(22)=A(11)*100./AUXA
E(26)=A(6)*100./AUXA
AUXA=AA(1)+AA(3)+AA(5)+AA(7)+AA(11)+AA(6)
IF (IA.NE.1) AUXA=100.
E(20)=AA(1)*100./AUXA
E(40)=AA(3)*100./AUXA
E(32)=AA(5)*100./AUXA
E(16)=AA(7)*100./AUXA
E(24)=AA(11)*100./AUXA
E(28)=AA(6)*100./AUXA
SP4=(SP1*100.-E(18)*D(3)-E(38)*D(6)-E(30)*SP2-E(14)*D(5)-E(26)*
*SP3)/E(22)
IF (SP4.LT.0.71) SP4=0.75
AUXA=E(18)*D(3)+E(38)*D(6)+E(30)*SP2+E(14)*D(5)+SP4*E(22)+SP3*
*E(26)
E(17)=E(18)*D(3)*100./AUXA
E(25)=E(26)*SP3*100./AUXA
E(37)=E(38)*D(6)*100./AUXA
E(29)=E(30)*SP2*100./AUXA
E(13)=E(14)*D(5)*100./AUXA
E(21)=E(22)*SP4*100./AUXA
AUXA=E(20)*D(3)+E(40)*D(6)+E(32)*SP2+E(16)*D(5)+E(24)*SP4
*E(28)*SP3
E(19)=E(20)*D(3)*100./AUXA
E(27)=E(28)*SP3*100./AUXA
E(39)=E(40)*D(6)*100./AUXA
E(31)=E(32)*SP2*100./AUXA
E(15)=E(16)*D(5)*100./AUXA
E(23)=E(24)*SP4*100./AUXA
END IF
IF (INDX.EQ.2) THEN

```

C

C

```
  OPCION NUMERO 2 DEL RESIDUO LIGERO
```

C

```

AUXA=REGA+A(4)+A(7)+A(11)
IF (IA.NE.1) AUXA=100.
E(18)=REGA*100./AUXA
E(34)=A(4)*100./AUXA
E(26)=A(6)*100./AUXA
E(14)=A(7)*100./AUXA
E(22)=A(11)*100./AUXA
AUXA=AA(1)+AA(4)+AA(7)+AA(11)
IF (IA.NE.1) AUXA=100.
E(20)=AA(1)*100./AUXA
E(36)=AA(4)*100./AUXA
E(28)=AA(6)*100./AUXA
E(16)=AA(7)*100./AUXA

```

```

E(24)=AA(11)*100./AUXA
SP4=(SP1*100.-E(18)*D(3)-(E(34)-E(26))*D(7)-E(26)*SP3
*-E(14)*D(5))/E(22)
IF(SP4.LT.0.71)SP4=0.75
AUXA=E(18)*D(3)+(E(34)-E(26))*D(7)+E(26)*SP3+E(14)*D(5)+SP4*E(22)
E(17)=E(18)*D(3)*100./AUXA
E(33)=(E(34)-E(26))*D(7)*100./AUXA
E(25)=E(26)*SP3*100./AUXA
E(13)=E(14)*D(5)*100./AUXA
E(21)=E(22)*SP4*100./AUXA
AUXA=E(20)*D(3)+(E(34)-E(28))*D(7)+E(28)*SP3+E(16)*D(5)+SP4*E(24)
E(19)=E(20)*D(3)*100./AUXA
E(35)=(E(34)-E(26))*D(7)*100./AUXA
E(27)=E(28)*SP3*100./AUXA
E(15)=E(16)*D(5)*100./AUXA
E(23)=E(24)*SP4*100./AUXA
ELSE

```

C  
C  
C

OPCION NUMERO 1 DEL RESIDUO LIGERO

```

AUXA=REGA+A(4)+A(7)+A(11)
IF(IA.NE.1)AUXA=100.
E(18)=REGA*100./AUXA
E(34)=A(4)*100./AUXA
E(14)=A(7)*100./AUXA
E(22)=A(11)*100./AUXA
AUXA=AA(1)+AA(4)+AA(7)+AA(11)
IF(IA.NE.1)AUXA=100.
E(20)=AA(1)*100./AUXA
E(36)=AA(4)*100./AUXA
E(16)=AA(7)*100./AUXA
E(24)=AA(11)*100./AUXA
SP4=(SP1*100.-E(18)*D(3)-E(34)*D(7)-E(14)*D(5))/E(22)
IF(SP4.LT.0.71)SP4=0.75
AUXA=E(18)*D(3)+E(34)*D(7)+E(14)*D(5)+SP4*E(22)
E(17)=E(18)*D(3)*100./AUXA
E(33)=E(34)*D(7)*100./AUXA
E(13)=E(14)*D(5)*100./AUXA
E(21)=E(22)*SP4*100./AUXA
AUXA=E(20)*D(3)+E(34)*D(7)+E(16)*D(5)+SP4*E(24)
E(19)=E(20)*D(3)*100./AUXA
E(35)=E(34)*D(7)*100./AUXA
E(27)=0.
E(15)=E(16)*D(5)*100./AUXA
E(23)=E(24)*SP4*100./AUXA
END IF

```

C  
C  
C

```

AUXA=A(8)+A(9)+A(10)
E(2)=A(8)*100./AUXA
E(6)=A(9)*100./AUXA
E(10)=A(10)*100./AUXA
AUXA=E(2)*.3+E(6)*.51+E(10)*.6
E(1)=E(2)*.3*100./AUXA
E(5)=E(6)*.51*100./AUXA
E(9)=E(10)*.6*100./AUXA
AUXA=AA(8)+AA(9)+AA(10)
E(4)=AA(8)*100./AUXA
E(8)=AA(9)*100./AUXA

```

```
E(12)=AA(10)*100./AUXA
AUXA=AA(8)*.3+AA(9)*.51+AA(10)*.6
E(3)=AA(8)*.3*100./AUXA
E(7)=AA(9)*.51*100./AUXA
E(11)=AA(10)*.6*100./AUXA
IF(TEXT .EQ. 1.0) CALL TEST
CALL IMPR
DO 33 I=1,41
E(I)=0.
IF(I.GE.21)GO TO 33
A(I)=0.
IF(I.GE.17)GO TO 33
AA(I)=0.
B(I)=0.
IF(I.GE.11)GO TO 33
C(I)=0.
D(I)=0.
33 CONTINUE
IA=0
GO TO 18
7 WRITE(6,19)
19 FORMAT(20X,'ERROR EN LOS DATOS DE ALIMENTACION')
GO TO 18
8 WRITE(6,16)
16 FORMAT(20X,'ERROR EN LOS DATOS DE VISCOSIDAD ')
GO TO 18
10 WRITE(6,17)
17 FORMAT(20X,'ERROR EN LOS DATOS DE IDENTIFICACION')
GO TO 18
9 TIEM=0
TEMP=TIEM
PINS=TEMP
FUOP=PINS
STOP 'PROGRAMA TERMINADO'
END
```

ANK 648 DBANK 135 COMMON

IEEN

1784-09:20(,0)

SUBROUTINE V50(XX,YY,NN)

DIMENSION X(4,50),Y(4,50)

DATA( (X(I,J),J=1,50),I=1,4)/1.4,1.5,1.6,1.7,1.8,1.9,2.,2.5,3.,3.5  
 A,4.,4.5,5.,6.,7.,8.,9.,10.,11.,12.,13.,14.,15.,16.,17.,18.,19.,20.,  
 B,21.,22.,23.,24.,25.,26.,27.,28.,29.,30.,35.,40.,45.,50.,60.,70.,  
 C80.,90.,100.,200.,300.,400.,350.,400.,450.,500.,625.,750.,875.,  
 D1000.,1200.,1400.,1600.,1800.,2000.,2500.,3000.,4000.,5000.,  
 E6250.,7500.,8750.,10000.,12000.,14000.,16000.,18000.,20000.,  
 F30000.,40000.,50000.,60000.,70000.,80000.,90000.,1.E5,2.E5,  
 G3.E5,4.E5,5.E5,6.E5,7.E5,8.E5,9.E5,1.E6,1.5E6,2.E6,3.E6,4.E6,  
 H5.E6,6.E6,7.E6,

H4.,4.8,5.45,6.15,6.7,7.2,7.7,9.8,11.39,12.14,13.79,14.65,15.4,  
 I16.6,17.62,18.45,19.15,19.72,20.25,20.7,21.1,21.49,21.81,22.18,  
 J22.33,22.71,23.,23.25,23.4,23.6,23.74,24.,24.2,24.31,24.5,24.68,  
 K24.83,24.95,25.6,26.08,26.45,26.88,27.69,28.16,28.6,28.96,29.31,  
 L31.22,32.40,33.05,34.52,34.82,35.07,35.35,35.72,36.03,36.3,  
 O36.7,37.05,37.29,37.55,37.7,37.92,38.22,38.65,39.07,39.45,39.7,  
 P39.95,40.25,40.45,40.65,40.9,41.07,41.25,41.42,41.95,42.25,42.4,  
 \*42.75,42.92,43.05,43.22,43.42,44.3,44.7,44.97,45.25,45.42,  
 \*45.57,45.72,45.85,45.97,46.3,46.65,46.97,47.25,47.52,47.65,  
 \*47.825/

DATA((Y(I,J),J=1,50),I=1,4)/4.0,4.8,5.45,6.15,6.7,7.2,7.7,9.8,  
 A11.39,12.14,13.79,14.65,15.4,  
 B16.6,17.62,18.45,19.15,19.72,20.25,20.7,21.1,21.49,21.81,22.18,  
 C22.33,22.71,23.,23.25,23.4,23.6,23.74,24.,24.2,24.31,24.5,24.68,  
 D24.83,24.95,25.6,26.08,26.45,26.88,27.69,28.16,28.6,28.96,29.31,  
 E31.22,32.4,33.05,34.52,34.82,35.07,35.35,35.72,36.03,36.3,  
 H36.7,37.05,37.29,37.55,37.7,37.92,38.22,38.65,39.07,39.45,39.7,  
 I39.95,40.25,40.45,40.65,40.9,41.07,41.25,41.42,41.95,42.25,42.4,  
 \*42.75,42.92,43.05,43.22,43.42,44.3,44.7,44.97,45.25,45.42,  
 \*45.57,45.72,45.85,45.97,46.3,46.65,46.97,47.25,47.52,47.65,  
 \*47.825,

J1.4,1.5,1.6,1.7,1.8,1.9,2.,2.5,3.,3.5,  
 K4.,4.5,5.,6.,7.,8.,9.,10.,11.,12.,13.,14.,15.,16.,17.,18.,19.,20.,  
 L21.,22.,23.,24.,25.,26.,27.,28.,29.,30.,35.,40.,45.,50.,60.,70.,  
 M80.,90.,100.,200.,300.,400.,350.,400.,450.,500.,625.,750.,875.,  
 O1000.,1200.,1400.,  
 P1600.,1800.,2000.,2500.,3000.,4000.,5000.,6250.,7500.,8750.,  
 Q10000.,12000.,14000.,16000.,18000.,20000.,30000.,40000.,50000.,  
 \*60000.,70000.,80000.,90000.,1.E5,2.E5,3.E5,4.E5,5.E5,6.E5,  
 \*7.E5,8.E5,9.E5,1.E6,1.5E6,2.E6,3.E6,4.E6,5.E6,6.E6,7.E6/

N=50

XA=XX

IF(XA-X(NN,2))55,56,6

55 YEST=Y(NN,1)

GO TO 800

56 YEST=Y(NN,2)

GO TO 800

6 IF(XA-X(NN,N-1))7,8,16

16 YEST=Y(NN,N)

GO TO 800

8 YEST=Y(NN,N-1)

GO TO 800

7 IF(XA-X(NN,N-4))9,10,10

10 MIN=N-4

GO TO 500

9 GO 71 NO=1,4

IF(XA-X(NN,N0))12,14,71

11

```
71 CONTINUE
14 YEST=Y(NN,NO)
GO TO 800
12 MIN=NO-2
500 MAX=MIN+3
FACTOR=1.0
DO 2 J=MIN,MAX
IF (XA.NE.X(NN,J))GO TO 2
FLAGR=Y(NN,J)
GO TO 800
2 FACTOR=FACTOR*(XA-X(NN,J))
YEST=0.0
DO 5 I=MIN,MAX
TERM=Y(NN,I)*FACTOR/(XA-X(NN,I))
DO 4 J=MIN,MAX
4 IF (I.NE.J) TERM=TERM/(X(NN,I)-X(NN,J))
5 YEST=YEST+TERM
800 YY=YEST
RETURN
END
```

- 92 -

WK 429 DBANK

DNK

7/84-09:20(,0)

```
      SUBROUTINE EXPO(XX,YY)
      DIMENSION X(11),Y(11)
      DATA (X(I),I=1,10)/11.2,11.3,11.4,11.5,11.6,11.7,11.8,11.9,12.,
A12.1/
      DATA (Y(I),I=1,10)/.7955E10,1.163E10,1.77E10,2.64E10,4.06E10,
A6.18E10,9.13E10,13.48E10,19.52E10,26.34E10/
      N=10
      XA=XX
      IF(XA-X(2))55,56,6
55  YEST=Y( 1)
      GO TO 300
56  YEST=Y(2)
      GO TO 800
      6 IF(XA-X(N-1))7,8,16
16  YEST=Y(N)
      GO TO 800
      8 YEST=Y(N-1)
      GO TO 800
      7 IF(XA-X(N-4))9,10,10
10  MIN=N-4
      GO TO 500
      9 DO 71 NO=1,N
      IF(XA-X(NO))12,14,71
71  CONTINUE
14  YEST=Y(NO)
      GO TO 800
12  MIN=NO-2
500  MAX=MIN+3
      FACTOR=1.0
      DO 2 J=MIN,MAX
      IF (XA.NE.X(J))GO TO 2
      FLAGR=Y(J)
      GO TO 800
      2 FACTOR=FACTOR*(XA-X(J))
      YEST=0.0
      DO 5 I=MIN,MAX
      TERM=Y(I)*FACTOR/(XA-X(I))
      DO 4 J=MIN,MAX
      4 IF(I.NE.J) TERM=TERM/(X(I)-X(J))
      5 YEST=YEST+TERM
      800 YY=YEST
      RETURN
      END
```

DNK 52 DBANK

URPLE

7/84-09:20(,0)

```

SUBROUTINE IMPR
COMMON A(20),AA(16),B(16),C(10),D(10),E(41)
COMMON PINS,FUOP,VALI,AZUF,API,REGA,TIEM,TEMP,SP2,SP3
COMMON IDAT,INDX,VCOM

```

C

C

## SUBROUTINA DE IMPRESION

```

CHARACTER*40 IDAT
CALL ROT(IDAT)
WRITE(6,120)PINS,FUOP,VALI,AZUF,API,REGA
IF(TIEM.EQ.0.)GO TO 160
WRITE(6,150)TIEM
GO TO 180
160 WRITE(6,170)TEMP
180 CALL ROT(IDAT)
IF(INDX.EQ.1)WRITE(6,201)(E(I),I=1,24),(E(I),I=33,36)
IF(INDX.EQ.2)WRITE(6,202)(E(I),I=1,28),(E(I),I=33,36)
IF(INDX.EQ.3)WRITE(6,200)(E(I),I=1,32),(E(I),I=37,40)
CALL ROT(IDAT)
JJ=INT(VCOM)
IF(INDX.EQ.3)THEN
WRITE(6,220)JJ,A(12),B(6),B(7),B(11),A(2),C(9),C(8),C(10)
ELSE
WRITE(6,221)JJ,A(13),B(6),B(8),B(12),A(2),C(9),C(8),C(10)
END IF
CALL ROT(IDAT)
WRITE(6,240)D(5),C(1),D(3),C(2),D(4)
IF(INDX.EQ.3)THEN
WRITE(6,241)SP3,D(8),C(3),SP2,D(8),C(4),D(6),B(15),C(6)
ELSE
IF(INDX.EQ.2)WRITE(6,242)SP3,D(8),C(3),D(7),B(16),C(5)
IF(INDX.EQ.1)WRITE(6,243)D(7),B(16),C(15)
END IF
WRITE(6,260)
RETURN
120 FORMAT(32X,'INFORMACION REQUERIDA',4(/),5X,'1.- PROPIE-
A'EDADES DE LA CARGA:',///,9X,'- INSOLUBLES EN PENTANO'
B' NORMAL, % PESO',18X,F10.4,///,9X,'- FACTOR DE CARACTE'
C'RIZACION, KUOP',23X,F10.4,///,9X,'- VISCOSIDAD @ '
D'50 C, EN SSF',26X,F13.4,///,9X,'- AZUFRE, % PESO',40X,
E'F10.4,///,9X,'- API',51X,F10.4,4(/),5X,'2.- CONDICIONE'
F'S DE OPERACION:',///,9X,'- RENDIMIENTO DE GASOLINA D'
G'E C5-204 C EN % VOLUMEN',6X,F10.4,/)
150 FORMAT(9X,'- TIEMPO EN SEGUNDOS',36X,F10.4,16(/),31
AX,2(10('*'),3X))
170 FORMAT(9X,'- TEMPERATURA DE REACCION EN C',26X,F10.4
A,16(/),31X,2(10('*'),3X))
200 FORMAT(32X,'INFORMACION OBTENIDA',///,5X,'1.- RENDIMIEN'
A'TO DE PRODUCTOS',///,9X,'A).-',///,12X,'PRODUCTOS',9X,
B' SEVERIDAD APLICADA',8X,' SEVERIDAD MAXIMA',///,29X,2('% PESO'
C,5X,'% VOLUMEN',6X),///,13X,'H2 - C2',9X,4(F6.2,7X),///,15X,
D'C3S',11X,4(F6.2,7X),///,15X,'C4S',11X,4(F6.2,7X),///,11X,'* GAS '
E,'TOTAL',7X,4(F6.2,7X),///,11X,'* GASOLINA',8X,4(F6.2,7X),///,11X,
F'* NAFTA P.',6X,4(F6.2,7X),///,11X,'* GASOLEO L.',6X,4(F6.2,7X),
G'///,11X,'* GASOLEO P.',6X,4(F6.2,7X),///,11X,
H'* RESIDUO P.',6X,4(F6.2,7X),5(/),11X,
I'*.- INTERVALOS DE DESTILACION:',///,15X,'- GAS TOTAL C4 Y MAS '
J' LIGEROS',/,15X,'- GASOLINA C5 - 204 C',/,15X,'- NAFTA P.'
K' 148 - 204 C',/,15X,'- GASOLEO L. 204 - 344 C'

```

L,/,15X,- GASOLEO P. 344 - 482 C',/,15X,  
M,- RESIDUO P. 482 + C')

201 FORMAT(32X,'INFORMACION OBTENIDA',///,5X,'1.- RENDIMIEN'  
A'TO DE PRODUCTOS',///,9X,'A).-',///,12X,'PRODUCTOS',9X,  
B' SEVERIDAD APLICADA',8X,' SEVERIDAD MAXIMA',///,29X,2('% PESO'  
C,5X,'% VOLUMEN',8X),///,13X,'H2 - C2',9X,4(F6.2,7X),///,15X,  
D'C3S',11X,4(F6.2,7X),///,15X,'C4S',11X,4(F6.2,7X),///,11X,'\* GAS '  
E,'TOTAL',7X,4(F6.2,7X),///,11X,'\* GASOLINA',8X,4(F6.2,7X),///,11X,  
F'\* NAFTA P.',8X,4(F6.2,7X),///,11X,  
G'\* RESIDUO L.',  
H6X,4(F6.2,7X),8(/),11X,  
I\*,- INTERVALOS DE DESTILACION:',/,15X,- GAS TOTAL C4 Y MAS '  
J'LIGEROS',/,15X,- GASOLINA C5 - 204 C',/,15X,- NAFTA P.'  
K' 148 - 204 C',/,15X,  
L,- RESIDUO L. 204 + C')

202 FORMAT(32X,'INFORMACION OBTENIDA',///,5X,'1.- RENDIMIEN'  
A'TO DE PRODUCTOS',///,9X,'A).-',///,12X,'PRODUCTOS',9X,  
B' SEVERIDAD APLICADA',8X,' SEVERIDAD MAXIMA',///,29X,2('% PESO'  
C,5X,'% VOLUMEN',8X),///,13X,'H2 - C2',9X,4(F6.2,7X),///,15X,  
D'C3S',11X,4(F6.2,7X),///,15X,'C4S',11X,4(F6.2,7X),///,11X,'\* GAS '  
E,'TOTAL',7X,4(F6.2,7X),///,11X,'\* GASOLINA',8X,4(F6.2,7X),///,11X,  
F'\* NAFTA P.',8X,4(F6.2,7X),///,11X,'\* GASOLEO L.',6X,4(F6.2,7X),  
G//,11X,'\* RESIDUO L.',  
H6X,4(F6.2,7X),8(/),11X,  
I\*,- INTERVALOS DE DESTILACION:',/,15X,- GAS TOTAL C4 Y MAS '  
J'LIGEROS',/,15X,- GASOLINA C5 - 204 C',/,15X,- NAFTA P.'  
K' 148 - 204 C',/,15X,- GASOLEO L. 204 - 344 C',/,15X  
L,- RESIDUO L. 204 + C')

220 FORMAT(32X,'INFORMACION OBTENIDA',///,9X,'B).-',///,9X,  
C'IRC PARA PREPARACION DE COMBUSTOLEOS DE',14,' SSF',/,11X,  
D'PARA EL RESIDUO DE 482 C',30X,F10.4,///,9X,- BARRILES'  
E' DE COMBUSTOLEO A PARTIR DE 100 BARRILES',/,11X,'DE'  
F' CARGA',46X,F10.4,///,9X,  
I'- BARRILES DE COMBUSTOLEO A PARTIR DE LOS'  
J' BARRILES',6X,F10.4,/,11X,'OBTENIDOS DEL RESIDUO DE 482 C Y SU'  
K' COMPOSICION',/,11X,'EN % VOLUMEN',44X,F6.2,5(/),5X,  
L'2.- CONDICIONES DE OPERACION:',/,9X,- SEVERIDAD',45X,  
MF10.4,///,9X,- TIEMPO DE REACCION EN SEGUNDOS',24X,F10.4,  
N//,9X,- TEMPERATURA DE REACCION EN C',26X,F10.4,///,9X,  
O'- TIEMPO DE DURACION DE LA CORRIDA EN MESES',13X,F10.4)

221 FORMAT(32X,'INFORMACION OBTENIDA',///,9X,'B).-',///,9X,  
A'- IRC PARA PREPARACION DE COMBUSTOLEOS DE ',14,' SSF',/,  
B'11X,'PARA EL RESIDUO DE 204 C',30X,F10.4,///,9X,  
D'- BARRILES'  
E' DE COMBUSTOLEO A PARTIR DE 100 BARRILES',/,11X,'DE'  
F' CARGA',46X,F10.4,///,9X,- BARRILES DE COMBUSTOLEO A'  
G' PARTIR DE LOS BARRILES',6X,F10.4,/,11X,'OBTENIDOS DEL RESIDUO'  
H' DE 204 C Y SU COMPOSICION',/,11X,'EN % VOLUMEN',44X,F6.2,  
K8(/),5X,  
L'2.- CONDICIONES DE OPERACION:',/,9X,- SEVERIDAD',45X,  
MF10.4,///,9X,- TIEMPO DE REACCION EN SEGUNDOS',24X,F10.4,  
N//,9X,- TEMPERATURA DE REACCION EN C',26X,F10.4,///,9X,  
O'- TIEMPO DE DURACION DE LA CORRIDA EN MESES',13X,F10.4)

240 FORMAT(32X,'INFORMACION OBTENIDA',///,5X,'3.- PROPIEDADES'  
A' DE LOS PRODUCTOS:',/,9X,'A).- GAS (C4 Y MAS LIGEROS)',  
B//,14X,- PLSO ESPECIFICO 20/4 C (FASE LIQUIDA)',12X,F10.4,  
C//,14X,- AZUFRE % PESO (COMO AC.SULF.)',19X,F10.4  
A,///,9X,'B).- GASOLINA'  
D' (C5 - 204 C)',/,14X,- PESO ESPECIFICO 20/4 C',27X,  
EF10.4,/,14X,- AZUFRE % PESO',36X,F10.4,/,14X,- NUMERO'

F DE OCTANO',35X,F10.4)  
241 FORMAT(///,9X,'C).- GASOLEO DE 204 A 344 C'  
G//,14X,'- PESO ESPECIFICO 20/4 C',27X,F10.4,/,14X,'- FACTOR'  
H DE CARACTERIZACION KUOP',19X,F10.4,/,14X,'- AZUFRE % PESO',  
I36X,F10.4,///,9X,'D).- GASOLEO DE 344 A 482 C',//,14X,  
J'- PESO ESPECIFICO 20/4 C',27X,F10.4,/,14X,'- FACTOR DE'  
K' CARACTERIZACION KUOP',19X,F10.4,/,14X,'- AZUFRE % PESO',  
L36X,F10.4,///,9X  
O,'E).- RESIDUO DE 482 C \*',//,14X,'- PESO ESPECIFICO'  
P' 20/4 C',27X,F10.4,/,14X,'- VISCOSIDAD @ 50 C EN SSF',22X,  
QF13.4,/,14X,'- AZUFRE % PESO',36X,F10.4)  
242 FORMAT(///,9X,'C).- GASOLEO DE 204 A 344 C'  
G//,14X,'- PESO ESPECIFICO 20/4 C',27X,F10.4,/,14X,'- FACTOR'  
H DE CARACTERIZACION KUOP',19X,F10.4,/,14X,'- AZUFRE % PESO',  
I36X,F10.4,///,9X,  
L'D).- RESIDUO DE 204 C \*',//,14X,'- PESO'  
M' ESPECIFICO 20/4 C',27X,F10.4,/,14X,'- VISCOSIDAD @ 50 C'  
N' EN SSF',22X,F13.4,/,14X,'- AZUFRE % PESO',36X,F10.4)  
243 FORMAT(///,9X  
L,'C).- RESIDUO DE 204 C \*',//,14X,'- PESO'  
M' ESPECIFICO 20/4 C',27X,F10.4,/,14X,'- VISCOSIDAD @ 50 C'  
N' EN SSF',22X,F13.4,/,14X,'- AZUFRE % PESO',36X,F10.4)  
260 FORMAT(1H1)  
END

1316 DBANK 135 COMMON

```
ITE
/84-09:20(,0)
  SUBROUTINE ROT(IDAT)
  CHARACTER*40 IDAT
  WRITE(6,111)IDAT(1:20),IDAT(21:28),IDAT(29:40)
111 FORMAT(1H1,/,5X,'INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO',
A13X,'REFINERIA: ',A20,/,5X,'SUBDIRECCION DE TECNOLOGIA DE',
B18X,'PLANTA: REDUCTORA VISCOSIDAD',/,5X,'REFINACION Y PE',
C'TROQUIMICA',20X,'PROYECTO: ',A8,/,5X,'
D'          .',17X,'FECHA: ',A12,/,49X,'HECHO POR:',4(/))
  RETURN.
  END
```

109 DBANK

ILVER

7/84-09:20(,0)

```

SUBROUTINE TEST
CHARACTER*40 IDAT
COMMON A(20),AA(16),B(16),C(10),D(10),E(41)
COMMON PINS,FUOP,VALI,AZUF,API,REGA,TIEM,TEMP,SP2,SP3
COMMON IDAT,INDX,VCOM
WRITE(6,55)IDAT(1:20),IDAT(29:40),IDAT(21:28)
55 FORMAT(1H1,/,10X,'INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO',/,10X,'SUBDI',
A'RECCION DE REFINACION Y PETROQUIMICA',/,10X,'CASO DE ',A20,/,
B10X,'FECHA: ',A12,10X,'PROYECTO: ',A8,/,10X,'PGRM. * A.T.O.P.*',
A12X,'POR S.S.M.')
```

```

WRITE(6,1)(A(I),I=1,13)
1 FORMAT(////,20X,'REND. MAXIMO DE GASOLINA =',F10.4,/,20X,
A'SEVERIDAD =',F10.4,/,20X,
A'RESIDUO DE 482 G.C. =',F10.4,/,20X,
A'RESIDUO DE 204 G.C. =',F10.4,/,20X,
A'GASOLEO DE 344-482 G.C. =',F10.4,/,20X,
A'GASOLEO DE 204-344 G.C. =',F10.4,/,20X,
A'GAS BUTANO Y MAS LIG. =',F10.4,/,20X,
A'ETANO Y MAS LIGEROS =',F10.4,/,20X,
A'PROPANO Y PROPILENO =',F10.4,/,20X,
A'BUTANO Y BUTILENO =',F10.4,/,20X,
A'NAFTA 300-400 G.F. =',F10.4,/,20X,
A'IRC RESIDUO A 482 G.C. =',F10.4,/,20X,
A'IRC RESIDUO A 204 G.C. =',F10.4)

C
C
C
C

WRITE(6,22)(AA(I),I=2,7)
22 FORMAT(70X,' RENDIMIENTOS A MAXIMA SEVERIDAD ',/,70X,
A'SEVERIDAD =',F10.4,/,70X,
A'RESIDUO DE 482 G.C. =',F10.4,/,70X,
A'RESIDUO DE 204 G.C. =',F10.4,/,70X,
A'GASOLEO DE 344-482 G.C. =',F10.4,/,70X,
A'GASOLEO DE 204-344 G.C. =',F10.4,/,70X,
A'GAS BUTANO Y MAS LIG. =',F10.4)
WRITE(6,2)(B(I),I=1,16)
2 FORMAT(20X,'FV. DE ALIMENTACION =',F10.4,/,20X,
A'FV. DE DILUENTE =',F10.4,/,20X,
A'FV. DESEADA =',F10.4,/,20X,
A'DILUENTE NECESARIO =',F10.4,/,20X,
A'ALIMENTACION =',F10.4,/,20X,
A'COMBUSTOLEO DIRECTO BBL =',F10.4,/,20X,
A'COMBUSTOLEO RESIDUO 482 =',F10.4,/,20X,
A'COMBUSTOLEO RESIDUO 204 =',F10.4,/,20X,
A'% DILUENTE COMB. 482 =',F10.4,/,20X,
A'% DILUENTE COMB. 204 =',F10.4,/,20X,
A'% PESADO COMB. 482 =',F10.4,/,20X,
A'% PESADO COMB. 204 =',F10.4,/,20X,
A'FV. COMB RESIDUO 482 G.C.=',F10.4,/,20X,
A'FV. COMB RESIDUO 204 G.C.=',F10.4,/,20X,
A'VISC SSF RESIDUO 482 G.C.=',G10.4,/,20X,
A'VISC SSF RESIDUO 204 G.C.=',G10.4)
WRITE(6,14)(C(I),I=1,10)
14 FORMAT(70X,'% DE AZUFRE C4 + LIG. =',F10.4,/,70X,
A'% AZUFRE GASOLINA 204 C. =',F10.4,/,70X,
A'% AZUFRE GASOLEO 204-344 =',F10.4,/,70X,
A'% AZUFRE GASOLEO 344-204 =',F10.4,/,70X,
```

, - 99 -

```
A% AZUFRE RESIDUO 204 C. =',F10.4,/,70X,  
A% AZUFRE RESIDUO 482 C. =',F10.4,/,70X,  
A FACTOR EXPONENCIAL =',G10.4,/,70X,  
A TEMPERATURA DE REACCION =',F10.4,/,70X,  
A TIEMPO DE REACCION =',F10.4,/,70X,  
A DURACION DE LA CORRIDA =',G10.4)  
WRITE(6,25)(D(I),I=1,8)  
25 FORMAT(20X,'PESO ESP GASOLEO 482-775F',F10.4,  
A//,20X,'PESO ESP GASOLEO 204- F',F10.4,  
A//,20X,'PESO ESP GASOLINA ',F10.4,  
A//,20X,'NO DE OCTANO EN GASOLINA ',F10.4,  
A//,20X,'PESO ESP DEL GAS ',F10.4,  
A//,20X,'PESO ESP DEL RESIDUO 482 ',F10.4,  
A//,20X,'PESO ESP DEL RESIDUO 204 ',F10.4,  
A//,20X,'FKUOP DE LOS GASOLEOS ' ',F10.4,5(/))  
RETURN  
END
```

590 DBANK 135 COMMON

LISTA DE SIMBOLOS

LISTA DE EQUIPOS

BIBLIOGRAFIA

" El conocimiento es de dos clases:  
o conocemos el asunto por nosotros  
mismos, o sabemos donde podemos  
encontrar noticias sobre el mismo."

S. JOHNSON

- 101 -

LISTA DE SIMBOLOS

- API .- Gravedad específica del componente a que se hace referencia.
- Bls .- Barriles alimentados al proceso.
- PVR .- Presión de vapor Reid del componente.
- SSF .- Segundos Saybolt Furol
- SUS .- Saybolt Universal Segundos
- PINS .- Insolubles en pentano normal de la carga.  
% peso.
- FUOP .- Factor de Caracterización " Kuop".
- AZUF .- Contenido de Azufre en la carga, % peso
- REGA .- Rendimiento de gasolina, % Vol.
- TIEM .- Tiempo de residencia, segundos
- TEMP .- Temperatura de reacción, ° C
- VALI .- Viscosidad de la carga en SSF a 50° C
- VDIL .- Viscosidad del diluyente en SSF a 50°C
- VCOM .- Viscosidad del combustóleo en SSF a 50° C

- 103 -

LISTA DE EQUIPOS

CLAVE	EQUIPO
RE-T10	Tanque de balance ( muelle ) de la carga
RE-P5, P5A, P5B	Bombas de succión del Tq. muelle
RE-E6 A, B, C y D	Cambiadores de calor de carga-residuo
RE-P1	Bomba de carga precalentada
RE-H9; RE-H10; RE-H11	Calentador
RE-T2	Separador primario de productos
RE-T10	Torre fraccionadora
RE-E9	Condensadores torre fraccionadora
RE-T11	Tanque acumulador
RE-T7	Tanque de Balance separador de líquidos.
RE-P28	Bomba del tanque de balance separador
RE-P11, P11A	Bombas del tanque acumulador
RE-E4, E4A; RE-E1	Cajas enfriadoras
RE-P8, P8A	Bombas de succión de la caja enfriadora
RE-E13	Enfriador
RE-P3, P3A, P3B	Bombas de fondos del RE-T2
RE-E29 y E29A	Enfriadores Tubulares

- 105 -

BIBLIOGRAFIA

- 1.- W.L. NELSON " Petroleum Refinery Engineering "  
Fourth Edition Mc. Graw Hill.
- 2.- P. Wuithier " El petróleo Refino y Tratamiento Químico "  
Tomo I ( 1971 ) Editorial Blume.
- 3.- Roberto Caballero G. ( PEMEX )  
" Experiencias realizadas en la planta reductora de vis-  
cosidad situada en la Refinería 18 de marzo, Azcapotzal-  
co, México ",  
XXXVI Reunión de Expertos de ARPEL, Río de Janeiro,  
Brasil abril, 1980.
- 4.- Carlos Jofré ( Petróleos de Venezuela )  
" Viscoreducción del fondo de vacío de crudo pesado  
MEREY " XXXVI Reunión de Expertos de ARPEL, Río de  
Janeiro, Brasil; abril de 1980.
- 5.- M. Akbar ; M. Geelen  
Hydrocarbon Processing  
Mayo, 1981 ; pág. 81
- 6.- R. Hournac; J. Kohn; M. Motarbartolo  
Hydrocarbon Processing  
Diciembre, 1979; pág. 97
- 7.- A. Rhoe; C. Bligniers  
Hydrocarbon Processing  
Enero, 1979; pág. 131
- 8.- J.G. Allen ; O.M. Little ; P.M. Wadill  
Oil & Gas Journal  
Junio 14 de 1951
- 9.- W.L. Nelson  
oil & gas journal  
Diciembre 9, 1970
- 10.- George Armistead  
Oil & Gas Journal  
Mayo 19, 1947 ; pág. 103
- 11.- G.C. Suciui R.C. Tungscu  
" Ingineria Prelucrarii Hidrocarburilor "  
Capítulo 1o. ( Ed. Tehnica Bucuresti ).
- 12.- R.W. Williams; J.M. Naugle  
Oil & Gas Journal  
Marzo 23, 1950; pág. 241

- 13.- J.C. Albright  
"Refiner & Natural Gasoline Manufacturer"  
Julio, 1932 ; Vol. 11, N° 7
- 14.- PEMEX ( Lab. de Investigación Aplicada ), Azcapotzalco , Octubre 7, 1963  
" Agotamiento del residuo Dubbs para la obtención de gasóleo a catalítica " .
- 15.- " Reportes diarios de operación en las unidades viscosificadoras de las Refinerías de Cd. Madero y Azcapotzalco" . ( 1978 . - 1980 )
- 16.- Cooper; Ballard  
Chemical Engineering Progress  
( Vol. 70, N° 1 ) ; pág. 65 ; Enero de 1974.