

Evaluación de la viscosidad de cenizas de algunos carbones colombianos.

Pedro Ramírez Castro

Geólogo, Doctor en Ciencias Naturales,
Ex-profesor Facultad de Minas,
Universidad Nacional, Medellín.

RESUMEN

En este trabajo se evalúan las temperaturas de viscosidades de 250 poises de cenizas de carbón con diferentes rangos. Las cenizas de tipo lignítico se encuentran principalmente en carbones sub-bituminosos mientras que las cenizas de tipo bituminoso son de carbones bituminosos. Las cenizas de tipo sub-bituminoso por sus altos contenidos de Fe_2O_3 y pocos contenidos de SiO_2 y Al_2O_3 tienen bajas temperaturas de viscosidades de 250 poises por lo que son aptos para ser evacuados en fondos húmedos. Las cenizas de tipo bituminoso por sus bajos contenidos de Fe_2O_3 y altos de SiO_2 y Al_2O_3 muestran altas temperaturas de viscosidad de 250 poises lo que las hace aptas para ser evacuadas de fondos secos.

INTRODUCCIÓN

Las cenizas de un carbón se ablandan y funden cuando se calientan bajo ciertas condiciones de operación. Las características de la fusión de las cenizas de diferentes carbones varían ampliamente. Cenizas de carbones por ejemplo, que ablandan y funden comparativamente a bajas temperaturas causan serios problemas en los lechos estáticos, tubos y paredes de calderas debido a formación de encostramientos (slagging).

Para operar cenizas secas (sólidas) se prefieren aquellas que ablandan y funden sobre $1.425^{\circ}C$, mientras que carbones con cenizas que funden a temperaturas menores de $1.200^{\circ}C$ se prefieren para ser utilizados pulverizados en quemadores para calderas-ciclón, en las cuales las cenizas en estado líquido son removidas de fondos húmedos.

El método más común para determinar la fusión de cenizas es midiendo las temperaturas de fusibilidad de cenizas según la norma ASTM. D271-48. En este ensayo se observan los cambios que sufre un cono de cenizas y se reportan los siguientes puntos de temperatura.

- a) Temperatura de deformación inicial (IT)
- b) Temperatura de ablandamiento (ST)
- c) Temperatura hemisférica (HT)
- d) Temperatura de fluidez (FT)

Estas temperaturas se determinan en atmósferas oxidante y reductora débil con el fin de simular las condiciones existentes en calderas industriales en donde se encuentra atmósfera reductora débil en los lechos estáticos. En calderas-ciclón existe una atmósfera débilmente reductora en las partes del piso de la caldera mientras que en las partes superiores ésta es oxidante.

Para entender mejor el comportamiento de las cenizas se mide la viscosidad de las cenizas fundidas, lo que se utiliza principalmente para determinar el método adecuado para su evacuación. Las cenizas fundidas se remueven de las calderas cuando la viscosidad llega a 150 poises. La temperatura a la cual las cenizas fundidas pasan de la fase líquida a la fase plástica se denomina «Temperatura de viscosidad crítica (Tcv)». La temperatura a la cual las cenizas fundidas alcanzan una viscosidad de 250 poises se denomina «T250».

Se ha tratado de correlacionar las características de fluidez de las cenizas fundidas con los datos obtenidos de las temperaturas del ensayo de fusibilidad de cenizas pero se ha llegado a la conclusión de que ningún valor de viscosidad se puede identificar con estos puntos. Sólo se ha llegado a determinar que existe alguna correlación entre la temperatura de abaldamiento (ST) en medio reductor y la temperatura de viscosidad crítica (Tcv) lo que se expresa en la fórmula $ST^{\circ}C + 90^{\circ}C = Tcv^{\circ}C$. Esta fórmula se considera confiable cuando las cenizas contienen más del 20% de hierro férreo.

METODO PARA EVALUAR LA VISCOSIDAD DE LAS CENIZAS DE CARBON

Debido a las dificultades y costos que tienen los laboratorios en la determinación de las temperaturas de viscosidades críticas se utilizan en la práctica fórmulas empíricas y diagramas con fórmulas empíricas con las cuales se obtienen valores que se pueden utilizar satisfactoriamente.

Uno de estos métodos es el utilizado por la compañía Babcock y Wilcox para determinar la viscosidad de 250 poises (T250) de cenizas de carbones.

En este método se especifica, que la temperatura de viscosidad de 250 poises no debe ser mayor de $1.425^{\circ}C$ cuando las cenizas se remueven de una caldera-ciclón de fondo húmedo. Si la temperatura de viscosidad de 250 poises para cenizas es mayor de $1.425^{\circ}C$ los carbones se deben utilizar en calderas-ciclón de fondo seco. En los dos casos se sobrepasan los límites de temperaturas las calderas sufren el fenómeno de encostamiento (slagging).

El método B&W utiliza diagramas y parámetros determinados de los análisis químicos de cenizas, de los cuales se obtienen los componentes básicos y ácidos, relaciones silico-alúmina y porcentajes dolomíticos.

Según experiencias la aptitud de las cenizas de un carbón para ser evacuadas de fondos húmedos o fondos secos está relacionada al tipo de cenizas. En las cenizas de tipo lignítico ($Fe_2O_3 < CaO + MgO$) las temperaturas de fusión dependen principalmente de la relación dolomítica, mientras que en las cenizas de tipos bituminosas ($Fe_2O_3 > CaO + MgO$) las temperaturas de fusión dependen más de la relación base/ácido (B/A).

Para determinar la temperatura de 250 poises de las cenizas bituminosas se calculan:

a) Relación base/ácido (B/A) =

$$\frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

b) Relación sílico/alúmina =

$$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$$

y se determina T250 del diagrama 1.

Para determinar la temperatura de 250 poises de las cenizas ligníticas se ajusta a un 100% la suma de los componentes ácidos más básicos. Si el contenido básico es menor de 40% se utiliza la relación base/ácido para cenizas bituminosas.

Si el contenido básico es 40% o más se calcula:

a) Porcentaje dolomítico =

$$\frac{(\text{CaO} + \text{MgO}) \times 100}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}$$

b) Contenido básico =

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$$

y se determina T250 del diagrama 2.

TEMPERATURAS DE 250 POISES DE VISCOSIDAD DE ALGUNOSCARBONES COLOMBIANOS

En la aplicación del método de B& W se tomaron 19 muestras de cenizas de 19 carbones con los siguientes rangos:

- a) Córdoba con carbones de rangos sub-bituminosos B
- b) Antioquia con carbones de rangos sub-bituminosos A
- c) César con carbones de rangos altos en volátiles C

d) Norte de Santander con carbones de rangos altos en volátiles C y B.

e) Cundinamarca con carbones de rangos altos en volátiles A.

Con base en los componentes químicos de las cenizas (Tabla 1) se calcularon los parámetros exigidos en el método B&W y se determinaron las temperaturas de 250 poises de viscosidades (Tabla 2). Al mismo tiempo se hacen las recomendaciones para la posible evacuación de las cenizas de fondos húmedos o secos de las calderas-ciclón.

CONCLUSIONES

Las Cenizas de tipo lignítico muestran relativamente bajas temperaturas de 250 poises de viscosidad mientras que las de tipo bituminoso las tienen altas. Las cenizas de bajas temperaturas de 250 poises de viscosidad se acomodan mejor para ser evacuadas de fondos húmedos mientras que para las de altas temperaturas se recomienda fondos secos.

BIBLIOGRAFIA

1. ANNUAL BOOK OF A.S.T.M. STANDARDS. 1983.
2. BLANCO, G., ROMERO, E., URIBE, C. 1977. Clasificación Internacional de los Carbones de Checua-Lenguazque. INGEOMINAS. Informe 1976. Bogotá.

3. BLANCO, G., PEREZ, F., ESPINOZA, A. 1986. Caracterización de los Carbones de Norte de Santander. INGEOMINAS. Bogotá.
4. THE BABCOCK, & WILCOX COMPANY. 1982. Evaluation of Slag Viscosity Characteristics of Solid Fuels for Cyclone Furnace Firing. 8th Kentucky Coal by-products Symposium. University of Kentucky. Kentucky.

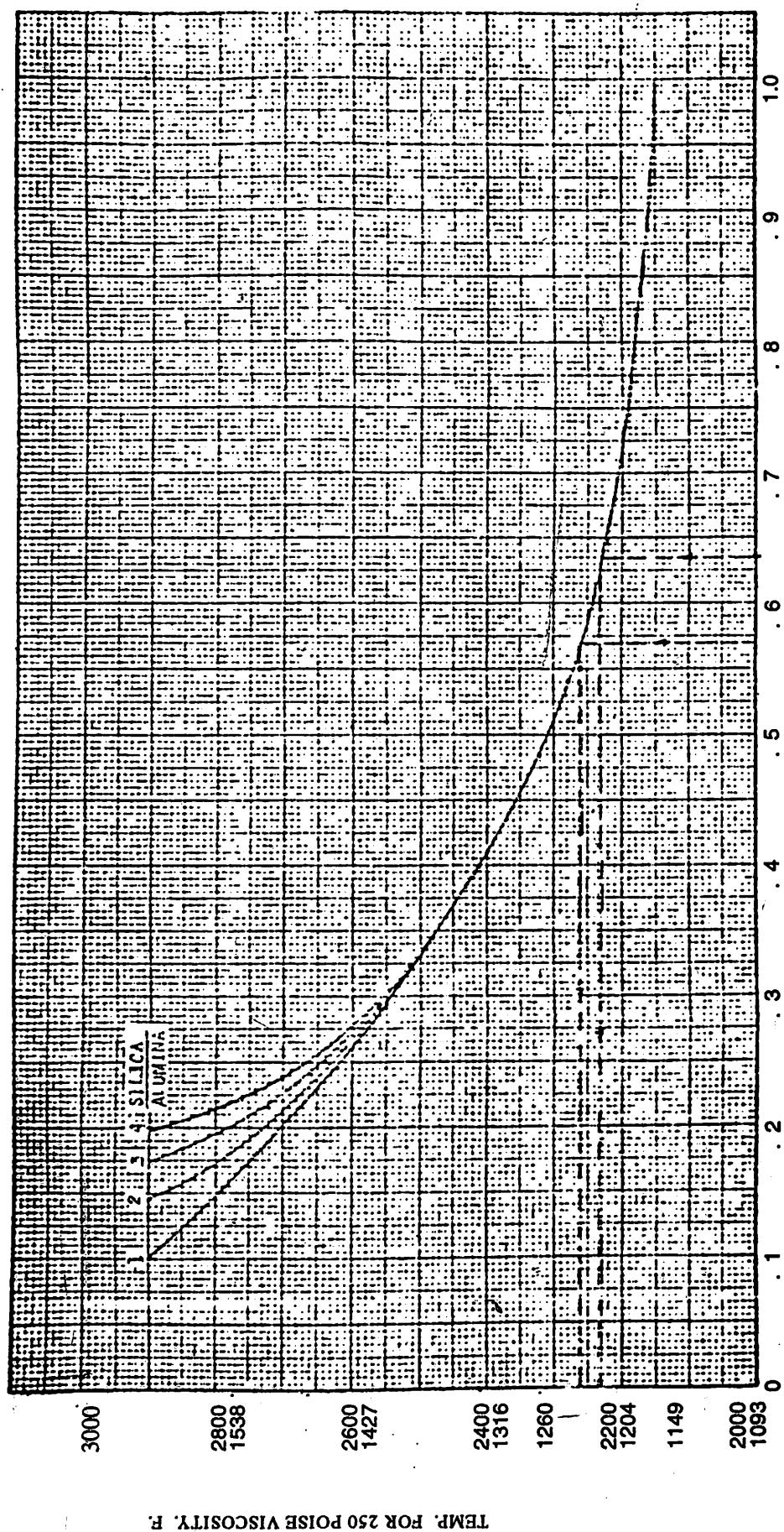
TABLA 1. Análisis químico de cenizas de algunos carbones colombianos

| Departamento | Manto | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | P ₂ O ₅ | SO ₃ |
|--------------|------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|
| Cesar | 10 | 37,37 | 23,42 | 12,58 | 6,58 | 4,18 | 2,44 | 0,16 | 0,54 | 0,18 | 12,60 |
| Cesar | 50 | 38,51 | 11,33 | 12,30 | 9,79 | 4,94 | 4,18 | 0,51 | 0,84 | 0,10 | 16,60 |
| Cesar | 80 | 33,80 | 16,62 | 11,29 | 14,05 | 2,82 | 1,13 | 1,35 | 0,93 | 0,64 | 12,80 |
| Cesar | 150 S | 50,06 | 28,52 | 5,86 | 3,74 | 2,50 | 1,33 | 0,33 | 1,11 | 0,11 | 6,30 |
| Antioquia | 1 | 2,10 | 6,80 | 16,90 | 25,70 | 0,60 | - | 0,80 | - | - | 19,00 |
| Antioquia | 2 | 7,50 | 10,00 | 16,50 | 14,70 | - | - | 0,80 | - | - | 23,00 |
| Antioquia | 3 | 0,60 | 7,10 | 16,30 | 29,60 | 1,30 | - | 0,80 | - | - | 17,20 |
| Córdoba | 500 | 60,50 | 15,61 | 4,43 | 4,48 | 2,98 | 3,02 | 0,84 | 0,89 | 0,04 | 5,26 |
| Córdoba | 400 | 44,07 | 23,81 | 6,01 | 5,60 | 3,15 | 4,45 | 0,24 | 1,07 | 0,41 | 9,54 |
| Córdoba | 300 | 28,24 | 14,17 | 10,01 | 7,98 | 4,97 | 6,33 | 0,35 | 0,64 | 0,67 | 20,20 |
| Córdoba | 200 | 11,56 | 7,74 | 24,01 | 13,85 | 3,98 | 5,66 | 0,52 | 0,32 | 0,09 | 27,20 |
| N. Santander | Vetagrande | 60,33 | 28,91 | 5,29 | 0,81 | 0,68 | 0,54 | 0,80 | 1,30 | 0,02 | 1,45 |
| N. Santander | Pequeña | 65,96 | 25,72 | 3,00 | 0,38 | 0,50 | 0,40 | 1,10 | 1,52 | 0,10 | 0,54 |
| N. Santander | MC 5 | 54,47 | 24,00 | 18,87 | 0,31 | 0,43 | 0,36 | 1,22 | 0,87 | 0,11 | 0,40 |
| N. Santander | Principal | 59,90 | 24,94 | 10,29 | 0,36 | 0,45 | 0,22 | 0,88 | 1,19 | 0,07 | 0,27 |
| Cundinamarca | 4 | 53,51 | 26,44 | 11,01 | 2,10 | 0,53 | 0,91 | 0,31 | 1,64 | 0,99 | 0,63 |
| Cundinamarca | 5 | 56,93 | 29,09 | 6,57 | 0,82 | 0,20 | 1,96 | 0,27 | 0,58 | 0,92 | 0,44 |
| Cundinamarca | 6 | 63,78 | 24,55 | 8,01 | 0,28 | 0,25 | 1,61 | 0,21 | 0,13 | 1,06 | 0,09 |
| Cundinamarca | 7 | 59,65 | 33,05 | 1,14 | 1,96 | 0,21 | 0,58 | 0,48 | 1,53 | 1,57 | 0,09 |

TABLA 2. Análisis químico de cenizas de algunos carbones colombianos

| Manto | Tipo Ceniz. | Compos. Básica (B) | Compos. Acida (A) | Relaci. (B/A) | Relaci. (Si/Al) | Porcenta. Dolomit. | Suma A+B | Basic. Ajust. | Acid. Ajust. | B/A Ajust. | T250 °C | Evacua. Cenizas Fondo | |
|------------|-------------|--------------------|-------------------|---------------|-----------------|--------------------|----------|---------------|--------------|------------|---------|-----------------------|------|
| 10 | Bit. | 25,94 | 60,33 | 0,43 | 1,55 | 41,48 | 86,27 | | | | 1304 | Humedo | |
| 50 | Lig. | 31,72 | 50,68 | 0,63 | 3,40 | 46,44 | 82,40 | 38,50 | 61,50 | 0,63 | 1221 | Humedo | |
| 80 | Lig. | 30,64 | 51,35 | 0,60 | 2,03 | 55,06 | 81,99 | 37,37 | 62,63 | 0,60 | 1227 | Humedo | |
| 150 S | Lig. | 13,76 | 79,69 | 0,17 | 1,76 | 45,53 | 93,45 | 14,72 | 85,28 | 0,17 | 1582 | Seco | |
| 1 | Lig. | 63,00 | 8,90 | 7,10 | 0,31 | | 71,90 | 87,62 | 12,38 | 7,10 | <1150 | Humedo | |
| 2 | Bit. | 55,00 | 17,50 | 3,10 | 0,75 | | 72,50 | | | | <1150 | Humedo | |
| 3 | Bit. | 65,20 | 7,70 | 8,50 | 0,09 | | 72,90 | | | | <1150 | Humedo | |
| 500 | Bit. | 77,00 | 15,75 | 4,89 | 3,88 | | 47,37 | 92,75 | | | <1150 | Humedo | |
| 400 | Lig. | 68,95 | 19,45 | 3,55 | 1,85 | | 44,99 | 88,40 | | | <1150 | Humedo | |
| 350 | Lig. | 43,05 | 29,64 | 1,45 | 1,99 | | 43,69 | 72,69 | | | <1150 | Humedo | |
| 250 | Bit. | 19,62 | 48,02 | 0,41 | 1,49 | | 37,13 | 67,64 | | | 1316 | Humedo | |
| Vetagrande | Bit. | 8,12 | 90,54 | 0,09 | 2,09 | | 27,70 | 98,66 | | | >1590 | Seco | |
| | Bit. | 5,38 | 93,20 | 0,06 | 2,57 | | 16,36 | 98,58 | | | >1590 | Seco | |
| Pequeña | Bit. | 19,19 | 79,34 | 0,24 | 2,27 | | 3,86 | 98,53 | | | 1454 | Seco | |
| | Bit. | 12,20 | 86,03 | 0,14 | 2,40 | | 6,64 | 98,23 | | | >1590 | Seco | |
| 4 | Bit. | 14,86 | 81,59 | 0,18 | 2,02 | | 17,70 | 96,45 | | | 1515 | Seco | |
| 5 | Bit. | 9,82 | 86,60 | 0,11 | 1,96 | | 10,39 | 96,42 | | | >1590 | Seco | |
| 6 | Bit. | 10,36 | 89,39 | 0,16 | 2,60 | | 5,12 | 99,75 | | | >1590 | Seco | |
| 7 | Lig. | 4,37 | 94,27 | 0,05 | 1,81 | | 49,66 | 98,64 | 4,43 | 95,57 | 0,05 | >1590 | Seco |

FIG. 1 TEMPERATURES FOR ESTIMATING 250 POISE SLAG VISCOSITY
BITUMINOUS TYPE ASH



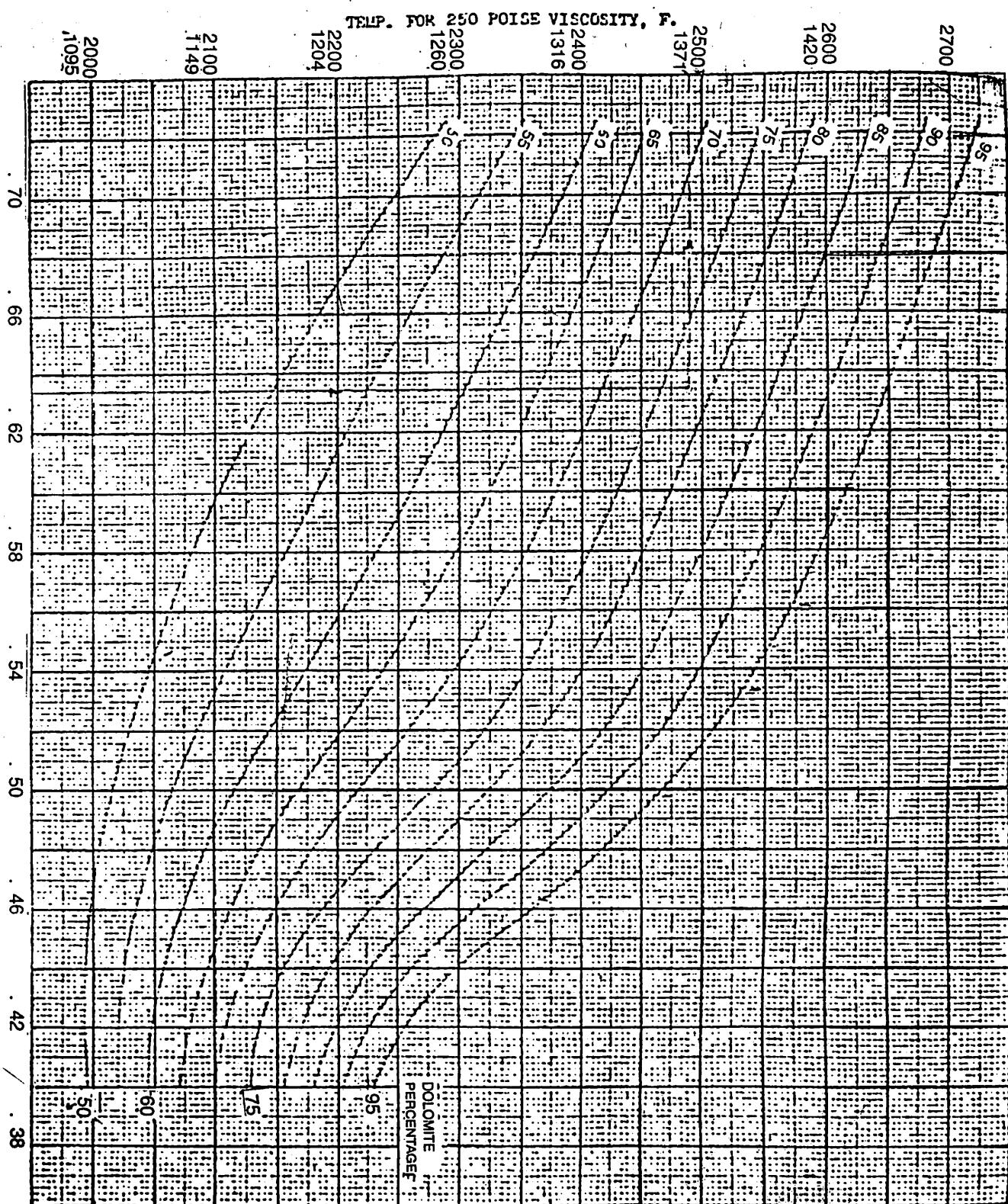


Figure 2