

Universidad Nacional de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA

QUÍMICA Y MANUFACTURERA



TITULACION PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

—————:0:—————

Trabajo Profesional para optar el Título de:

INGENIERO QUÍMICO

—————:0:—————

DANTE VALLE VELASCO

PROMOCION 1974 - 2

LIMA • PERU • 1983

EVALUACION DEL CONSUMO DE ENERGIA EN LA REFINERIA LA PAMPILLA

EN 1,982

- I. INTRODUCCION
- II. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- III. ANALISIS DEL CONSUMO DE ENERGIA
- IV. ANALISIS DEL COSTO DE ENERGIA
- V. ANALISIS DE PRECIOS DE ENERGIA
- VI. ANEXOS

- * -

I. I N T R O D U C C I O N

1. INTRODUCCION

Desde el mes de Octubre de 1981 se inició en la Refinería La Pampilla la aplicación de un Plan de Ahorro y Conservación de Energía con objetivos definidos de reducción de su consumo en el corto y mediano plazo, estimándose esta reducción en el orden del 10% hasta 1986.

Este objetivo de reducción considera la implementación de un Programa de Ahorro de Energía con dos etapas consecutivas y no excluyentes.

La primera etapa agrupa todas aquellas actividades que requieren de una inversión mínima o nula, como son la optimización de procedimientos, el mantenimiento preventivo y proyectos menores.

Esta etapa se inició en Octubre de 1981 y se considera de plazo ilimitado.

La segunda etapa abarca aquellas actividades que requieren estudios e inversiones mayores y que involucran nuevos equipos o modificación de procesos. Esta etapa empezará en 1984, y continuará paralela a la primera.

El presente estudio es una evaluación de los resultados logrados en el primer año de aplicación de este plan (1982) incidiendo de manera específica en el comportamiento de las principales variables del proceso con repercusión en el consumo de energía.

II. C O N C L U S I O N E S

Y

R E C O M E N D A C I O N E S

II. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES

- 1.1. El consumo unitario promedio ponderado de energía durante 1982 no varió respecto al IV° Trimestre de 1981.
- 1.2. Los distintos rubros de energía que componen el consumo de la Refinería presentaron tendencias diferentes en 1982 en relación al IV° Trimestre de 1981, llegándose a compensar unas con otras.
- 1.3. El consumo unitario de aceite combustible (promedio ponderado) en 1982 disminuyó en 8.2% respecto al IV° Trimestre de 1981.
- 1.4. El consumo unitario de gas combustible aumentó en 1982 respecto al IV° Trimestre de 1981 en un 9.9%, registrando el mayor aumento en relación a las otras fuentes de energía.
- 1.5. El consumo unitario de coque tuvo un incremento del 4.5% respecto al IV° Trimestre de 1981.
- 1.6. El consumo de energía en los Hornos de Procesos disminuyó en 3.9% durante 1982 en relación al IV° Trimestre de 1981. Esta disminución del consumo correspondió a un incremento en la eficiencia promedio ponderado de los Hornos de 0.9% entre dichos períodos.
- 1.7. El incremento de eficiencia registrado en los hornos fue el resultado de la menor carga procesada (90.1 vs. 93.7 MBD) así como la menor carga térmica (164 vs. 175°F). El incremento en el exceso de aire (35.5 vs. 33.4%) no permitió una mayor eficiencia.

- 1.8. La menor carga térmica observada en los Hornos fue el resultado de la disminución en la temperatura de salida de los Hornos (662 vs. 675°F); y el incremento del pre-calentamiento (498 vs. 494°F). Estas dos últimas tendencias obedecieron al incremento en la densidad del crudo (29.7 vs. 32.2°API)
- 1.9. La Refinería disminuyó ligeramente durante 1982 el consumo de vapor (24.4 vs. 24.9 LB/Bb Crudo), contribuyendo este factor a un menor consumo de combustible.
- 1.10. La eficiencia térmica promedio ponderado de los Calderos aumentó (81.2 vs. 80.1%), debido a un mejor control del exceso de aire (49 vs. 53%).
- 1.11. La disminución en la temperatura de la carga combinada a la Unidad de Craqueo Catalítico (384 vs. 408°F), así como la mayor severidad (938 vs. 931°F) contribuyeron al incremento en el consumo unitario de coque (6.6 vs. 6.5 BEAC/MB).
- 1.12. El consumo de energía eléctrica activa tuvo un incremento en 1982 del 6.1% respecto al IV° Trimestre de 1981 (1.38 vs. 1.30 KWH/Bb Crudo). El consumo de energía eléctrica reactiva se logró disminuir en 8.8% entre dichos períodos.
- 1.13. El costo de energía aumentó en 38% en 1982 con relación al período base (Octubre - Diciembre 1981), ascendiendo a 0.33 \$/Bb desde un valor de 0.24 \$/Bb.

Este incremento permitió aumentar la participación del rubro energía en el costo total de producción del 30%, en el período base, al 41% en 1982.
- 1.14. El costo de la energía eléctrica tuvo en 1982 un aumento considerable del 133% respecto al período base. El costo de combustible aumentó también aunque en menor proporción (24%).

- 1.15. El precio de combustible aumentó en 30% durante 1982 ascendiendo a un valor promedio de 13.40 \$/Bb. El precio de la energía eléctrica aumentó notablemente en 1982 en relación al IV° Trimestre de 1981 (141%), llegando al valor promedio de 0.072 \$/KWH.
- 1.16. El incremento de precios de la energía consumida ha elevado la incidencia de este rubro en el costo total de producción (41%), llegando a ser el más importante.
- 1.17. El incremento de precios tanto del aceite combustible como de la energía eléctrica obliga a una mayor priorización de las actividades de ahorro de energía.

2. RECOMENDACIONES

- 2.1. *Mejorar el control de exceso de aire en Hornos y Calderos disminuyendo su valor a niveles no mayores del 25%, con el fin de incrementar su eficiencia térmica.*
- 2.2. *Aumentar la actividad relativa a la eliminación de fugas de vapor y el mantenimiento de trampas de vapor con el objeto de disminuir el consumo de vapor.*
- 2.3. *Programar la limpieza periódica de los intercambiadores de calor del circuito de carga a la Unidad de Craqueo Catalítico para mejorar el precalentamiento y disminuir el requerimiento de coque.*
- 2.4. *Continuar el programa de limpieza periódica de los circuitos de precalentamiento en las Unidades de Destilación Primaria con la finalidad de aumentar el precalentamiento y disminuir el consumo de energía en los Hornos.*
- 2.5. *Continuar la instalación de Condensadores de energía reactiva para minimizar el consumo de energía reactiva y disminuir el costo de energía eléctrica.*

III . ANALISIS DEL CONSUMO

DE

ENERGIA

III. ANALISIS DEL CONSUMO DE ENERGIA

1. Consumo Total de Energía

El consumo total de energía durante los dos primeros trimestres de 1982 aumentó en relación al 4º trimestre de 1981 (Gráfico N°1) compensándose estos aumentos con la disminución sucesiva en el III y IV Trimestres siguientes.

El promedio anual ponderado por las respectivas cargas promedio de crudo para 1982 igualó al consumo unitario del 4º Trimestre de 1981.

2. Consumo de Aceite Combustible

El consumo unitario de aceite disminuyó y se mantuvo por debajo del consumo unitario del IVº Trimestre de 1981, durante los Cuatro Trimestres de 1982 (Gráfico N° 2). El promedio anual ponderado por las respectivas cargas promedio de crudo, fue menor al correspondiente al IVº Trimestre de 1981 disminuyendo en un 8.2%.

3. Consumo de Gas Combustible

El consumo unitario fue mayor durante los cuatro trimestres de 1982 respecto al IVº Trimestre de 1981 (Gráfico N° 3).

El promedio anual ponderado por las respectivas cargas promedio de crudo fue mayor respecto al IVº Trimestre de 1981 en un 9.9%.

4. Consumo de Coque

Durante los cuatro trimestres de 1982 el consumo unitario ha sido mayor respecto al IVº Trimestre de 1981 (Gráfico N° 4).

./. .

GRAFICO N° 1.1

BEAL/MS

29.0

981

1982

28.5

28.0

27.5

27.0

IV

I

II

III

IV

CONSUMO UNITARIO DE ENERGIA

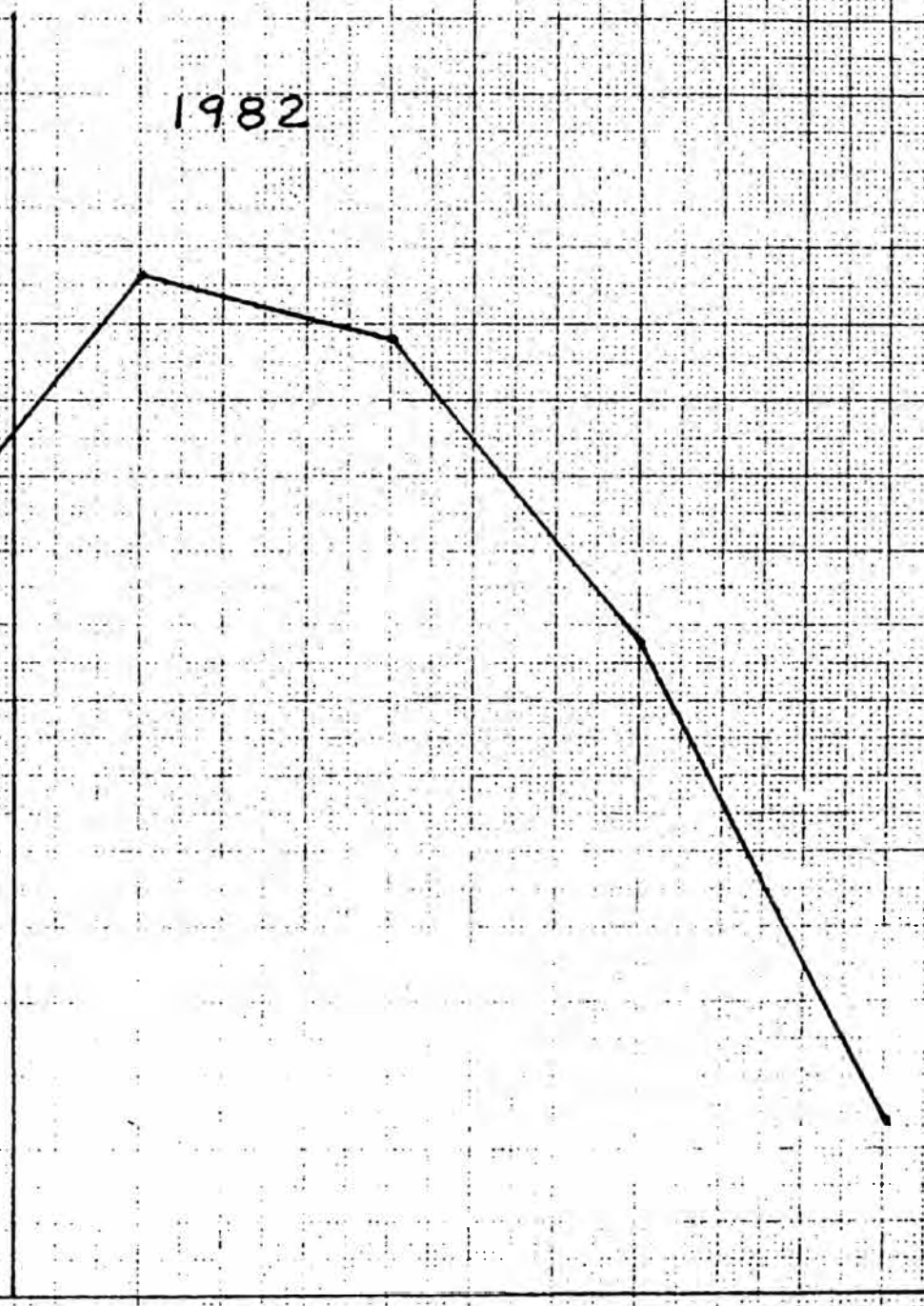


GRAFICO N° 1.2

M9D

95.0

1981

1982

94.0

93.0

92.0

91.0

90.0

89.0

88.0

87.0

86.0

85.0

IV

I

II

III

IV

CRUDO PROCESADO PROMEDIO

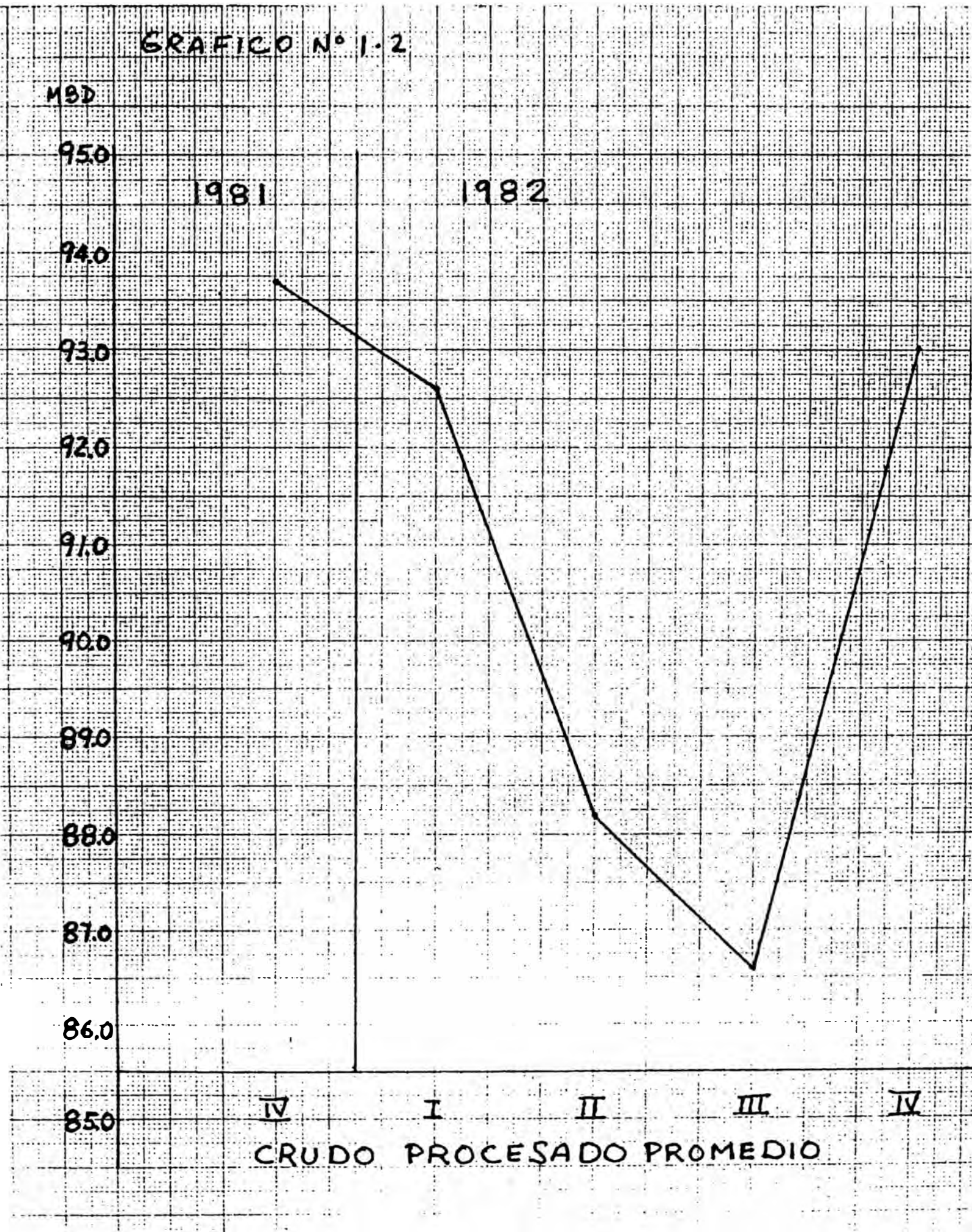
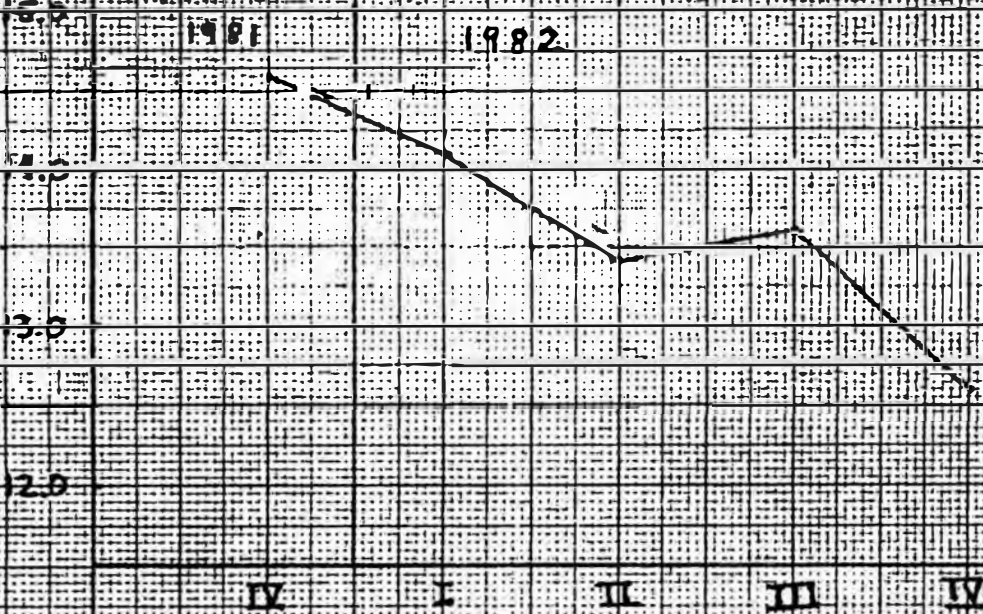


GRAFICO N° 2

SEMANA

1981

1982



CONSUMO UNITARIO DE ACEITE COMBUSTIBLE

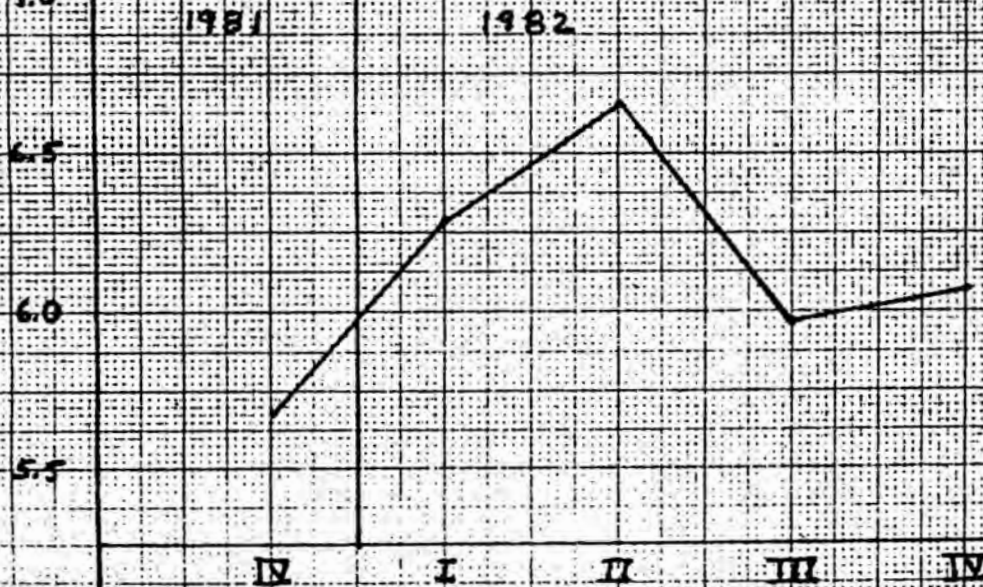
GRAFICO N° 3

SEMANA

7.0

1981

1982



CONSUMO UNITARIO DE GAS COMBUSTIBLE

GRAFICO N° 4

BEAC/MS

6.7

1981

1982

6.6

6.5

IV I II III IV

CONSUMO UNITARIO DE CORRIENTE

BEAC/MS

4.0

1981

1982

3.9

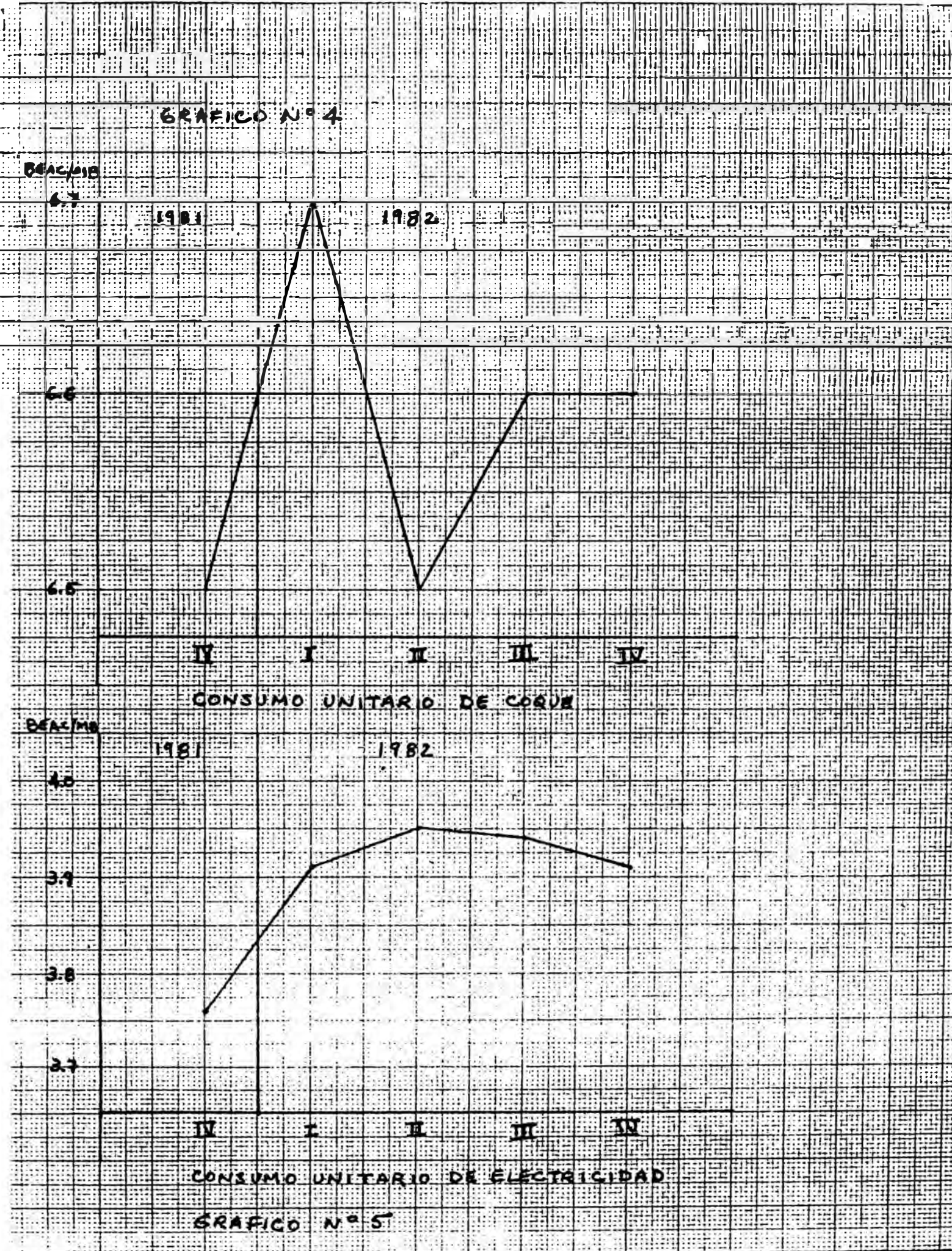
3.8

3.7

IV I II III IV

CONSUMO UNITARIO DE ELECTRICIDAD

GRAFICO N° 5



El promedio anual ponderado por las respectivas cargas de gases, fue mayor respecto al consumo del IV° Trimestre de 1981 en 3.8%.

5. Consumo de Electricidad

El consumo unitario aumentó respecto al consumo del IV° Trimestre de 1981, durante los cuatro trimestres de 1982 (Gráfico N° 5).

El promedio anual ponderado con la carga total de crudo aumentó en 4.5% con relación al IV° Trimestre de 1981.

6. Consumo de Energía en Hornos de Proceso

Con la excepción del I Trimestre, el consumo unitario en los hornos durante 1982 se mantuvo inferior al consumo del IV° Trimestre de 1981 (Gráfico N° 6).

El promedio anual ponderado con la carga total de crudo dió un consumo unitario menor para 1982 en 3.9% respecto al consumo del IV Trimestre de 1981.

6.1. Eficiencia Térmica de Hornos

La eficiencia térmica promedio de los hornos ponderada según la respectiva carga a cada Horno, se mantuvo en cada Trimestre de 1982 por encima del valor correspondiente al IV° Trimestre de 1981, siendo su valor máximo en el II° Trimestre. (Gráfica N° 7).

De acuerdo al promedio anual ponderado se logró un incremento en la eficiencia ponderada de 0.9% respecto al valor en el IV° Trimestre de 1981.

GRAFICO N° 6

BEACINA

155

1981

1982

150

145

140

IV

I

II

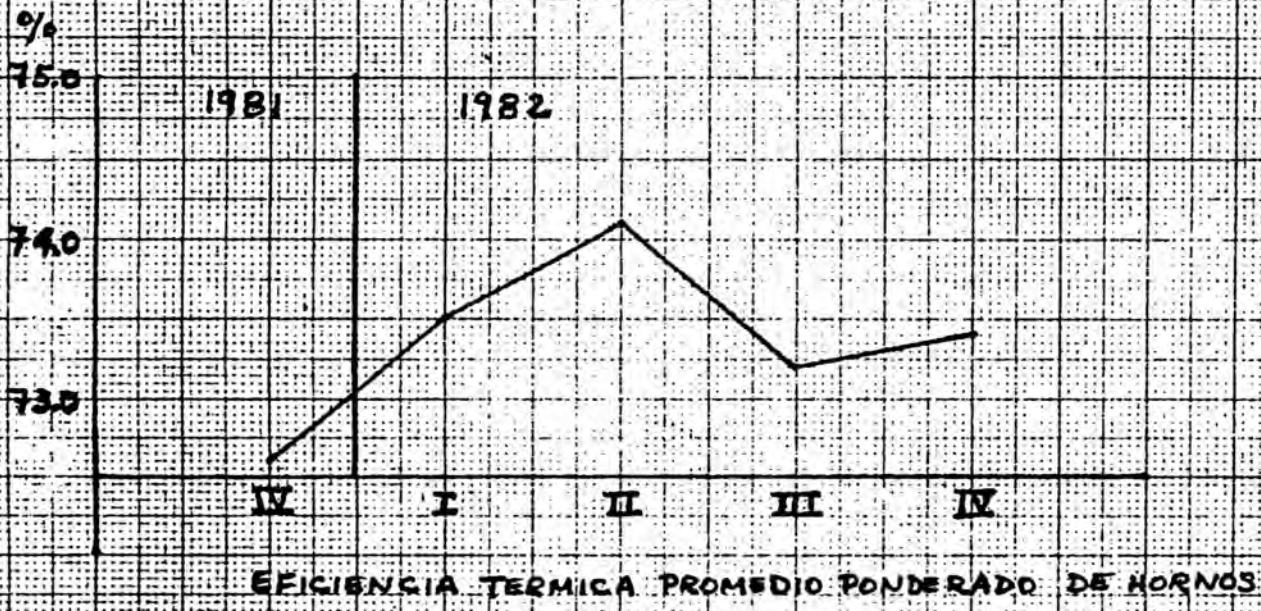
III

IV

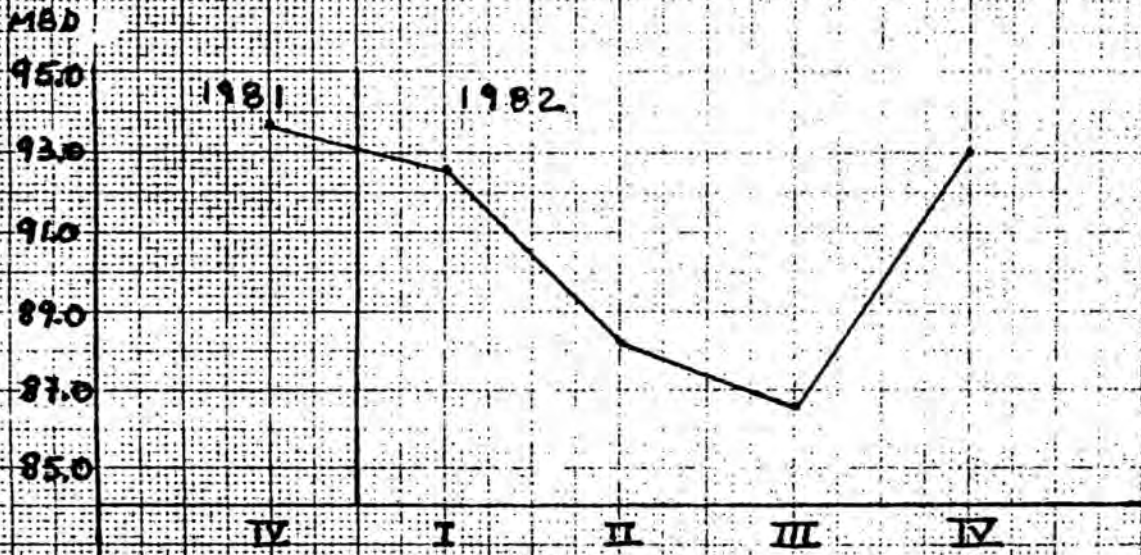
CONSUMO UNITARIO DE ENERGIA EN HORNOS DE PROCESO



GRAFICA N° 7



EFICIENCIA TERMICA PROMEDIO PONDERADO DE HORNOS



CRUDO PROCESADO

GRAFICA N° 8



EXCESO DE AIRE PROMEDIO PONDERADO

El incremento de eficiencia en el promedio anual respecto al promedio del IV° Trimestre obedeció al incremento de eficiencia de los hornos del sistema antiguo de Procesos (11H-1A, 11H1B y 11H2). (Cuadro N° 2).

El horno 211H1 tuvo un promedio anual inferior al del IV° Trimestre de 1981,

6.2. Exceso de Aire de Hornos

El exceso de aire promedio ponderado de los hornos se mantuvo en un nivel superior al correspondiente al IV° Trimestre de 1981 con la excepción del I° Trimestre de 1982 (Gráfico N° 8).

El promedio ponderado anual de exceso de aire en los hornos fue 2.1% mayor al correspondiente al IV° Trimestre de 1981 (35.5 vs. 33.4%),

Este aumento en el promedio ponderado ha sido resultante del incremento del promedio ponderado del Horno 211H1 respecto al IV° Trimestre de 1981, (Cuadro N° 3).

Los hornos del sistema antiguo (11H1A, 11H1B, 11H2) disminuyeron su promedio de exceso de aire en relación al IV° Trimestre de 1981.

6.3. Carga Térmica de Hornos

La carga térmica corresponde a la diferencia de temperaturas del fluido de proceso a la entrada y salida del horno indicando el grado de calentamiento suministrado por el Horno.

La carga térmica promedio ponderada presentó una disminución gradual en cada Trimestre de 1982, obteniéndose un promedio anual inferior al del IV° Trimestre de 1981 (164 vs. 175°F), (Gráfico N° 9),

CUADRO N° 1

CARGAS PROMEDIO TRIMESTRAL EN HORNOS (MBD)

| | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|---------|------|------|------|------|------|----------|
| | IV | I | II | III | IV | |
| 211-H-1 | 68.1 | 66.9 | 67.4 | 60.8 | 65.7 | 65.2 |
| 11-H-1A | 13.7 | 13.0 | 14.7 | 15.1 | 13.7 | 14.1 |
| 11-H-1B | 15.3 | 13.1 | 16.6 | 16.5 | 15.1 | 15.3 |
| 11-H-2 | 10.5 | 10.3 | 10.4 | 10.7 | 10.7 | 10.5 |

CUADRO N° 2

EFICIENCIA TERMICA PROMEDIO PONDERADO TRIMESTRAL
DE HORNOS (%)

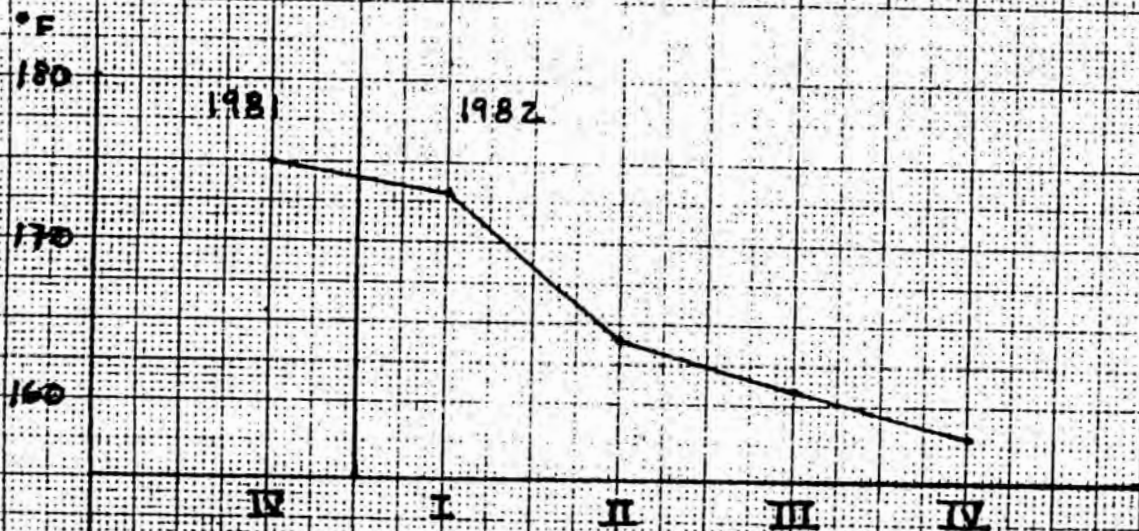
| | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|---------|------|------|------|------|------|----------|
| | IV | I | II | III | IV | |
| 211-H-1 | 75.8 | 75.9 | 76.0 | 74.6 | 76.0 | 75.6 |
| 11-H-1A | 64.7 | 68.1 | 70.0 | 69.2 | 67.0 | 68.6 |
| 11-H-1B | 71.7 | 72.6 | 73.0 | 72.5 | 70.7 | 72.2 |
| 11-H-2 | 63.4 | 66.6 | 69.1 | 71.9 | 69.7 | 69.4 |

CUADRO N° 3

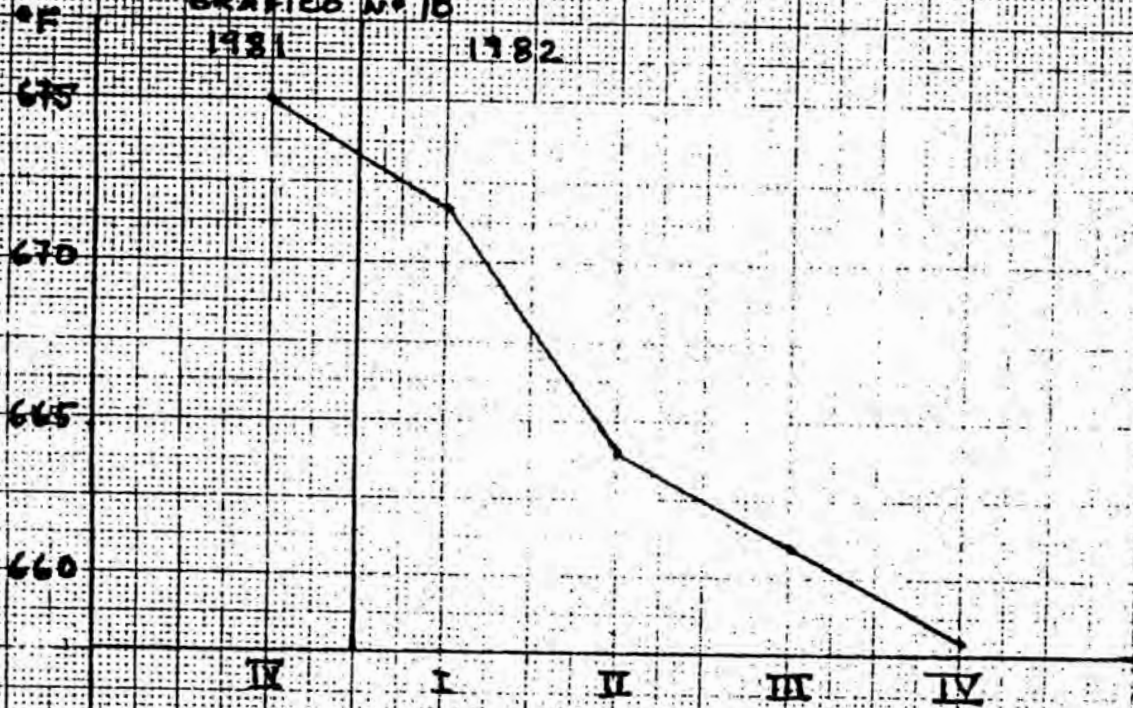
EXCESO DE AIRE PROMEDIO PONDERADO TRIMESTRAL
DE HORNOS (%)

| | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|---------|------|------|------|------|------|----------|
| | IV | I | II | III | IV | |
| 211-H-1 | 30.3 | 36.6 | 34.5 | 53.6 | 43.1 | 41.7 |
| 11-H-1A | 41.8 | 18.5 | 15.8 | 18.5 | 17.6 | 17.6 |
| 11-H-1B | 30.5 | 24.6 | 28.2 | 19.1 | 19.3 | 22.8 |
| 11-H-2 | 46.6 | 39.9 | 55.0 | 31.3 | 31.3 | 39.2 |

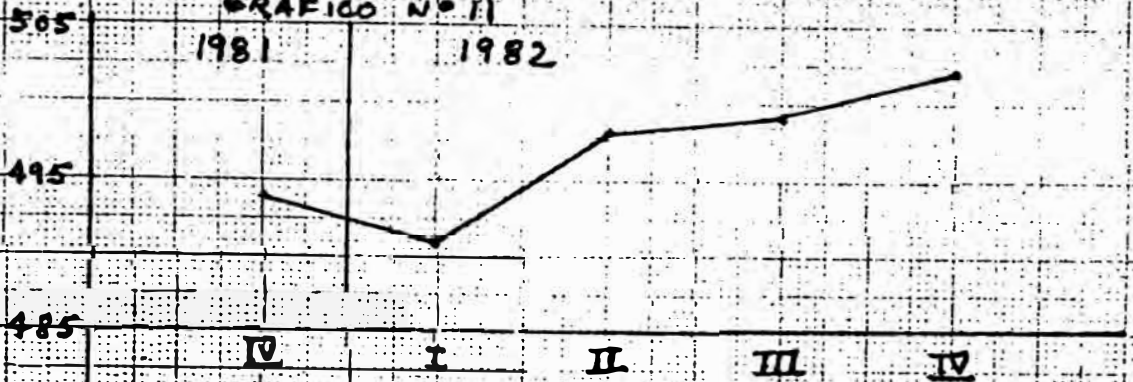
GRAFICO N° 9



CARGA TERMICA PROMEDIO PONDERADO DE HORNOS
GRAFICO N° 10



TEMPERATURA DE SALIDA PROMEDIO PONDERADO DE HORNOS
GRAFICO N° 11



TEMPERATURA DE ENTRADA PROMEDIO PONDERADO A HORNOS

Esta disminución en la carga térmica promedio anual se debió a la disminución ocurrida en la carga térmica de todos los hornos. (Cuadro N° 4).

6.4. Temperatura de Salida de Hornos

Esta temperatura tuvo una disminución gradual llegándose a obtener una temperatura promedio anual ponderada menor en 13°F. (662 vs. 675°F), respecto al IV° Trimestre de 1981 (Gráfico N° 10).

Durante 1982, todos los hornos disminuyeron su temperatura de salida, en especial los hornos 211H1 y 11H2. (Cuadro N° 5).

6.5. Temperatura de Entrada de Hornos

El precalentamiento de la carga a los Hornos de Destilación Primaria se incrementó en 1982, aumentando en consecuencia la temperatura de entrada a los hornos.

Este aumento ocurrió gradualmente en los tres últimos Trimestres de 1982, luego de una disminución en el I° Trimestre. El balance fue favorable obteniéndose un promedio anual ponderado mayor en 4°F respecto al IV° Trimestre de 1981 (498 vs. 494°F). (Gráfico N° 11).

El incremento del precalentamiento se dio en las dos Unidades de Destilación Primaria a partir del II° Trimestre con mayor grado en la Unidad Antigua, como consecuencia de la limpieza realizada de los Intercambiadores de Calor de los circuitos de carga de crudo.

CUADRO N° 4

CARGA TERMICA PROMEDIO PONDERADO TRIMESTRAL DE HORNOS (°F)

| | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|---------|------|-----|------|-----|-----|----------|
| | IV | I | II | III | IV | |
| 211-H-1 | 169 | 169 | 159 | 156 | 152 | 159 |
| 11-H-1A | 239 | 242 | 219 | 217 | 226 | 225 |
| 11-H-1B | 243 | 236 | 222 | 221 | 230 | 227 |
| 11-H-2 | 38 | 31 | 21 | 15 | 12 | 20 |

CUADRO N° 5

TEMPERATURA DE SALIDA PROMEDIO PONDERADO TRIMESTRAL DE HORNOS(°F)

| | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|---------|------|-----|------|-----|-----|----------|
| | IV | I | II | III | IV | |
| 211-H-1 | 675 | 669 | 666 | 666 | 666 | 667 |
| 11-H-1A | 648 | 649 | 651 | 648 | 646 | 648 |
| 11-H-1B | 654 | 643 | 654 | 652 | 650 | 650 |
| 11-H-2 | 679 | 671 | 663 | 660 | 652 | 661 |

CUADRO N° 6

TEMPERATURA DE ENTRADA PROMEDIO PONDERADO TRIMESTRAL DE HORNOS(°F)

| | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|---------|------|-----|------|-----|-----|----------|
| | IV | I | II | III | IV | |
| 211-H-1 | 506 | 500 | 507 | 510 | 514 | 508 |
| 11-H-1A | 409 | 407 | 432 | 431 | 420 | 423 |
| 11-H-1B | 409 | 407 | 432 | 431 | 420 | 423 |
| 11-H-2 | 641 | 640 | 642 | 645 | 640 | 641 |

6.6. Densidad del Crudo Procesado (°API)

La densidad promedio del crudo procesado en las dos Unidades de Destilación Primaria aumentó gradualmente durante todo el año favoreciendo el incremento del precalentamiento de la carga por el mayor rendimiento de crudo reducido.

La densidad promedio ponderado anual del crudo procesado en 1982 fue 2.5°API, menor respecto a la densidad correspondiente al IV° Trimestre de 1981 (29.7 vs. 32.2°API). (Gráfico N° 12 y Cuadro N° 7).

7. Consumo de Energía en Calderas

El consumo unitario de vapor de calderas en relación a la carga de crudo procesado fue ligeramente menor en 1982, respecto al IV° Trimestre de 1981 (24.4 vs. 24.9 LB/Bb Crudo). (Gráfico N° 14)

El consumo unitario de energía en los calderos se mantuvo en 1982 en el mismo valor promedio que en el IV° Trimestre de 1981. (0.201 BEAC/MLB).

7.1. Eficiencia Térmica de Calderos

La eficiencia térmica promedio ponderada de los Calderos en 1982, se incrementó respecto al IV° Trimestre de 1981 en 1.1% (81.2 vs. 80.1%). El promedio en cada Trimestre de 1982 fue siempre superior al IV° Trimestre de 1981. (Gráfico N° 15).

El incremento en la eficiencia promedio de los Calderos de 1982, se debió al incremento en las eficiencias de los calderos 21B1 y 221B1. (Cuadro N° 9).

GRAFICO N° 12

°API

33.0

1981

1982

32.0

31.0

30.0

29.0

28.0

IV

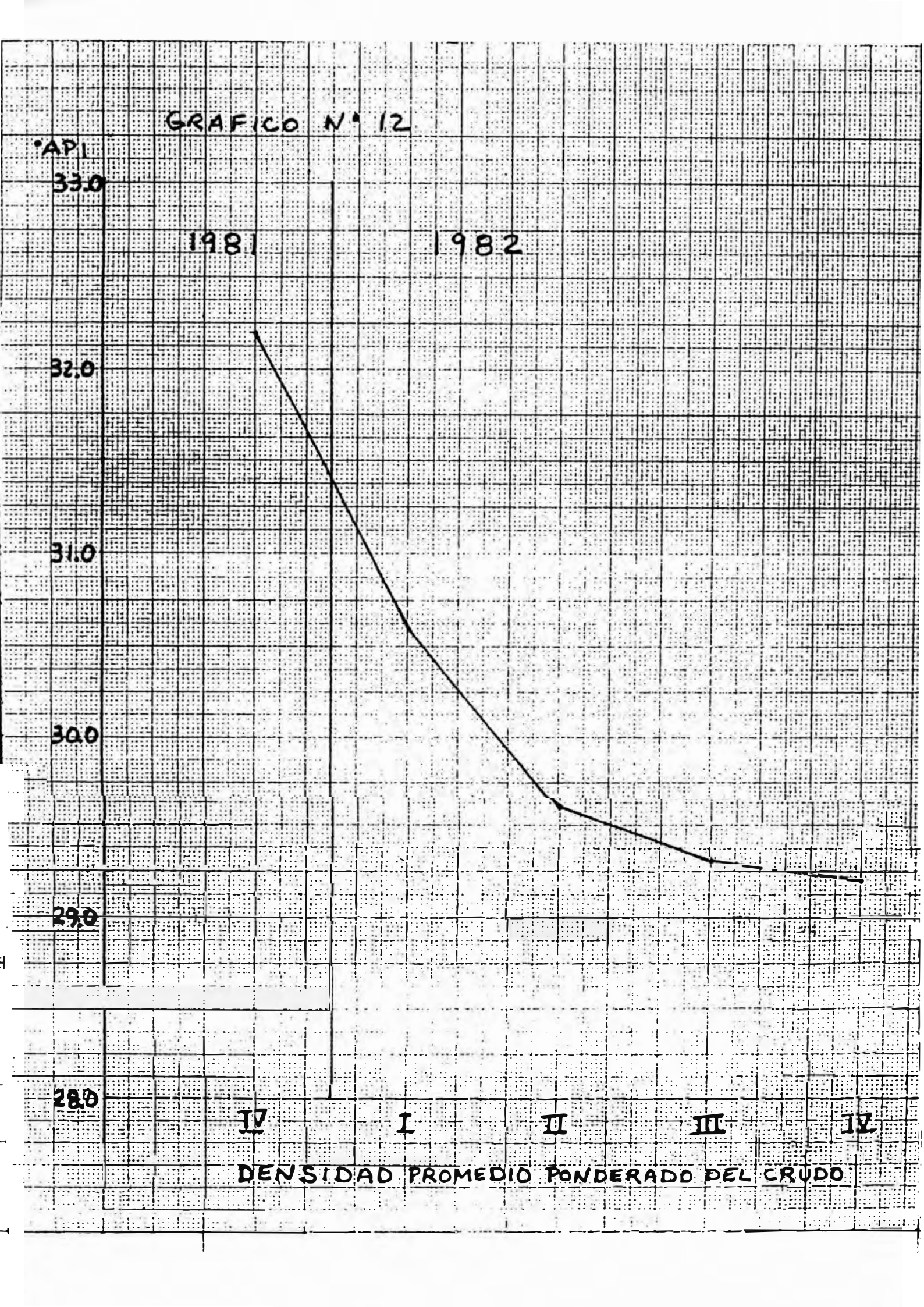
I

II

III

IV

DENSIDAD PROMEDIO PONDERADO DEL CRUDO



CUADRO N° 7

DENSIDAD PROMEDIO TRIMESTRAL DEL CRUDO (°API)

| | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|-----------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| | <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | |
| 211-H-1 | 32.3 | 30.5 | 29.5 | 29.2 | 28.9 | 29.5 |
| 11-H-1A/B | 32.0 | 30.9 | 30.0 | 29.6 | 29.6 | 30.0 |

CUADRO N° 8

PRODUCCION DE VAPOR DE CALDERAS (MLB/H)

| | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|---------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| | <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | |
| 21-B-1 | 19.2 | 6.1 | 7.8 | 28.8 | 10.7 | 13.4 |
| 21-B-2 | 27.5 | 43.1 | 39.0 | 27.3 | 30.9 | 35.1 |
| 221-B-1 | 50.5 | 44.6 | 47.6 | 33.2 | 44.8 | 42.6 |

CUADRO N° 9

EFICIENCIA TERMICA PROMEDIO PONDERADO TRIMESTRAL DE CALDEROS (%)

| | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|---------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| | <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | |
| 21-B-1 | 79.3 | 81.7 | 80.6 | 80.9 | 82.2 | 81.2 |
| 21-B-2 | 80.8 | 82.2 | 80.8 | 79.6 | 80.1 | 80.8 |
| 221-B-1 | 79.9 | 80.4 | 82.2 | 80.8 | 82.2 | 81.3 |

GRAFICO N° 13

EAC/MLB
0.209

1981

1982

0.202

0.20

0.198

0.196

0.194

IV

I

II

III

IV

CONSUMO UNITARIO DE ENERGIA EN CALDEROS

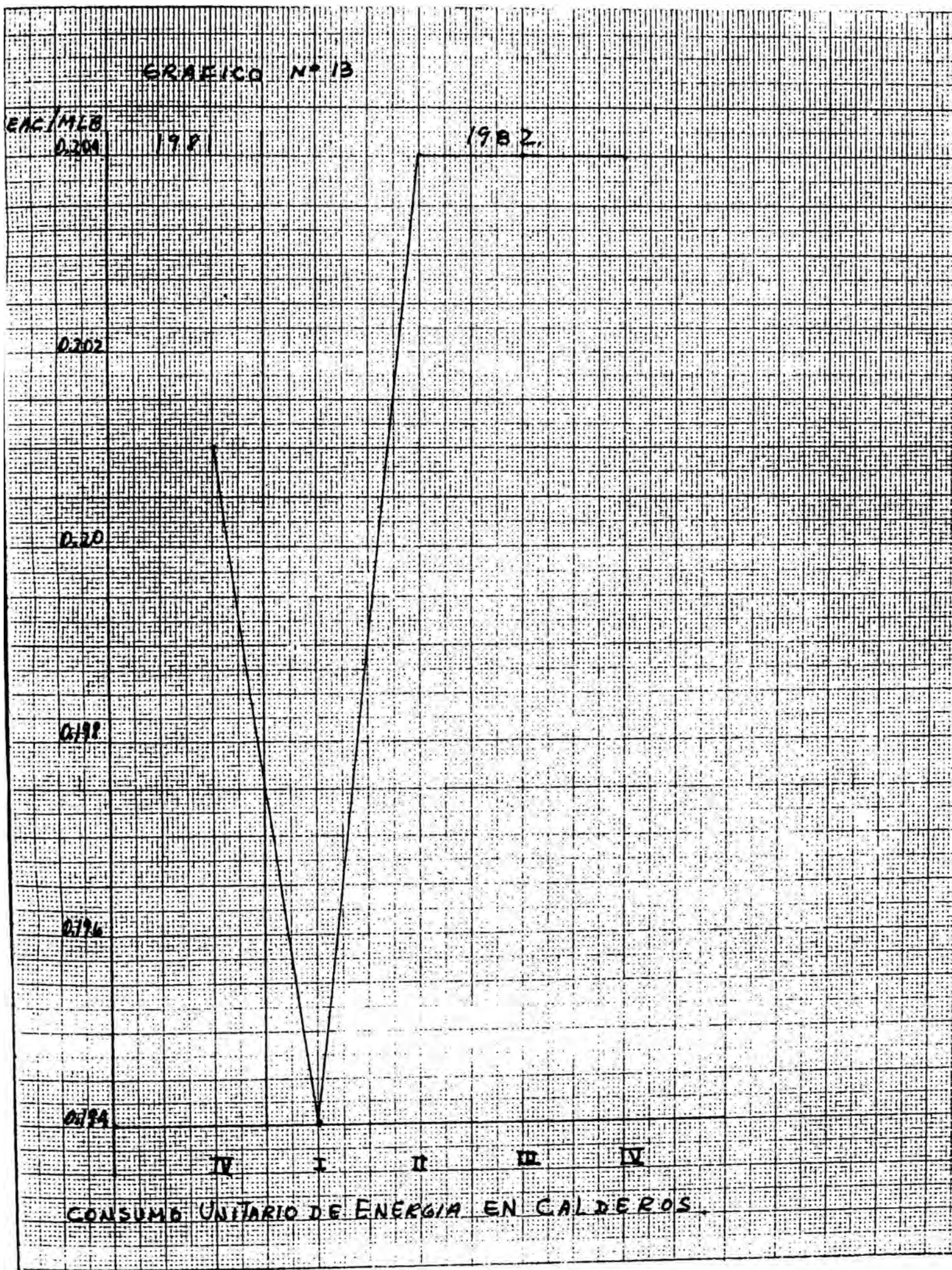


GRAFICO N° 14

LB/86

26.0

1981

1982

25.0

24.0

23.0

22.0

IV

I

II

III

IV

CONSUMO UNITARIO DE VAPOR

DE CALDEROS

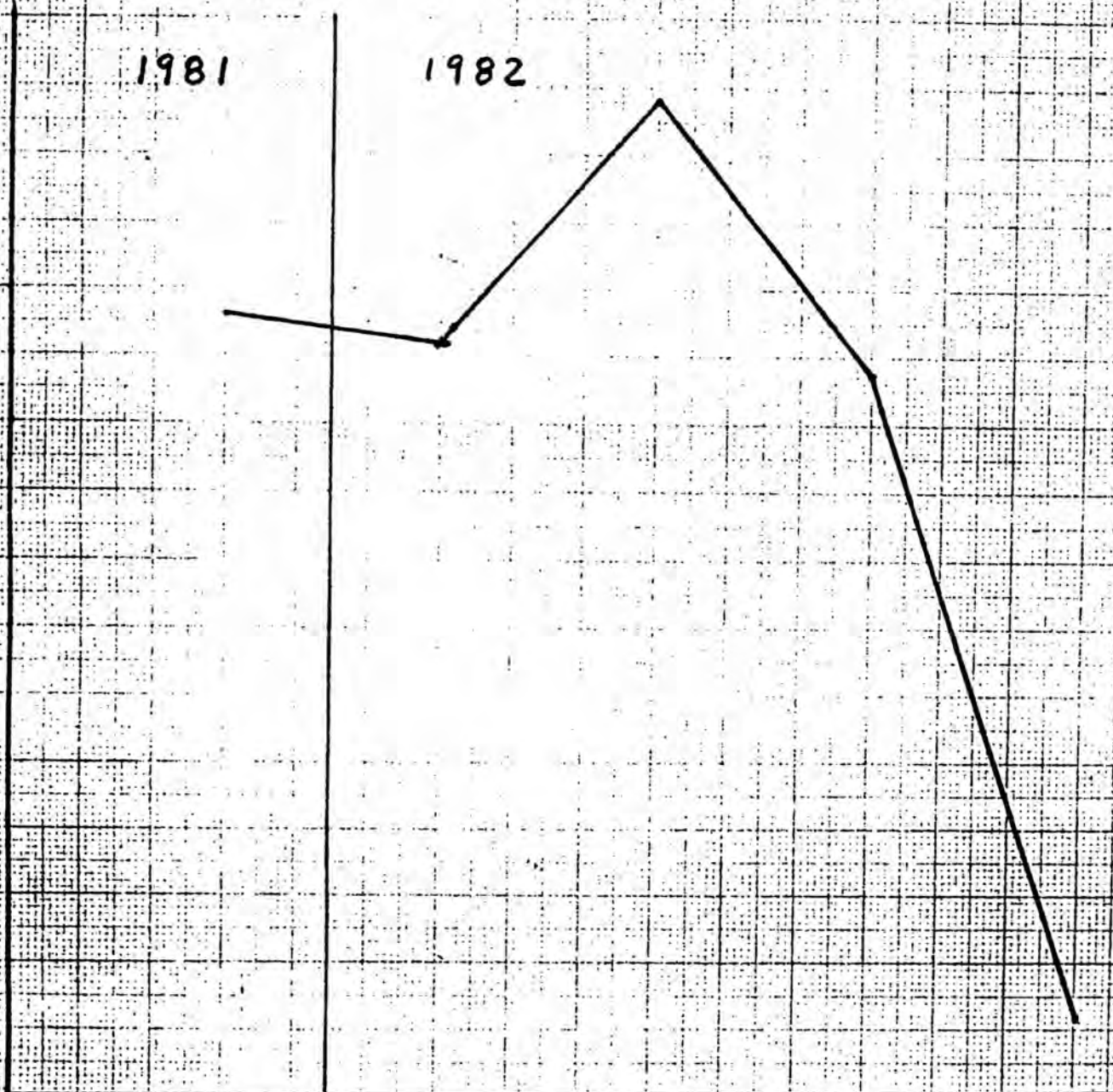
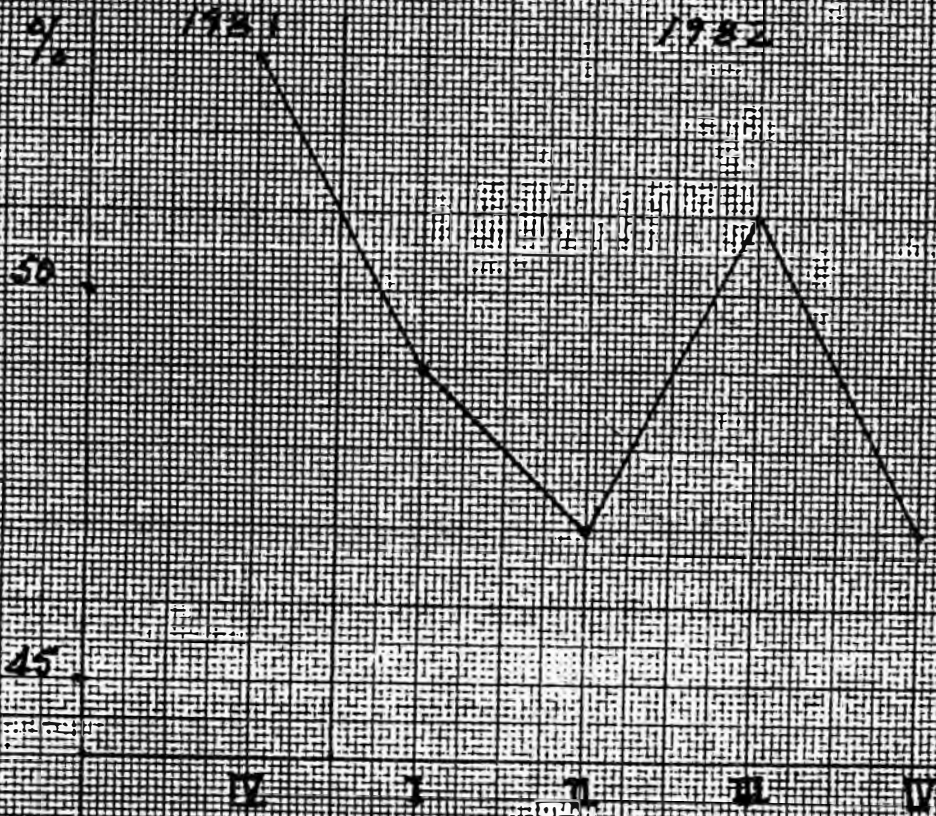


GRAFICO Nº 15



EFICIENCIA TERMICA PROMEDIO PONDERADO DE CALDEROS.

GRAFICO Nº 16



EXCESO DE AIRE PROMEDIO PONDERADO DE CALDEROS.

7.2. Exceso de Aire de Calderos

El exceso de aire promedio ponderado de los Calderos en 1982 disminuyó respecto al IV° Trimestre de 1981 (49 vs. 53%). (Gráfico N° 16)

Durante 1982 sólo los Calderos 21B1 y 21B2 disminuyeron su exceso de aire con respecto al IV° Trimestre de 1981.

8. Consumo de Energía en Regenerador de Craqueo Catalítico Fluido

8.1. Temperatura de la Carga Combinada

La carga combinada (carga fresca y recicló) disminuyó su temperatura durante 1982 respecto al IV Trimestre de 1981. Este menor precalentamiento se ha debido al ensuciamiento progresivo del circuito de Intercambiadores de Calor de la carga fresca. El promedio ponderado de 1982 fue 24°F menor al valor del IV Trimestre de 1981 (384 vs. 408°F). (Cuadro N° 11).

Esta menor temperatura repercutió en un mayor consumo de coque y aire con la finalidad de suministrar el calor correspondiente al menor precalentamiento.

8.2. Temperatura del Reactor

La temperatura del reactor se fue incrementando durante 1982, siendo este aumento más acentuado a partir del III Trimestre.

El promedio anual ponderado fue 7°F por encima del valor correspondiente al IV Trimestre de 1981 (938 vs. 931°F) (Cuadro N° 11).

La mayor severidad en el reactor repercutió en un mayor consumo de coque en el Regenerador.

8.3. Reposición de Catalizador

El régimen de reposición total de Catalizador tanto por pérdida como por retiro se incrementó a partir del III Trimestre de 1982.

CUADRO N° 10

EXCESO DE AIRE PROMEDIO PONDERADO TRIMESTRAL DE CALDEROS (%)

| | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|---------|------|----|------|-----|----|----------|
| | IV | I | II | III | IV | |
| 21-B-1 | 42 | 27 | 25 | 28 | 25 | 27 |
| 21-B-2 | 33 | 29 | 28 | 38 | 23 | 29 |
| 221-B-1 | 68 | 71 | 66 | 83 | 69 | 71 |

CUADRO N° 11

| | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO | |
|------------------------------|-------|------|------|------|------|----------|------|
| | IV | I | II | III | IV | | |
| Carga Fresca MBD | 6.5 | 6.7 | 6.5 | 6.6 | 6.6 | 6.6 | |
| R.C.C. * | 1.11 | 1.11 | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 1.08 | |
| Carga Comb. °F | 408 | 397 | 384 | 378 | 378 | 384 | |
| Reactor °F | 931 | 933 | 934 | 941 | 943 | 938 | |
| ΔT °F | 523 | 536 | 550 | 563 | 565 | 554 | |
| Rep. Cataliz. LB/Bb | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.31 | 0.34 | 0.29 | |
| Pase Densa Regenerador °F | 1211 | 1209 | 1214 | 1204 | 1211 | 1209 | |
| Relación CO ₂ /CO | 2.4 | 2.1 | 2.4 | 2.7 | 4.4 | 2.9 | |
| Aire MSCFB | 3.90 | 3.80 | 3.88 | 3.93 | 4.04 | 3.91 | |
| Coque BEAC/MB | 61.0 | 61.4 | 62.9 | 64.6 | 68.1 | 64.2 | |
| | LB/Bb | 19.2 | 20.2 | 20.7 | 20.3 | 19.4 | 20.1 |

*R.C.C. : Relación de Carga Combinada.

El promedio anual ponderado se incrementó en 0.04 LB/Bb respecto al IV Trimestre de 1981, es decir un incremento del 16% (0.29 vs. 0.25 LB/Bb). (Cuadro N° 11).

Este incremento permitió incrementar la actividad del Catalizador

8.4. Fase Densa del Regenerador

El promedio ponderado anual fue 2°F menor al valor correspondiente al IV Trimestre de 1981 (1209 vs. 1211°F).

8.5. Consumo de Aire

El consumo unitario de aire en el Regenerador para la combustión del coque se incrementó ligeramente (3.91 vs. 3.90 MSCF/Bb) en 1982 respecto al promedio del IV° Trimestre de 1981.

Este incremento fue atenuado por la disminución en la relación de carga combinada (R.C.C.) entre ambos períodos.

9. Consumo de Energía Eléctrica

9.1. Energía Activa

El consumo unitario se incrementó durante 1982 respecto al IV° Trimestre de 1981.

El promedio ponderado anual del consumo unitario se incrementó en 6.1% respecto al correspondiente promedio en el IV° Trimestre de 1981 (1.38 vs. 1.30 KWH/Bb Crudo) (Cuadro N° 12).

Este incremento se manifestó ante en las Unidades de Proceso como en los Servicios Auxiliares.

9.2. Energía Reactiva

El consumo de energía reactiva se logró disminuir en un 8.8% en 1982 respecto al IV° Trimestre de 1981 (0.31 vs. 0.34 KVARH/Bb).

CUADRO N° 12

CONSUMO Y DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA ACTIVA

| | | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|-----------------|--------|------|------|------|------|------|----------|
| | | IV | I | II | III | IV | |
| Carga Crudo | MBD | 93.7 | 92.6 | 88.2 | 86.6 | 93.0 | 90.1 |
| Consumo Total | KWH/Bb | 1.30 | 1.35 | 1.39 | 1.39 | 1.38 | 1.38 |
| Procesos | KWH/Bb | 1.12 | 1.18 | 1.19 | 1.18 | 1.17 | 1.18 |
| Serv.Auxiliares | KWH/Bb | 0.18 | 0.17 | 0.20 | 0.21 | 0.21 | 0.20 |

CUADRO N° 13

ENERGIA REACTIVA

| | | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|---------------|----------|------|------|------|------|------|----------|
| | | IV | I | II | III | IV | |
| Carga Crudo | MBD | 93.7 | 92.6 | 88.2 | 86.6 | 93.0 | 90.1 |
| Consumo Total | KVARH/Bb | 0.34 | 0.40 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.31 |

TABULACION DE DATOS

1. GRAFICO N° 1 : CONSUMO UNITARIO TOTAL DE ENERGIA (BEAC/MB)

| 1981 | | 1982 | | | | |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-----------------|--|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | <u>PROMEDIO</u> | |
| 28.2 | 28.7 | 28.6 | 28.1 | 27.3 | 28.2 | |

CRUDO PROCESADO (MBD)

| | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|
| 93.7 | 92.6 | 88.2 | 86.6 | 93.0 | 90.1 |
|------|------|------|------|------|------|

2. GRAFICO N° 2 : CONSUMO UNITARIO DE ACEITE COMBUSTIBLE (BEAC/MB)

| 1981 | | 1982 | | | | |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-----------------|--|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | <u>PROMEDIO</u> | |
| 14.6 | 14.1 | 13.4 | 13.6 | 12.6 | 13.4 | |

3. GRAFICO N° 3 : CONSUMO UNITARIO DE GAS COMBUSTIBLE (BEAC/MB)

| 1981 | | 1982 | | | | |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-----------------|--|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | <u>PROMEDIO</u> | |
| 5.68 | 6.29 | 6.65 | 5.97 | 6.07 | 6.24 | |

4. GRAFICO N° 4 : CONSUMO UNITARIO DE COQUE (BEAC/MB)

| 1981 | | 1982 | | | | |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-----------------|--|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | <u>PROMEDIO</u> | |
| 6.5 | 6.7 | 6.5 | 6.6 | 6.6 | 6.6 | |

5. GRAFICO N° 5 : CONSUMO UNITARIO DE ELECTRICIDAD (BEAC/MB)

| 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | |
| 3.76 | 3.91 | 3.95 | 3.94 | 3.92 | 3.93 |

6. GRAFICO N° 6 : CONSUMO UNITARIO DE ENERGIA EN HORNOS DE PROCESO (BEAC/MB)

| 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | |
| 15.3 | 15.5 | 14.8 | 14.5 | 14.1 | 14.7 |

CRUDO PROCESADO (MBD)

| | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|
| 93.7 | 92.6 | 88.2 | 86.6 | 93.0 | 90.1 |
|------|------|------|------|------|------|

7. GRAFICO N° 7 : EFICIENCIA TERMICA PROMEDIO PONDERADO DE HORNOS (%)

| 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | |
| 72.6 | 73.5 | 74.1 | 73.2 | 73.4 | 73.5 |

8. GRAFICO N° 8 : EXCESO DE AIRE PROMEDIO PONDERADO DE HORNOS (%)

| 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | |
| 33.4 | 33.1 | 34.0 | 39.7 | 35.2 | 35.5 |

9. GRAFICO N° 9 : CARGA TERMICA PROMEDIO PONDERADO DE HORNOS (°F)

| 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | |
| 175 | 173 | 164 | 161 | 158 | 164 |

10. GRAFICO N° 10 : TEMPERATURA DE SALIDA PROMEDIO PONDERADO (°F)

| 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | |
| 675 | 673 | 664 | 661 | 658 | 662 |

11. GRAFICO N° 11 : TEMPERATURA DE ENTRADA PROMEDIO PONDERADO (°F)

| 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | |
| 494 | 491 | 498 | 499 | 502 | 498 |

12. GRAFICO N° 12 : DENSIDAD PROMEDIO DEL CRUDO PROCESADO (°API)

| 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | |
| 32.2 | 30.6 | 29.6 | 29.3 | 29.2 | 29.7 |

13. GRAFICO N° 13 : CONSUMO UNITARIO DE ENERGIA EN CALDEROS (BEAC/MB)

| 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | |
| 0.201 | 0.194 | 0.204 | 0.204 | 0.204 | 0.201 |

14. GRAFICO N° 14 : CONSUMO UNITARIO DE VAPOR DE CALDEROS (LB/B6)

| 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | |
| 24.9 | 24.8 | 25.7 | 24.7 | 22.3 | 24.4 |

15. GRAFICO N° 15 : EFICIENCIA TERMICA PROMEDIO PONDERADO DE CALDEROS (%)

| 1981 | | 1982 | | | | |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-----------------|--|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | <u>PROMEDIO</u> | |
| 80.1 | 81.4 | 81.5 | 80.4 | 81.4 | 81.2 | |

16. GRAFICO N° 16 : EXCESO DE AIRE PROMEDIO PONDERADO DE CALDEROS (%)

| 1981 | | 1982 | | | | |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-----------------|--|
| <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | <u>PROMEDIO</u> | |
| 53 | 49 | 47 | 51 | 47 | 49 | |

I V . A N A L I S I S D E L C O S T O

D E

E N E R G I A

IV. ANALISIS DEL COSTO DE ENERGIA

1. Costo de Energía

El costo de Energía (Combustible y Electricidad) aumentó en 38% (0.24 a 0.33 \$/Bb) en 1982 respecto al IV° Trimestre de 1981. (Cuadro N° 1).

Asimismo aumentó su contribución en el costo total de producción en 1982 respecto al último trimestre de 1981 desde un 30 a un 41%.

2. Costo de Combustible

El componente que incide en mayor proporción en el costo de energía es el combustible (Cuadro N° 2).

El costo de combustible se incrementó en 1982 respecto al IV° Trimestre de 1981 en 24% (0.26 a 0.21 \$/Bb).

3. Costo de Electricidad

El costo de electricidad aumentó en 133% durante 1982 respecto al IV° Trimestre de 1981 (0.03 vs. 0.07 \$/Bb). (Cuadro N° 2)

El costo de electricidad aumentó en 1982 su contribución al costo de energía respecto al IV° Trimestre de 1981 de 12 a 21%.

CUADRO N° 1

COSTO DE ENERGIA

| | | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|---------------------------|-------|------|------|------|------|------|----------|
| | | IV | I | II | III | IV | |
| Crudo Procesado | MBD | 93.7 | 92.6 | 88.2 | 86.6 | 93.0 | 90.1 |
| Energía | \$/Bb | 0.24 | 0.30 | 0.33 | 0.35 | 0.35 | 0.33 |
| | % | 30 | 39 | 43 | 42 | 40 | 41 |
| Costo Total de Producción | \$/Bb | 0.81 | 0.76 | 0.76 | 0.84 | 0.87 | 0.81 |
| | % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

CUADRO N° 2

COMPOSICION DEL COSTO DE ENERGIA

| | | 1981 | | 1982 | | | PROMEDIO |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|----------|
| | | IV | I | II | III | IV | |
| Costo de Combustible | \$/Bb | 0.21 | 0.23 | 0.26 | 0.28 | 0.28 | 0.26 |
| | % | 88 | 77 | 79 | 80 | 80 | 79 |
| Costo de Electricidad | \$/Bb | 0.03 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| | % | 12 | 23 | 21 | 20 | 20 | 21 |
| Costo de Energía | \$/Bb | 0.24 | 0.30 | 0.33 | 0.35 | 0.35 | 0.33 |
| | % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

GRAFICO N°1

\$/Bb

0.40

1981

1982

0.30

0.20

IV

I

II

III

IV

COSTO DE ENERGIA

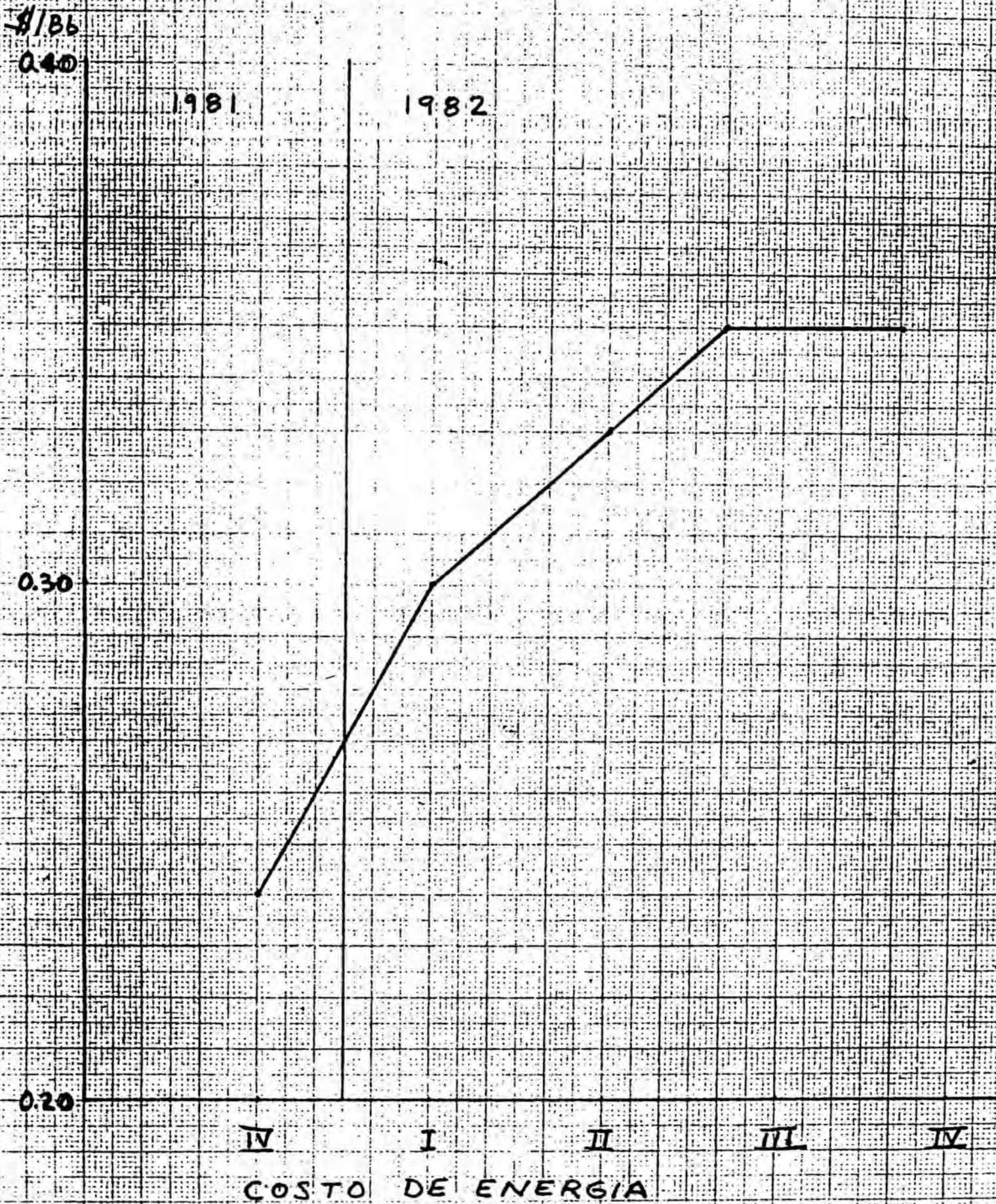


GRAFICO Nº 2

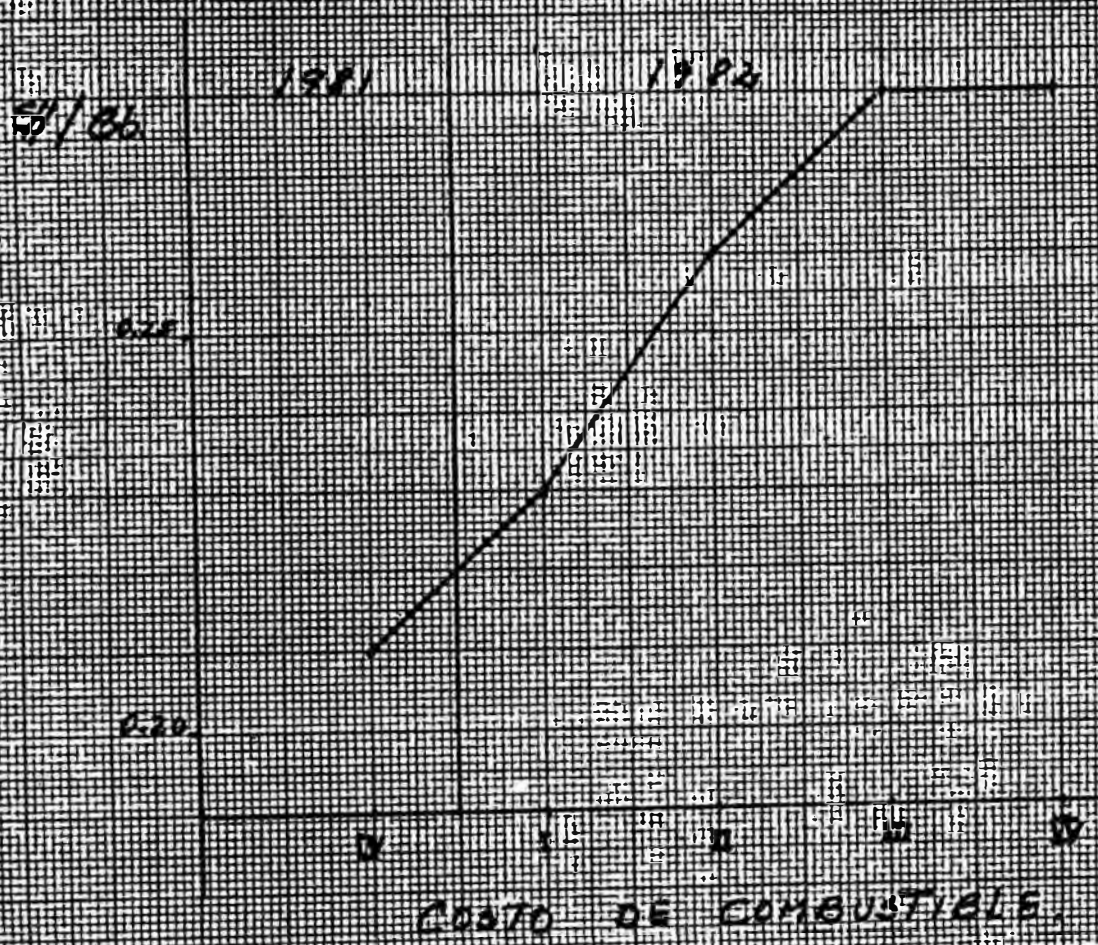


GRAFICO Nº 3



TABULACION DE DATOS

GRAFICO N° 1 : COSTO DE ENERGIA

| | | 1981 | | 1982 | | |
|------------------|-------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|
| | | <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> |
| Costo de Energía | \$/Bb | 0.24 | 0.30 | 0.33 | 0.35 | 0.35 |

GRAFICO N° 2 : COSTO DE COMBUSTIBLE

| | | 1981 | | 1982 | | |
|-------------------|-------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|
| | | <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> |
| Costo de combust. | \$/Bb | 0.21 | 0.23 | 0.26 | 0.28 | 0.28 |

GRAFICO N° 3 : COSTO DE ELECTRICIDAD

| | | 1981 | | 1982 | | |
|--------------------|-------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|
| | | <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> |
| Costo de Electric. | \$/Bb | 0.03 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |

V . ANALISIS DE PRECIOS

DE

E N E R G I A

V. ANALISIS DE PRECIOS DE ENERGIA

1. Precio del Combustible

El precio del combustible (P.I. # 6) se incrementó desde un valor promedio de 10.31 \$/Bb en el IV° Trimestre de 1981 hasta 14.84 \$/Bb en el IV° Trimestre de 1982. Este aumento fue del 44% en dicho período. El precio promedio durante 1982 (13.40 \$/Bb) fue 30% mayor que el correspondiente al IV° Trimestre de 1981.

2. Precio de Electricidad

El precio de la energía eléctrica tuvo un incremento notable entre el IV° Trimestre de 1981 y el I° Trimestre de 1982. Este aumento fue del 148% (0.072 vs. 0.029 \$/KWH).

El precio promedio durante 1982 fue 141% mayor al del IV° Trimestre de 1981 (0.070 vs. 0.029 \$/KWH).

El componente del precio por energía activa se incrementó desde un valor promedio de 0.026 \$/KWH en el IV° Trimestre de 1981 hasta 0.065 \$/KWH en 1982. Este incremento fue del 150%.

El componente del precio por energía reactiva tuvo un incremento menor entre los mismos períodos (67%), como consecuencia de una disminución en el valor de dicho componente en el II° Trimestre de 1982 del 33% respecto al valor promedio en el I° Trimestre.

GRAFICO N°1

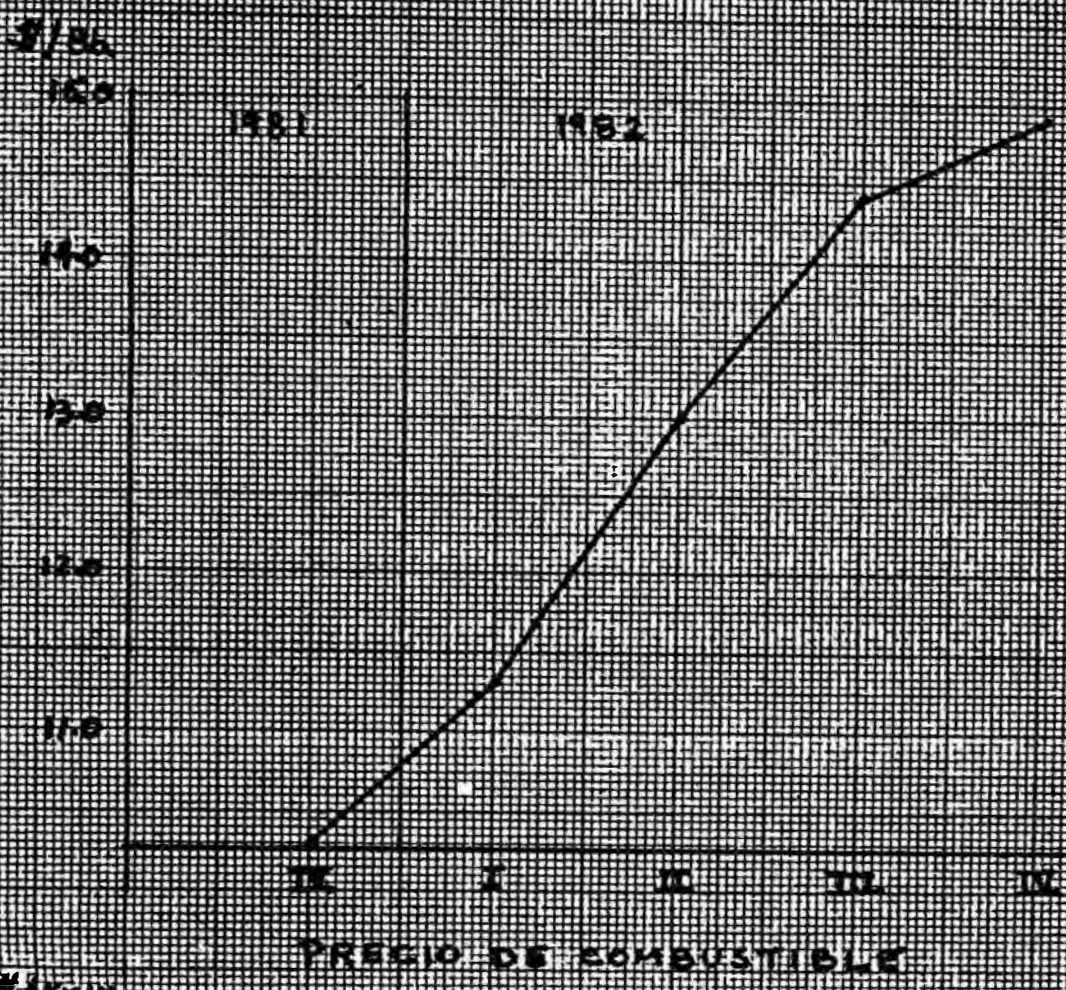


GRAFICO N°2-1

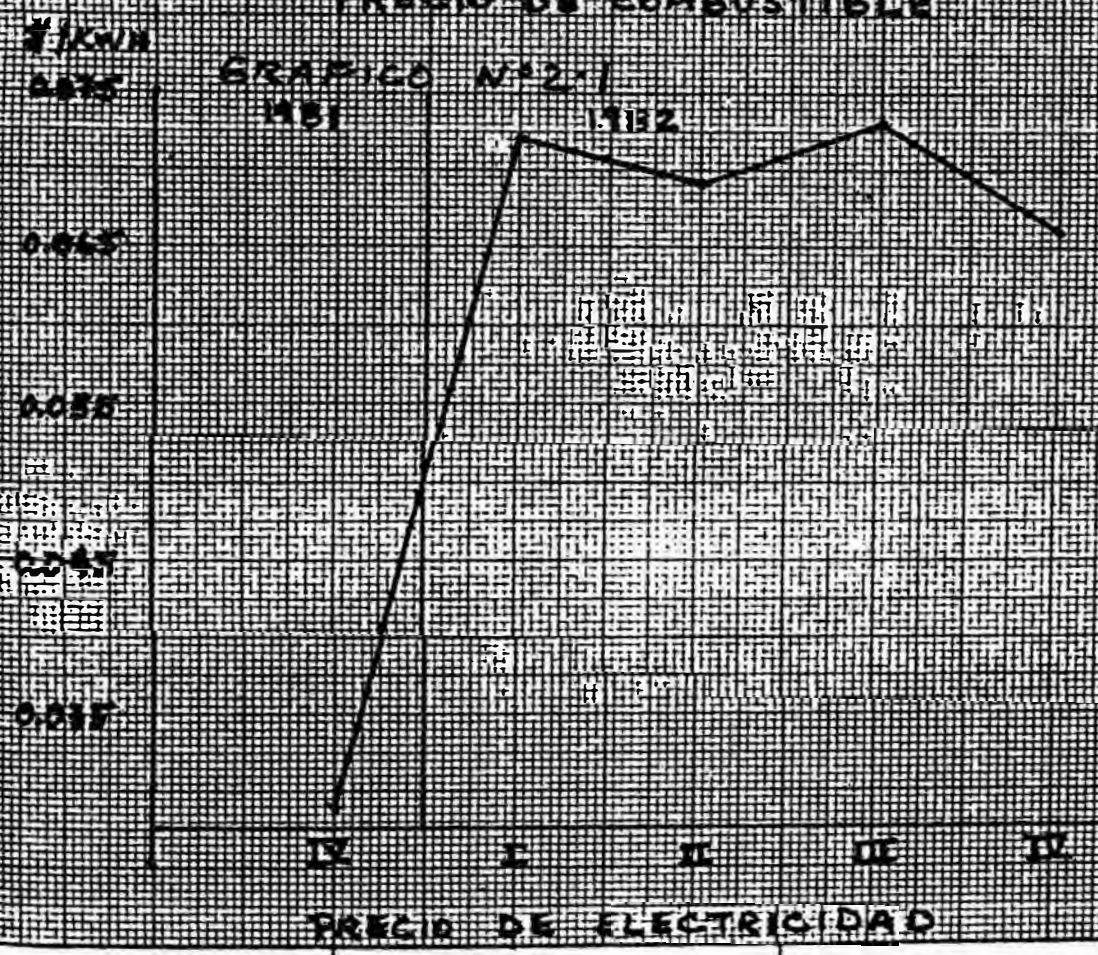


GRAFICO Nº2.2

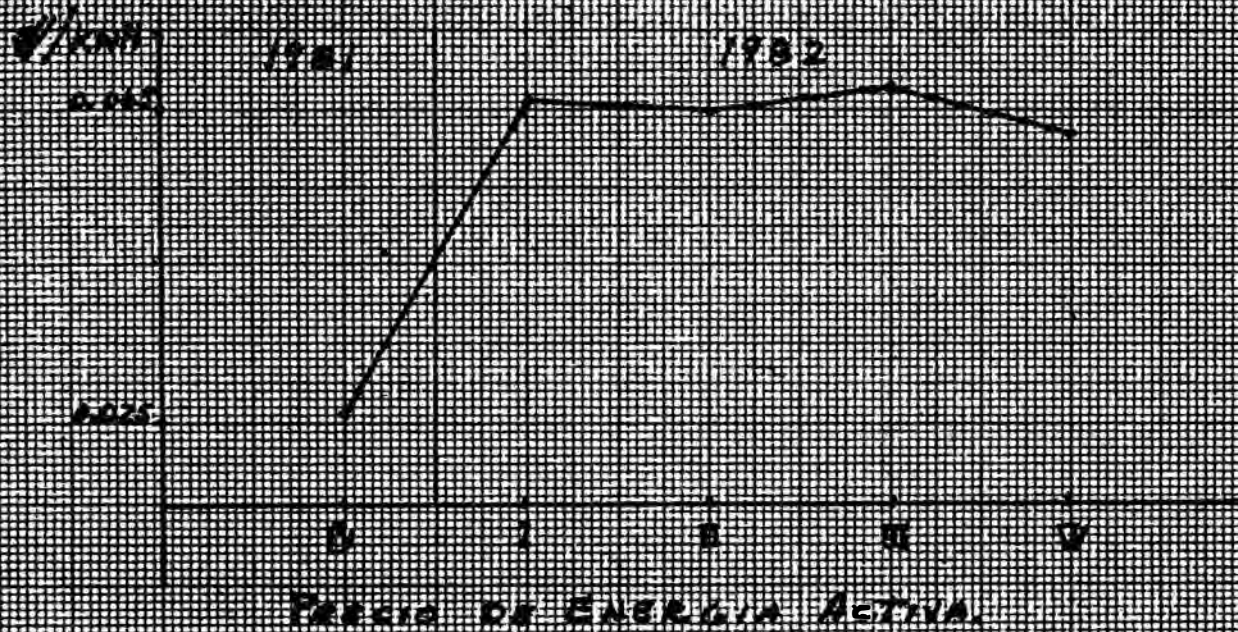
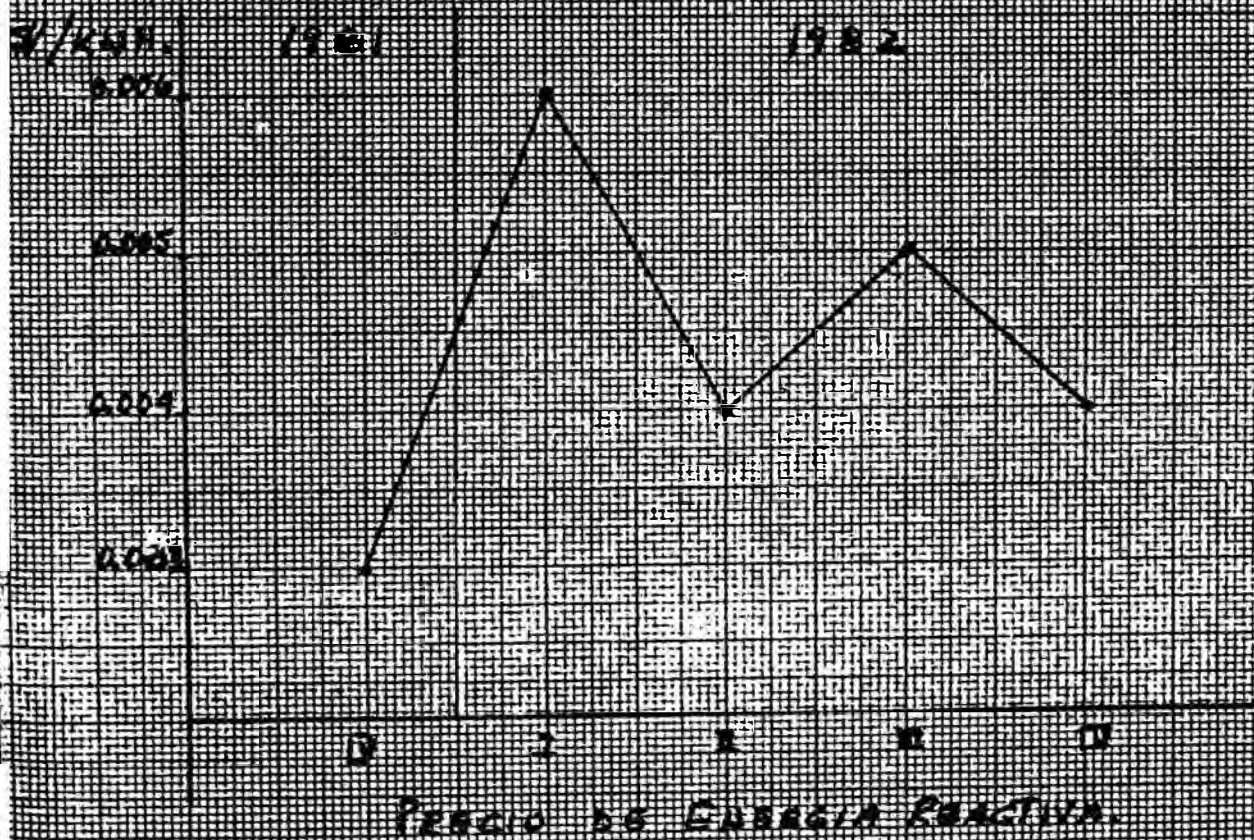


GRAFICO Nº2.3



TABULACION DE DATOS

GRAFICO N° 1 : PRECIO DE COMBUSTIBLE

| | | 1981 | | 1982 | | | |
|--------|-------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-----------------|
| | | <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | <u>PROMEDIO</u> |
| Precio | \$/Bb | 10.30 | 11.3 | 13.0 | 14.4 | 14.9 | 13.4 |

GRAFICO N° 2 : PRECIO DE ELECTRICIDAD

| | | 1981 | | 1982 | | | |
|------------------|--------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-----------------|
| | | <u>IV</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> | <u>IV</u> | <u>PROMEDIO</u> |
| Precio | \$/KWH | 0.029 | 0.072 | 0.069 | 0.073 | 0.066 | 0.070 |
| Energía Activa | \$/KWH | 0.026 | 0.066 | 0.065 | 0.068 | 0.062 | 0.065 |
| Energía Reactiva | \$/KWH | 0.003 | 0.006 | 0.004 | 0.005 | 0.004 | 0.005 |

IV. A N E X O S

1. MEDICION DE CONSUMOS
2. CALCULO DEL CONSUMO DE COQUE EN EL REGENERADOR
3. CONVERSION DE UNIDADES
4. PODER CALORIFICO DE ACEITES COMBUSTIBLES
5. PODER CALORIFICO DE GAS COMBUSTIBLE
6. DENSIDAD

A N E X O N º 1

MEDICION DE CONSUMOS DE ENERGIA

1. ACEITE COMBUSTIBLE

El consumo de aceite combustible es determinado diariamente en base al balance de inventarios correspondientes a los tanques de aceite combustible, el cuál se realiza a las 5:00 de la mañana. Dicho consumo es medido en barriles americanos, los cuales deben ser transformados en barriles equivalentes de aceite combustible de 6.00 MMBTU, que es la Unidad Convencional adoptada en PETROPERU.

Dicha transformación es directa conociendo el poder calorífico del aceite combustible.

2. GAS COMBUSTIBLE

La determinación del consumo de gas combustible se realiza diariamente en base a la lectura periódica del registro de dos instrumentos de flujo de gas combustible.

La suma de los valores de consumo obtenidos a partir de la lectura de dichos instrumentos nos permiten calcular el consumo total de la Refinería.

La lectura diaria de los instrumentos debe ser multiplicada por el poder calorífico respectivo del gas combustible para poder convertir dicho consumo en términos de barriles equivalentes de aceite combustible (BEAC).

3. COQUE

El coque generado y consumido en el proceso de Craqueo Catalítico a partir de un balance de materia y energía en el Regenerador.

Dicho balance es posible realizarlo sabiendo la composición de los gases de chimenea del Regenerador (ORSAT) y del flujo de aire al Regenerador.

4. ELECTRICIDAD

El consumo de electricidad es determinado por la lectura de un instrumento totalizador del consumo total en KWH.

El consumo expresado en KWH es convertido a Barriles equivalentes de aceite combustible (BEAC) utilizando un factor de conversión correspondiente a generadores térmicos existentes en nuestras operaciones en el NorOeste (Talara).

A N E X O N ° 2

CALCULO DEL CONSUMO DE COQUE EN EL REGENERADOR

Si el análisis del gas de combustión y el flujo de aire es conocido, la producción de coque y su composición pueden ser calculados basado en la composición del aire.

1. COMPOSICION DEL GAS DE COMBUSTION

$$O_2 = 0.2 \% \text{ Mol.}$$

$$CO = 7.6 \% "$$

$$CO_2 = 10.4 \% "$$

$$N_2 = 81.8 \% "$$

2. FLUJO MOLAR DEL AIRE

$$17,700 \text{ SCFM} \times 60 \frac{\text{Min}}{\text{H}} \times \frac{1 \text{ Mol.}}{379 \text{ SCF}} = 2,802 \frac{\text{Mol}}{\text{H}}$$

3. FLUJO DE GAS DE COMBUSTION

$$2,802 \times \frac{79.1}{81.8} = 2,709 \frac{\text{Mol}}{\text{H}} \quad (\text{Balance de } N_2)$$

4. FLUJO INDIVIDUAL DE COMPONENTES DE GAS DE COMBUSTION

$$O_2 = 2709 \times 0.002 = 5.4 \text{ Mol/H}$$

$$CO = 2709 \times 0.076 = 205.9 \quad "$$

$$CO_2 = 2709 \times 0.104 = 281.7 \quad "$$

5. AGUA FORMADA

$$\text{Suministro de oxígeno} : 2,802 \times 0.21 = 588 \frac{\text{MOL}}{\text{H}}$$

$$\text{Salida de Oxígeno} : 5.4 + 281.7 + 1/2 (205.9) = 390.0$$

$$\text{Agua Formada} : 2 (588 - 390) = 396 \frac{\text{Mol}}{\text{H}} \quad (\text{Balance de } O_2)$$

6. COMBUSTION DEL COQUE

$$C \text{ a } CO \quad 205.9 \text{ Mol/H} \times 0.0476 \text{ BTU/Mol} \times 10^{-6} = 9.8 \text{ MMBTU/H}$$

$$C \text{ a } CO_2 \quad 281.7 \text{ " } \times 0.1693 \text{ " } = 47.7 \text{ "}$$

$$H \text{ a } H_2O \quad 396.0 \text{ " } \times 0.1040 \text{ " } = 41.2 \text{ "}$$

$$98.7 \text{ MMBTU/H}$$

7. CONSUMO DE COQUE

$$\frac{98.7 \text{ MMBTU}}{\text{H}} + 6 \frac{\text{MMBTU}}{\text{BEAC}} \times 24 \frac{\text{H}}{\text{D}} = 395 \frac{\text{BEAC}}{\text{D}}$$

A N E X O N° 3

CONVERSION DE UNIDADES

ACEITE COMBUSTIBLE

Volumen x Densidad X Poder Calorífico x Factor de Conversión
(Bl.) (Lb/Bl) (BTU/Lb) BEAC/6MMBTU

GAS COMBUSTIBLE

Volumen x Poder Calorífico x Factor de Conversión
(PC) (BTU/PC) BEAC/6MMBTU

COQUE

Peso x Poder Calorífico x Factor de Conversión
(MoL) (BTU/MoL.) BEAC/6MMBTU

ELECTRICIDAD

Trabajo x Factor de Conversión x Factor de Conversión
Eficiencia
(KWH/0.20) 3,1415 BTU/KWH BEAC/6MMBTU

FIGURE 11A11
HEAT OF COMBUSTION
OF LIQUID PETROLEUM
FRACTIONS
TECHNICAL DATA BOOK
October 1964
Approved: MRF & WGB

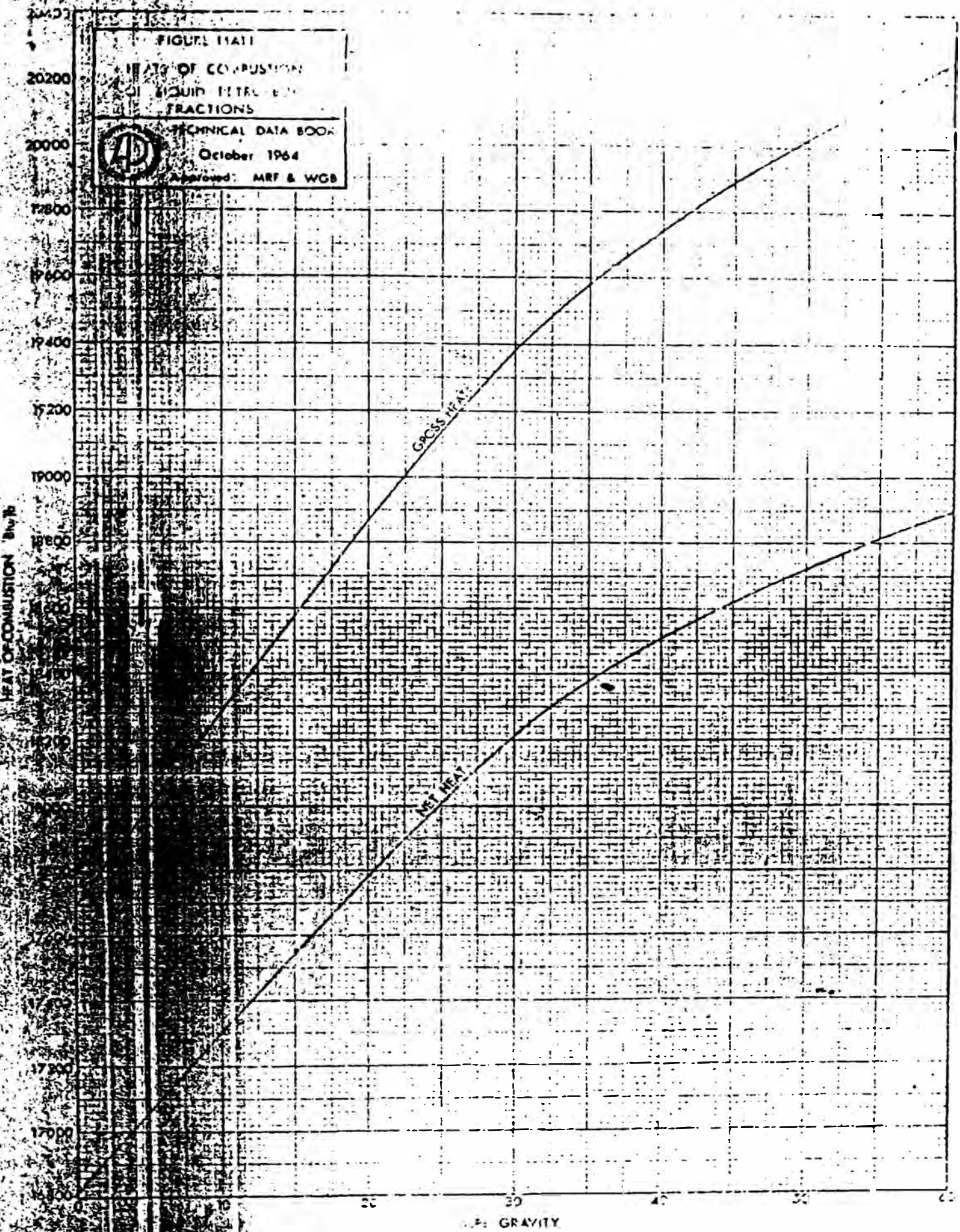


TABLE 1C1.8—Gaseous Hydrocarbons, C₁ to C₈ (English Units)

| No. | Compound | Compressibility Factor of the Gas, $Z = P/P^0/RT$ | | Specific Gravity ^a of Real Gas at 60 F and 1 atm., Referred to Air as Unity | Specific Volume ^a of the Gas at 60 F and 1 atm. | | Heat Capacity of the Gas ^a at Constant Pressure at 60 F and 1 atm., Btu per lb. mole Fahr | Heat of Combustion of the Real Gas at 60 F and Constant Pressure, Btu per cu ft | | Air Required for Combustion ^a Real Gas and 1 lb |
|-------|--|--|-------------------------|--|--|--------------------------|--|---|---|--|
| | | Under critical conditions, Z_c | at 60 F and 1 atm., Z | | cu ft gas per lb gas | cu ft gas per gal liquid | | Gross, to form H ₂ O (liquid) + CO ₂ (gas) | Net, to form H ₂ O (gas) + CO ₂ (gas) | |
| 1C1.1 | 1 Paraffins, C ₁ to C ₃ : Methane, C ₁ H ₄ , M.W. 16.042 | 0.289 | 0.9981 | 0.55491 | 23.6113 | ... | 0.5271 | 1011.6 | 910.77 | 9.583 |
| | 2 Ethane, C ₂ H ₆ , M.W. 30.068 | 0.285 | 0.9916 | 1.0489 | 12.5181 | ... | 0.4097 | 1783.7 | 1631.6 | 16.845 |
| | 3 Propane, C ₃ H ₈ , M.W. 44.094 | 0.277 | 0.9820 | 1.6503 | 8.4516 | 35.775 ^d | 0.3885 | 2543.3 | 2380.3 | 24.300 |
| 4 | Paraffins, C ₄ H ₁₀ , M.W. 58.120: | | | | | | | | | |
| | 4 n-Butane | 0.274 | 0.9667 | 2.0787 | 6.3120 | 30.752 ^d | 0.3906 | 3374.4 | 3114.2 | 32.080 |
| 5 | 2-Methylpropane (isobutane) | 0.283 | 0.9899 | 2.06805 | 6.3365 | 29.745 ^d | 0.3872 | 3382.18 | 3092.9 | 31.976 |
| 6 | Paraffins, C ₅ H ₁₂ , M.W. 72.146: | | | | | | | | | |
| | 6 n-Pentane | 0.260 | 0.9435 | 2.6400 | 4.9629 | 36.116 | 0.3883 | 4249.1 | 3929.3 | 40.466 |
| | 7 2-Methylbutane (isopentane) | 0.268 | 0.9482 | 2.6289 | 4.9876 | 26.980 | 0.3827 | 4218.7 | 3900.25 | 40.265 |
| 8 | 2,2-Dimethylpropane (neopentane) | 0.269 | (0.95) | 2.622 | 4.997 | 24.86 ^d | 0.3914 | 4197 | 3879 | 40.19 |
| 1C1.2 | 1 Cyclopropane, C ₃ H ₆ , M.W. 42.076 | ... | (0.967) ^p | 1.805 ^p | 7.258 ^p | ... | ... | ... | ... | ... |
| | 23 Cyclopentane, C ₅ H ₁₀ , M.W. 70.130 | 0.276 | (0.968) ^p | 2.240 ^p | 5.648 ^p | 34.997 ^p | 0.2712 | ... | ... | 35.800 ^p |
| 1C1.3 | 1 Monoolefins, C ₂ and C ₃ : Ethene, C ₂ H ₄ , M.W. 28.052 | 0.269 | 0.9940 | 0.9740 | 13.4524 | ... | 0.3822 | 1608.6 | 1507.3 | 14.299 |
| | 2 Propene, C ₃ H ₆ , M.W. 42.078 | 0.274 | 0.9839 | 1.4785 | 6.8736 | 38.818 ^d | 0.3541 | 2371.7 | 2218.3 | 31.827 |
| 3 | Monoolefins, C ₄ H ₈ , M.W. 56.104: | | | | | | | | | |
| | 3 1-Butene | 0.277 | 0.9694 | 1.9982 | 6.6571 | 32.871 ^d | 0.3848 | 3177.9 | 2970.3 | 29.639 |
| | 4 cis-2-Butene | 0.276 | (0.97) | 1.997 | 6.661 | 34.30 ^d | 0.3280 | 3168 | 2960.6 | 29.52 |
| | 5 trans-2-Butene | 0.276 | (0.97) | ... | ... | 33.37 ^d | 0.3654 | 3163 | 2957 | 29.53 |
| 6 | 2-Methylpropene | 0.276 | (0.97) | 1.997 | 6.661 | 32.84 ^d | 0.3701 | 3166 | 2949 | 29.52 |
| 7 | Monoolefins, C ₅ H ₁₀ , M.W. 70.130: | | | | | | | | | |
| | 7 1-Pentene | ... | (0.96) | 2.849 | 5.141 | 37.68 | 0.3636 | 4682.6 | 3763.6 | 37.68 |
| | 8 cis-2-Pentene | ... | (0.94) | 2.676 | 5.087 | 28.08 | 0.3266 | 4064 | 3796 | 36.06 |
| | 9 trans-2-Pentene | ... | (0.94) | 2.676 | 5.087 | 27.71 | 0.3601 | 4068 | 3790 | 36.06 |
| | 10 2-Methyl-1-butene | ... | (0.95) | 2.849 | 5.141 | 28.10 | 0.3706 | 4010 | 3745 | 37.68 |
| | 11 3-Methyl-1-butene | ... | (0.96) | 2.849 | 5.141 | 27.11 | 0.3928 | 4019 | 3754 | 37.68 |
| 12 | 2-Methyl-2-butene | ... | (0.96) | 2.849 | 5.141 | 28.61 | 0.3483 | 4009 | 3728 | 37.68 |
| 164 | Diolefins, C ₄ H ₆ , M.W. 40.062: Propadiene | ... | (0.98) | 1.411 | 9.283 | ... | 0.3439 | 2249 | 2146 | 19.48 |
| | 165 | Diolefins, C ₅ H ₈ , M.W. 64.088: 1,3-Butadiene | ... | (0.97) | 1.926 | 6.806 | 37.24 ^d | 0.3488 | 2931 | 2875 |
| 166 | 1,3-Butadiene | 0.271 | 0.975 | 1.9153 | 6.841 | 35.771 ^d | 0.3413 | 2954.8 | 2800 | 26.93 |
| 166 | Diolefins, C ₅ H ₈ , M.W. 68.114: | | | | | | | | | |
| | 166 1,3-Pentadiene | ... | (0.96) | 2.478 | 5.293 | 30.78 | 0.360 | 3885 | 3674 | 35.166 |
| | 167 1,cis-3-Pentadiene | ... | (0.94) | 2.602 | 5.237 | 30.40 | 0.321 | 3848 | 3632 | 35.64 |
| | 168 1,trans-3-Pentadiene | ... | (0.94) | 2.602 | 5.237 | 29.74 | 0.354 | 3848 | 3621 | 35.64 |
| | 169 1,4-Pentadiene | ... | (0.96) | 2.478 | 5.293 | 29.39 | 0.359 | 3827.5 | 3626 | 35.166 |
| | 170 3,3-Pentadiene | ... | (0.96) | 2.478 | 5.293 | 30.89 | 0.347 | 3877 | 3665 | 35.166 |
| | 171 3-Methyl-1,2-butadiene | ... | (0.96) | 2.478 | 5.293 | 30.82 | 0.361 | 3848 | 3655 | 35.166 |
| | 172 2-Methyl-1,3-butadiene (isoprene) | ... | (0.96) | 2.480 | 5.349 | 30.69 | 0.357 | 3763 | 3553 | 34.80 |
| 1C1.4 | 1 Cyclopentene, C ₅ H ₈ , M.W. 68.114 | ... | ... | ... | ... | ... | 0.2644 | ... | ... | 33.413 ^p |
| 1C1.A | 1 Acetylenes, C ₂ and C ₃ : Ethyne (acetylene), C ₂ H ₂ , M.W. 26.036 | 0.274 | 0.9925 | 0.9057 | 14.4664 | ... | 0.3966 | 1483.6 | 1433.1 | 19.081 |
| | 2 Propyne (methylacetylene), C ₃ H ₄ , M.W. 40.062 | ... | (0.98) | 1.411 | 9.283 | ... | 0.3548 | 2241 | 2138 | 19.48 |
| 3 | Acetylenes, C ₄ H ₆ , M.W. 54.088: | | | | | | | | | |
| | 3 1-Butyne | ... | (0.95) | 1.966 | 6.665 | 35.96 ^d | 0.3513 | 3098 | 2939 | 27.63 |
| 4 | 2-Butyne | ... | (0.96) | 1.945 | 6.736 | 39.11 | 0.3272 | 3044 | 2896 | 27.34 |
| 5 | Acetylenes, C ₅ H ₈ , M.W. 68.114: | | | | | | | | | |
| | 5 1-Pentyne | ... | (0.95) | 2.475 | 5.293 | 30.86 | 0.3670 | 3854 | 3672 | 35.166 |
| | 6 2-Pentyne | ... | (0.94) | 2.502 | 5.237 | 31.26 | 0.3583 | 3907 | 3693 | 35.64 |
| 7 | 3-Methyl-1-butyne | ... | (0.96) | 2.450 | 5.349 | 29.95 | 0.3579 | 3834 | 3625 | 34.80 |

Notes:
 1. Values in parentheses are estimated. For methods of estimation, see p. 1-82.
 2. M.W. = molecular weight.
 3. See Appendix I, p. 1-81, for definitions of sub- and superscripts.

TABLE 6A11 (Continued)

| API GRAVITY AT 60F | SPECIFIC GRAVITY 60F/60F | WEIGHT IN AIR | | | API GRAVITY AT 60F | SPECIFIC GRAVITY 60F/60F | WEIGHT IN AIR | | |
|--------------------|--------------------------|---------------|-----------------|---------------|--------------------|--------------------------|---------------|-----------------|---------------|
| | | LB/GAL AT 60F | LB/CU FT AT 60F | LB/BBL AT 60F | | | LB/GAL AT 60F | LB/CU FT AT 60F | LB/BBL AT 60F |
| 10.0 | 1.0000 | 8.328 | 62.30 | 345.8 | 15.0 | 0.9659 | 8.044 | 60.17 | 337.8 |
| 10.1 | 0.9993 | 8.322 | 62.26 | 349.5 | 15.1 | 0.9652 | 8.038 | 60.13 | 337.6 |
| 10.2 | 0.9986 | 8.316 | 62.27 | 349.3 | 15.2 | 0.9646 | 8.033 | 60.09 | 337.4 |
| 10.3 | 0.9979 | 8.311 | 62.17 | 349.0 | 15.3 | 0.9639 | 8.027 | 60.05 | 337.1 |
| 10.4 | 0.9972 | 8.305 | 62.13 | 348.8 | 15.4 | 0.9632 | 8.022 | 60.01 | 336.9 |
| 10.5 | 0.9965 | 8.299 | 62.08 | 348.6 | 15.5 | 0.9626 | 8.016 | 59.97 | 336.7 |
| 10.6 | 0.9958 | 8.293 | 62.04 | 348.3 | 15.6 | 0.9619 | 8.011 | 59.93 | 336.5 |
| 10.7 | 0.9951 | 8.287 | 62.00 | 348.1 | 15.7 | 0.9613 | 8.005 | 59.89 | 336.2 |
| 10.8 | 0.9944 | 8.281 | 61.95 | 347.8 | 15.8 | 0.9606 | 8.000 | 59.85 | 336.0 |
| 10.9 | 0.9937 | 8.276 | 61.91 | 347.6 | 15.9 | 0.9600 | 7.995 | 59.81 | 335.8 |
| 11.0 | 0.9930 | 8.270 | 61.87 | 347.3 | 16.0 | 0.9593 | 7.989 | 59.77 | 335.5 |
| 11.1 | 0.9923 | 8.264 | 61.82 | 347.1 | 16.1 | 0.9587 | 7.984 | 59.73 | 335.3 |
| 11.2 | 0.9916 | 8.258 | 61.78 | 346.8 | 16.2 | 0.9580 | 7.978 | 59.69 | 335.1 |
| 11.3 | 0.9909 | 8.252 | 61.74 | 346.6 | 16.3 | 0.9574 | 7.973 | 59.64 | 334.9 |
| 11.4 | 0.9902 | 8.247 | 61.69 | 346.4 | 16.4 | 0.9567 | 7.967 | 59.60 | 334.6 |
| 11.5 | 0.9895 | 8.241 | 61.65 | 346.1 | 16.5 | 0.9561 | 7.962 | 59.56 | 334.4 |
| 11.6 | 0.9888 | 8.235 | 61.61 | 345.9 | 16.6 | 0.9554 | 7.957 | 59.52 | 334.2 |
| 11.7 | 0.9881 | 8.229 | 61.56 | 345.6 | 16.7 | 0.9548 | 7.951 | 59.48 | 334.0 |
| 11.8 | 0.9874 | 8.224 | 61.52 | 345.4 | 16.8 | 0.9541 | 7.946 | 59.44 | 333.7 |
| 11.9 | 0.9868 | 8.218 | 61.48 | 345.1 | 16.9 | 0.9535 | 7.941 | 59.40 | 333.5 |
| 12.0 | 0.9861 | 8.212 | 61.43 | 344.9 | 17.0 | 0.9529 | 7.935 | 59.36 | 333.3 |
| 12.1 | 0.9854 | 8.206 | 61.39 | 344.7 | 17.1 | 0.9522 | 7.930 | 59.32 | 333.1 |
| 12.2 | 0.9847 | 8.201 | 61.35 | 344.4 | 17.2 | 0.9516 | 7.925 | 59.28 | 332.8 |
| 12.3 | 0.9840 | 8.195 | 61.31 | 344.2 | 17.3 | 0.9509 | 7.919 | 59.24 | 332.6 |
| 12.4 | 0.9833 | 8.189 | 61.26 | 343.9 | 17.4 | 0.9503 | 7.914 | 59.20 | 332.4 |
| 12.5 | 0.9826 | 8.184 | 61.22 | 343.7 | 17.5 | 0.9497 | 7.909 | 59.16 | 332.2 |
| 12.6 | 0.9820 | 8.178 | 61.18 | 343.5 | 17.6 | 0.9490 | 7.903 | 59.12 | 331.9 |
| 12.7 | 0.9813 | 8.172 | 61.14 | 343.2 | 17.7 | 0.9484 | 7.898 | 59.08 | 331.7 |
| 12.8 | 0.9806 | 8.166 | 61.09 | 343.0 | 17.8 | 0.9478 | 7.893 | 59.04 | 331.5 |
| 12.9 | 0.9799 | 8.161 | 61.05 | 342.8 | 17.9 | 0.9471 | 7.887 | 59.01 | 331.3 |
| 13.0 | 0.9792 | 8.155 | 61.01 | 342.5 | 18.0 | 0.9465 | 7.882 | 58.97 | 331.0 |
| 13.1 | 0.9786 | 8.150 | 60.97 | 342.3 | 18.1 | 0.9459 | 7.877 | 58.93 | 330.8 |
| 13.2 | 0.9779 | 8.144 | 60.92 | 342.0 | 18.2 | 0.9452 | 7.872 | 58.89 | 330.6 |
| 13.3 | 0.9772 | 8.138 | 60.88 | 341.8 | 18.3 | 0.9446 | 7.866 | 58.85 | 330.4 |
| 13.4 | 0.9765 | 8.133 | 60.84 | 341.6 | 18.4 | 0.9440 | 7.861 | 58.81 | 330.2 |
| 13.5 | 0.9759 | 8.127 | 60.80 | 341.3 | 18.5 | 0.9433 | 7.856 | 58.77 | 329.9 |
| 13.6 | 0.9752 | 8.121 | 60.76 | 341.1 | 18.6 | 0.9427 | 7.851 | 58.73 | 329.7 |
| 13.7 | 0.9745 | 8.116 | 60.71 | 340.9 | 18.7 | 0.9421 | 7.845 | 58.69 | 329.5 |
| 13.8 | 0.9738 | 8.110 | 60.67 | 340.6 | 18.8 | 0.9415 | 7.840 | 58.65 | 329.3 |
| 13.9 | 0.9732 | 8.105 | 60.63 | 340.4 | 18.9 | 0.9408 | 7.835 | 58.61 | 329.1 |
| 14.0 | 0.9725 | 8.099 | 60.59 | 340.2 | 19.0 | 0.9402 | 7.830 | 58.57 | 328.8 |
| 14.1 | 0.9718 | 8.093 | 60.55 | 339.9 | 19.1 | 0.9396 | 7.824 | 58.53 | 328.6 |
| 14.2 | 0.9712 | 8.088 | 60.51 | 339.7 | 19.2 | 0.9390 | 7.819 | 58.50 | 328.4 |
| 14.3 | 0.9705 | 8.082 | 60.46 | 339.5 | 19.3 | 0.9383 | 7.814 | 58.46 | 328.2 |
| 14.4 | 0.9698 | 8.077 | 60.42 | 339.2 | 19.4 | 0.9377 | 7.809 | 58.42 | 328.0 |
| 14.5 | 0.9692 | 8.071 | 60.38 | 339.0 | 19.5 | 0.9371 | 7.804 | 58.38 | 327.8 |
| 14.6 | 0.9685 | 8.066 | 60.34 | 338.8 | 19.6 | 0.9365 | 7.798 | 58.34 | 327.5 |
| 14.7 | 0.9679 | 8.060 | 60.30 | 338.5 | 19.7 | 0.9358 | 7.793 | 58.30 | 327.3 |
| 14.8 | 0.9672 | 8.055 | 60.26 | 338.3 | 19.8 | 0.9352 | 7.788 | 58.26 | 327.1 |
| 14.9 | 0.9665 | 8.049 | 60.22 | 338.1 | 19.9 | 0.9346 | 7.783 | 58.22 | 326.9 |

NOTE -- GAL = U. S. GALLON, BBL = 42 U. S. GALLONS.