

BIBLIOTECA CENTRAL. U.A.Q.



# Universidad Autónoma de Querétaro

## Facultad de Ciencias Químicas

*" Uso de Polímero como Medio de  
Temple en Horno Integral "*

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
QUIMICO METALURGICO**

*p r e s e n t a :*

**Héctor García Moreno**

*Querétaro, Qro. Noviembre de 1994.*

No. Reg. H54733

TS

Clas. 668.42

G2164

# INDICE

INTRODUCCION .....	1
CAPITULO I	
FUNDAMENTO TEORICO .....	4
1.1 ¿QUE ES UN POLIMERO? .....	4
1.2 TEMPLABILIDAD .....	7
1.3 CURVAS DE ENFRIAMIENTO .....	9
1.4 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR ....	11
1.4.1 Cubierta de Vapor (Etapa "A") .....	11
1.4.2 Fase de Ebullición (Etapa "B") .....	12
1.4.3 Etapa Líquida (Etapa "C") .....	13
1.5 TIPOS DE POLIMEROS .....	16
1.5.1 Polivinil Alcohol (PVA) .....	16
1.5.2 Polialquilen Glicol (PGA) .....	16
1.5.3 Polivinilpirrolidone (PVP) .....	18
1.5.4 Poliacrilatos (ACR) .....	19
1.5.5 Poliethiloxazoline .....	23

1.6	SISTEMAS DE AGITACION .....	25
CAPITULO II		
	APLICACIONES .....	37
CAPITULO III		
	PARTE EXPERIMENTAL .....	40
3.1	FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS CURVAS DE ENFRIAMIENTO .....	40
3.2	MODIFICACIONES EN HORNO .....	45
CAPITULO IV		
	RESULTADOS PRACTICOS .....	50
4.1	MATERIAL .....	65
CAPITULO V		
	MANTENIMIENTO DE POLIMERO .....	71
5.1	CONTROL Y MONITOREO .....	71
5.2	METODOS DE MANTENIMIENTOS .....	72
	5.2.1 Refracción .....	72
	5.2.2 Viscosidad Cinemática .....	76

5.2.3 Procedimiento para Medir la Viscosidad con el (Canon-Fensk) .....	77
5.2.4 Decantación .....	85
5.2.5 Centrífuga .....	86
CAPITULO VI	
ASPECTOS ECOLOGICOS .....	89
CAPITULO VII	
ASPECTOS DE SEGURIDAD HOJA TECNICA DEL POLI- MERO <<Polialquilenolico>> .....	91
7.1 PROPIEDADES FISICAS-QUIMICAS .....	91
7.2 EFECTOS DE SOBRE EXPOSICION .....	91
7.2.1 Primeros Auxilios .....	92
7.2.2 Eliminación de Desechos .....	92
7.3 EMPAQUE DEL PRODUCTO .....	93
7.4 ECONOMIA DEL POLIMERO .....	94
CONCLUSIONES .....	96
BIBLIOGRAFIA .....	98

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA No. 1 .....	5
FIGURA No. 2 .....	2
FIGURA No. 3 .....	7
FIGURA No. 4 .....	12
FIGURA No. 5 .....	25
FIGURA No. 6 .....	26
FIGURA No. 7 .....	27
FIGURA No. 8 .....	27
FIGURA No. 9 .....	35
FIGURA No. 10 .....	47
FIGURA No. 11 .....	48
FIGURA No. 12 .....	51
FIGURA No. 13 .....	68
FIGURA No. 14 .....	72
FIGURA No. 15 .....	78
FIGURA No. 16 .....	81
FIGURA No. 17 .....	82
FIGURA No. 18 .....	83

## INDICE DE TABLAS

TABLA No. 1 .....	31
TABLA No. 2 .....	34
TABLA No. 3 .....	37
TABLA No. 4 .....	61

## INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA No. 1 .....	8
GRAFICO No. 2 .....	9
GRAFICA No. 3 .....	10
GRAFICA No. 4 .....	14
GRAFICO No. 5 .....	15
GRAFICA No. 6 .....	32
GRAFICA No. 7 .....	41
GRAFICA No. 8 .....	42
GRAFICA No. 9 .....	43
GRAFICA No. 10 .....	44

GRAFICA No. 11 .....	56
GRAFICA No. 12 .....	57
GRAFICA No. 13 .....	58
GRAFICA No. 14 .....	59
GRAFICA No. 15 .....	70
GRAFICA No. 16 .....	71
GRAFICA No. 17 .....	74
GRAFICA No. 18 .....	93
GRAFICA No. 19 .....	94

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFIA No. 1 y 2 .....	62
FOTOGRAFIA No. 3 .....	63
FOTOGRAFIA No. 4 .....	63
FOTOGRAFIA No. 5 .....	64
FOTOGRAFIA No. 6 .....	81



## INTRODUCCION

Ubicándonos con los pies sobre la tierra. Actualmente nos damos cuenta que el planeta está sufriendo muchos cambios que alteran el equilibrio de los ecosistemas.

La realidad es que mientras más progresamos más ensuciamos y degradamos nuestra calidad de vida.

Con miras al desarrollo tecnológico estamos acabando con la ecología del planeta. Tal parece que vivimos dentro de una esfera transparente, (hogar) muy limpia con y todos los servicios y comodidades que podemos imaginar, pero si miramos a través de las paredes de la esfera, encontraremos que afuera hay montones de: basura, nubes de humo contaminantes, ríos de aguas contaminadas, especies animales en extinción, etc. Lo peor de todo es que nosotros estamos generando esto y consecuentemente acabando con nosotros mismos porque no siempre permanecemos dentro de la esfera.

Pero nunca es tarde para corregir las cosas. Es bien sabido que el aceite mineral derivado del petróleo es importante para el temple del acero al igual que el agua en usos separados por supuesto, y que ambos son de suma importancia en el medio ecológico, uno por ser altamente contaminante, el otro por ser el líquido máspreciado del planeta.

Estos dos medios líquidos tienen también muy diferentes propiedades tanto físicas como químicas y de ellas se derivan las diferentes capacidades de enfriamiento que tiene cada uno. Por tal razón, desde hace años se ha estado desarrollando un medio enfriante para el acero que sea capaz de enfriar en un grado intermedio entre el aceite y el agua.

Actualmente ya existen los polímeros con tales cualidades, que además tiene nobleza ante la ecología que es lo más importante.

La tecnología del tratamiento térmico de temple es cambiante principalmente en este siglo. En el pasado los más importantes medios templantes del acero eran el agua, quizá modificada por algunos aditivos especiales tales como sales orgánicas o aceites de origen animal.

Con el descubrimiento del petróleo, el aceite derivado del mismo llega a ser el medio de temple más eficiente. Pero la tecnología se sigue desarrollando, en la actualidad existen los polímeros los cuales se usan en combinación con el agua dando otras características de enfriamiento totalmente diferentes. Todo esto con el fin de lograr un medio que posea características enfriantes intermedias entre el agua sola y el aceite de petróleo.

*CAPITULO*

*I*

*FUNDAMENTO  
TEORICO*

# CAPITULO I

## FUNDAMENTO TEORICO

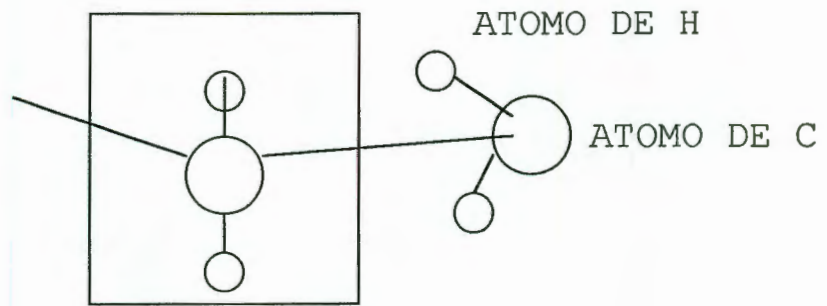
### 1.1 ¿QUE ES UN POLIMERO?

Podemos decir que un polímero usado como medio de temple tiene muchas semejanzas químicas con los polímeros comunes como el nylon.

La fibra muscular es un polímero natural mientras que el nylon es uno de los miles de polímeros sintéticos que se han descubierto en los últimos años.

Como lo indica la palabra (polí-mero) "Muchos Segmentos", los polímeros poseen moléculas de gran tamaño. Las cuales están formadas por la unión de un gran número de segmentos idénticos.

Actualmente los polímeros sintéticos tienen infinidad de usos en la industria. Por lo que hacen cada vez más importantes. El polietileno con que se fabrica una botella de plástico por ejemplo una extensa cadena de etileno unida entre si y la molécula de polímero final puede constar de miles de unidades que se repiten y cada una se denomina "Mero o Unidad Métrica".



UNIDAD MERICA

FIGURA No. 1

CADENA PRINCIPAL DE UN POLIMERO

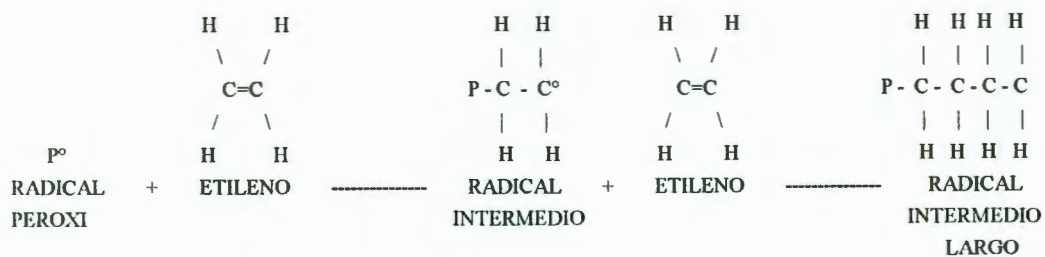
<< POLIETILENO >>

Algunas de las características importantes que determinan las propiedades de un polímero se mencionan a continuación:

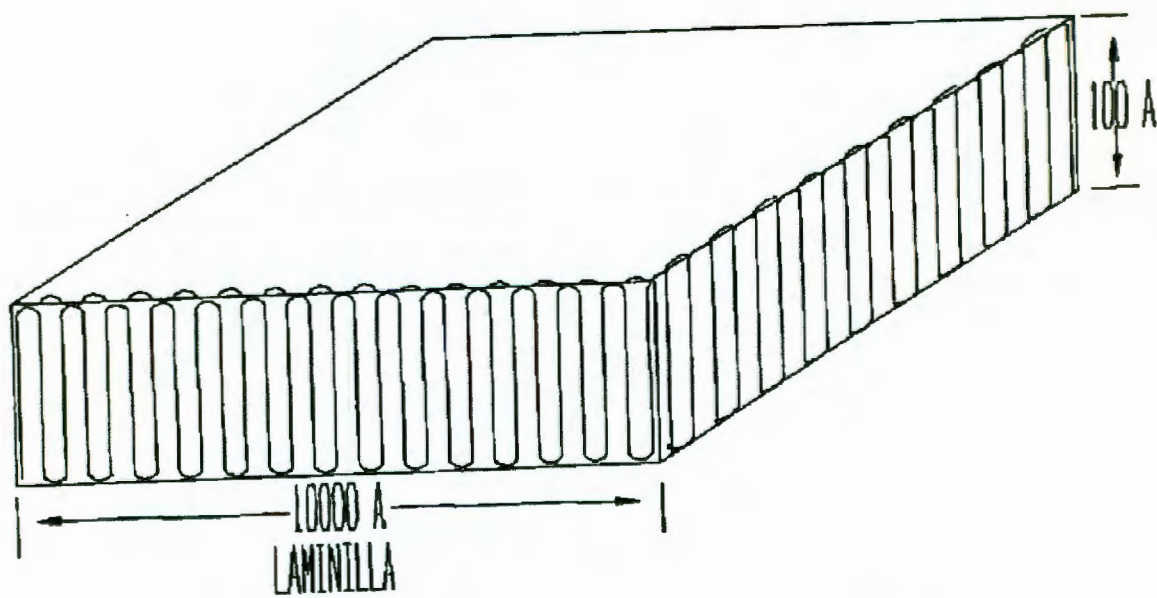
Cuando las condiciones fueron determinantes para lograr una polimeración en cadenas cortas con una masa molecular aproximada de  $10^2$  el polímero será un líquido. Las cadenas intermedias con pesos moleculares de  $10^3$  aproximadamente formaran polímeros sólidos.

Los polímeros con cadenas largas de peso molecular  $10^5$  proximadamente serán polímeros sólidos con cierta flexibilidad variable.

Las condiciones de los polímeros pueden favorecer la adición de cadenas laterales (ramas) a una cadena creciente (principal). La complejidad geométrica de las cadenas ramificadas influye en el comportamiento de los polímeros en los sentidos y en la fusión.



Polímeros como el polietileno a bajas temperaturas en las secciones o tramos adyacentes de una cadena de polímeros cada una en su línea principal. Se aglomeran en la disposición cristalina estable.



COMPACTACION EN UN AGREGADO CON TENDENCIA  
CRISTALINA A BAJA TEMPERATURA

FIGURA No. 2

Cuanto mayor sea la apariencia cristalina de un polímero tanto mayor será su rigidez y su densidad.

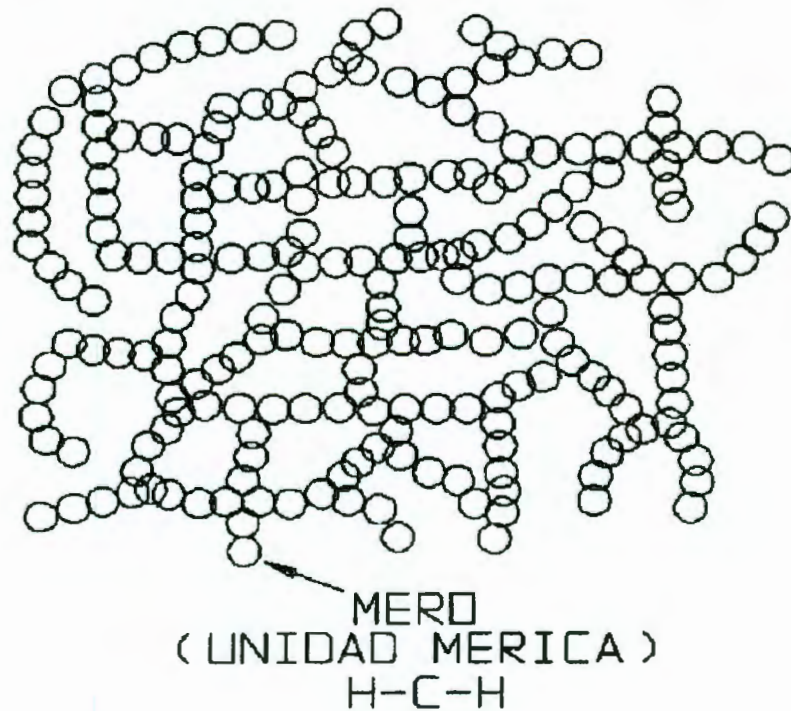


FIGURA No. 3 (Bibl 4)

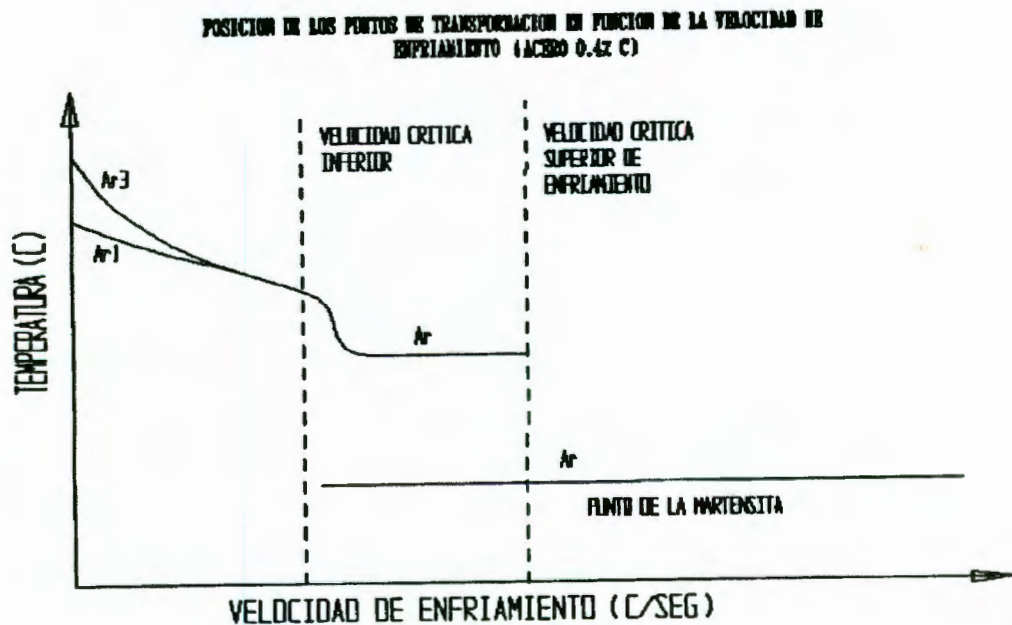
## 1.2 TEMPLABILIDAD

Es bien sabido que la dureza que alcanza un acero en el temple está obtenida por el contenido de carbón. Para un acero de 0.2% de carbón la dureza de la martensita es de 49 Rc. hasta alcanzar un 0.8% donde el incremento de dureza en la martensita es lento y alcanza 66 Rc.

Pero en un proceso de temple determinado la velocidad de enfriamiento y la proporción en que se repriman las

transformaciones en las zonas perlítica y bainítica tendrán gran influencia en la dureza lograda.

Cuando la velocidad de enfriamiento es menor que la crítica inferior la estructura se transformara únicamente en perlita y hasta después de alcanzada tal velocidad empieza a formarse las primeras porciones de martensita y a medida que el enfriamiento se hace más rápido se formara más martensita y la perlita es cada vez más fina, alcanzando la velocidad crítica superior de enfriamiento desaparecen las perlitas finísimas y la estructura será únicamente martensítica.



La templabilidad en un acero es la característica que determina la penetración de dureza máxima que puede alcanzar

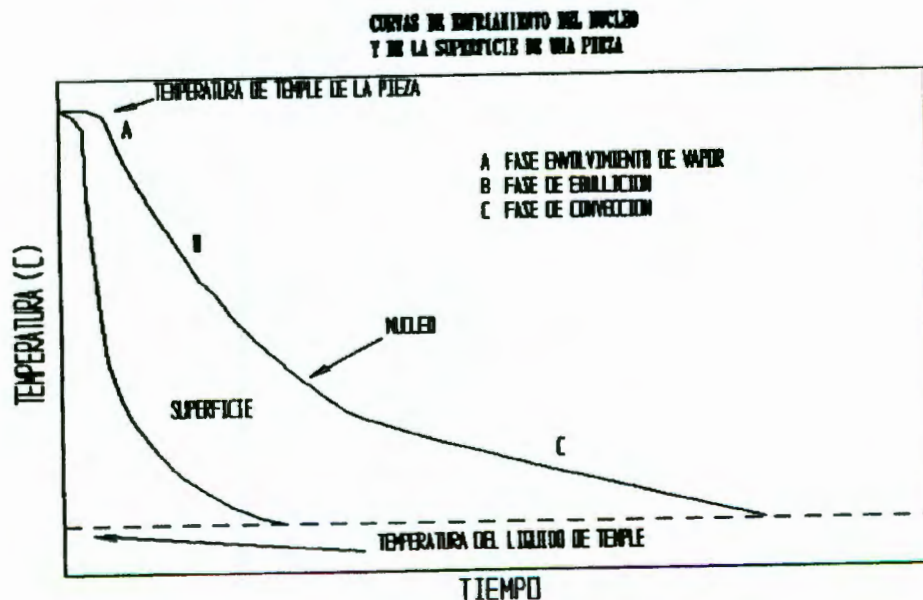


en un proceso de temple en el interior de la pieza. En caso de que la dureza sea uniforme de superior a núcleo implicaría que la templabilidad del acero en cuestión es muy buena.

### 1.3 CURVAS DE ENFRIAMIENTO

Existen varios medios útiles para templar el acero y cada uno manifiesta su curva de enfriamiento dependiendo de su capacidad de extraer el calor de las piezas.

Las curvas de enfriamiento se construyen representando la temperatura de las piezas que se están enfriando en función del tiempo.



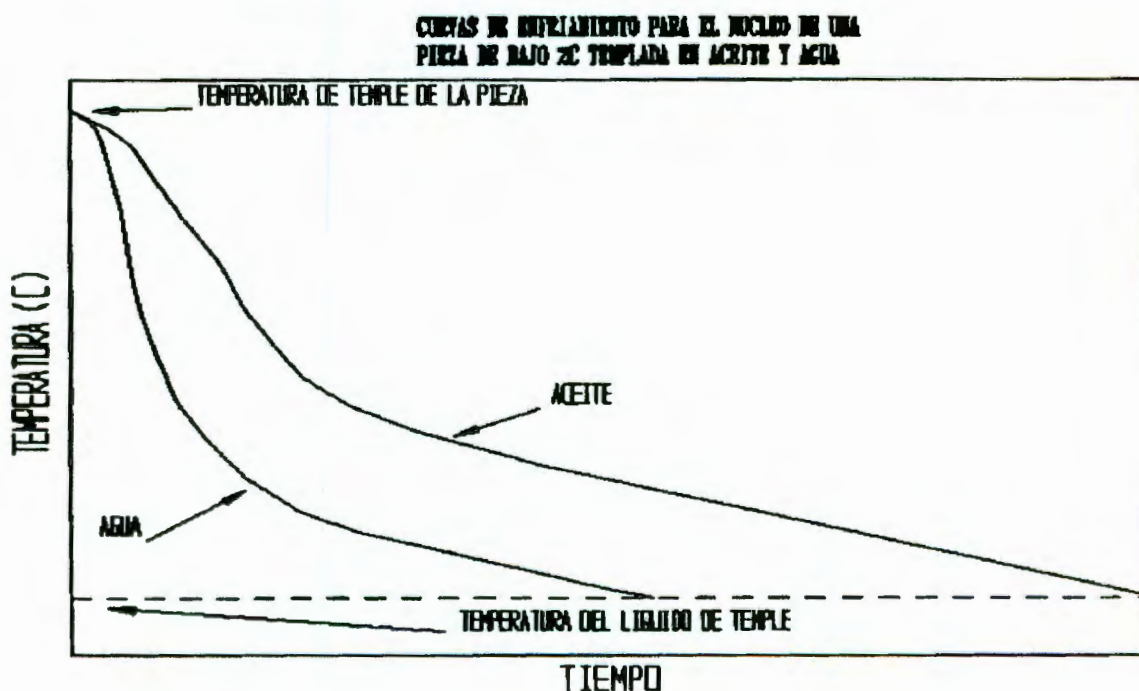
CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL NUCLEO Y  
DE LA SUPERFICIE (Bibl 11)

GRAFICA No. 2

La figura anterior muestra dos curvas: la de la izquierda representa la caída de temperatura en la superficie de la pieza y la de la derecha la disminución de temperatura en el núcleo.

Aun cuando existe gran diferencia entre las pendientes de cada una de las curvas de enfriamiento se puede apreciar la presencia de las tres etapas o fases en un tempole.

- ✧ Cubierta de vapor.
- ✧ Fase de ebullición.
- ✧ Fase de convección.



GRAFICA No. 3

## 1.4 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

### Distintas Etapas:

- ✧ Cubierta de Vapor.
- ✧ Fase de Ebullición.
- ✧ Fase de Convección.

### 1.4.1 Cubierta de Vapor (Etapa "A")

Esta primera etapa se lleva a cabo cuando la pieza a tratar se encuentra a altas temperaturas comparada con la del medio de temple. Entonces el líquido entra en contacto inmediato con la pieza caliente vaporizando y produciendo una delgada pero estable película de vapor que rodea la pieza. Esta capa aísla y evita que el líquido enfriante haga contacto con la pieza.

La pérdida total de calor en la pieza es la que se requiere para vaporizar el líquido más la pequeña cantidad de calor perdido por radiación a través de la película de vapor.

El enfriamiento en esta etapa es por conducción y radiación y es por lo tanto relativamente lenta. Para optimizar las propiedades mecánicas es recomendable minimizar el tiempo de esta etapa. Bibl. (10)

## 1.4.2 Fase de Ebullición (Etapa "B")

Esta etapa da comienzo cuando el líquido penetra la película de vapor y hace contacto con la pieza. Esta es la terminación de la fase de "cubierta de vapor". El vapor forma una especie de "ampollas" o núcleos en ebullición los cuales son desplazados hacia la pieza por efecto de corrientes convectivas y posteriormente serán condensados.

En esta etapa el calor es rápidamente transferido porque llega líquido enfriante continuamente a la pieza y reemplaza la película de vapor que tiende a formarse en la superficie de la pieza. Esta es la etapa más rápida de enfriamiento, para lograr altas durezas y buenas propiedades "tensiles" esta etapa deberá ser maximizada. (Bibl. 9)

### DESARROLLO DE LA ETAPA DE EBULLICION (B)

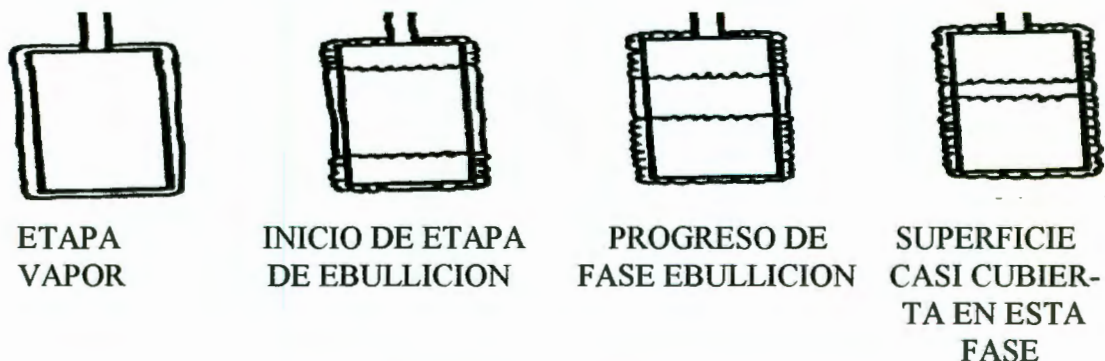


FIGURA No. 4

(Bibl. 7)

### 1.4.3 Etapa Líquida (Etapa "C")

Esta etapa inicia cuando la velocidad de flujo del medio enfriante es tal que el líquido no alcanza el punto de ebullición cuando pasa sobre la pieza. Esto será siempre y cuando la temperatura de la superficie en la pieza permanezca más alta que el punto de ebullición del medio ambiente.

La acción de ebullición termina o cesa y toda la superficie de la pieza entra en contacto íntimo con el líquido.

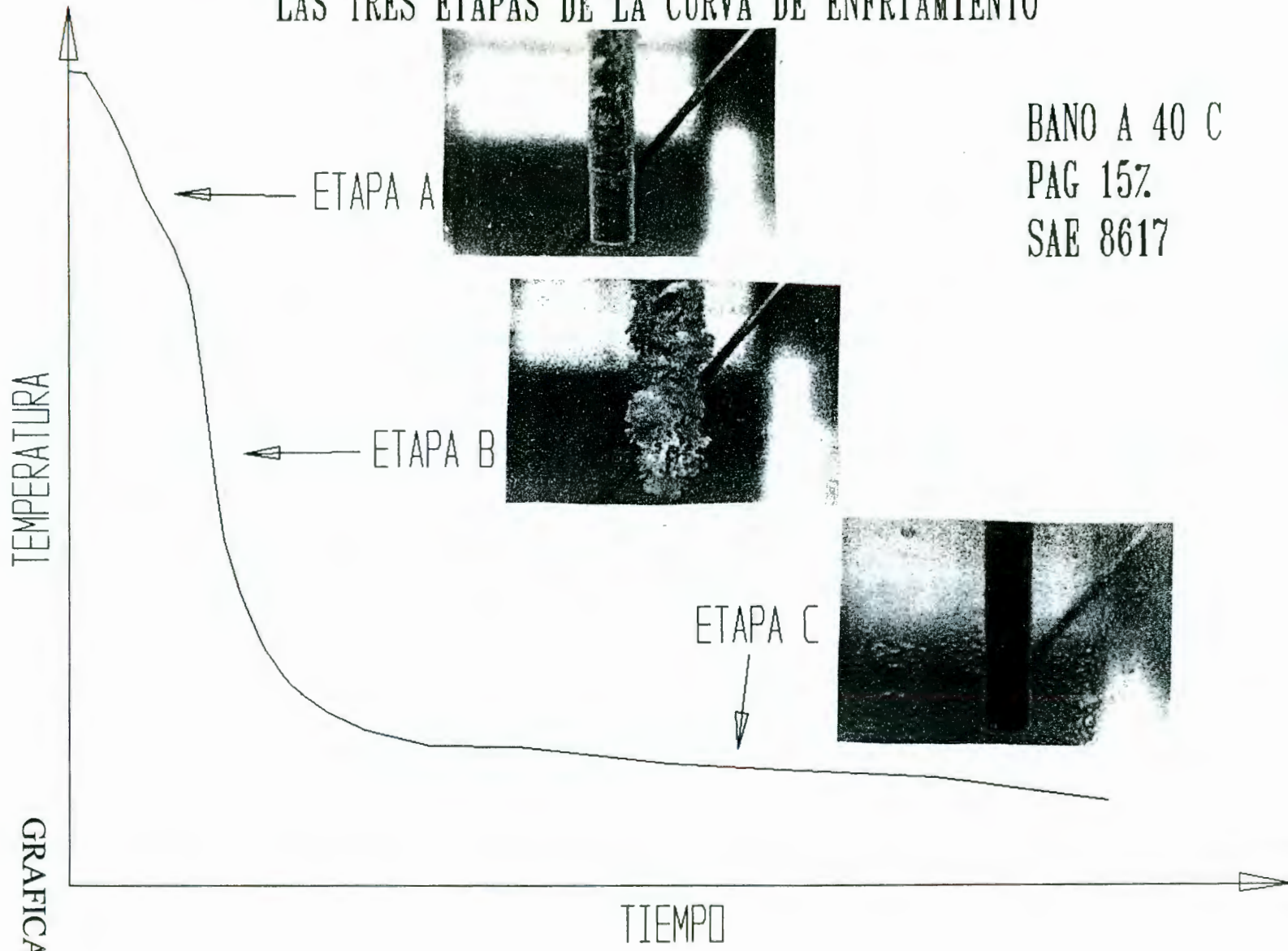
Este tipo de enfriamiento es más lento que la etapa B y se presenta por conducción y convección, aunque mayormente por convección.

Para minimizar fracturas, tensiones residuales y distorsiones esta etapa; líquida deberá ser minimizada. Es importante tener un control en la transferencia de calor reduciendo los gradientes térmicos en la superficie del metal.

Las velocidades de enfriamiento están controladas durante el temple por la formación de una capa aislante alrededor del metal después de la inmersión en el medio de temple. Bibl.

(10)

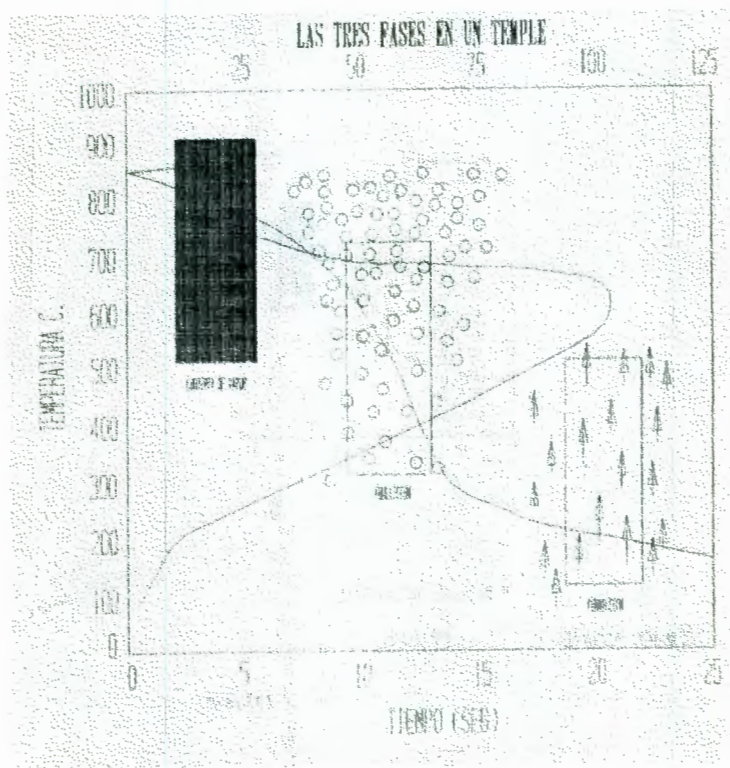
# LAS TRES ETAPAS DE LA CURVA DE ENFRIAMIENTO



BANO A 40 C  
PAG 15%  
SAE 8617

GRAFICA No. 4  
(Bibl. 8)

Si la formación de la capa es discontinua o de espesores variables habrá una heterogeneidad y ocasionará diferentes velocidades y transferencias de calor resultando las piezas propensas a fisurarse y a presentar distorsión. En este caso la agitación podría ser un factor importante para mejorar los resultados. Bibl. (10)



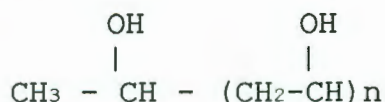
GRAFICA No. 5

(Bibl. 7)

## 1.5 TIPOS DE POLIMEROS

### 1.5.1 Polivinil Alcohol (PVA)

El descubrimiento de este polímero fue en Alemania y en 1939 sería introducido comercialmente a los Estados Unidos, su fórmula química es:



En realidad el PVA podemos decir que es un polímero de vinil alcohol. Ya que todas las resinas de PVA están hechas por la hidrólisis del acetato de polivinil.

La solubilidad en agua y las características templantes del PVA varían de acuerdo al peso molecular del polímero.

A concentraciones menores de 0.01% en volumen. Las características de enfriamiento a temperatura ambiente son modestamente diferentes comparadas con el uso de agua sola. (Bibl. (2))

### 1.5.2 Polialquilen Glicol (PGA)

Este polímero fue introducido como elemento de una familia en el año de 1940 aproximadamente.

Este material está formulado por la fortuita polimeri-



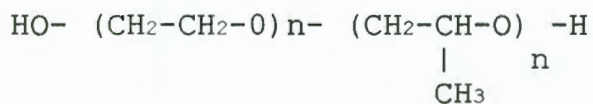
zación de los óxidos de etilen y propilen. Sin embargo altos óxidos de alquilen y óxidos de aril también pueden ser usados.

Hay algunos derivados de estos mismos óxidos que también se pueden polimerizar, pero son menos atractivos como medios templantes. Nota: Todas las prácticas de este trabajo fueron realizadas con polialquilen-Glicol por ser el más comercial.

Por la variación de pesos moleculares y la proporción de óxidos: los polímeros de este tipo tienen una más amplia aplicación y lo cierto es que los productos de alto peso molecular presentan mayor utilidad como templantes del acero.

Una apropiada selección del polímero implica considerar composición y peso molecular principalmente, ya que el polímero debe ser completamente soluble en agua a temperatura ambiente, sin olvidar el comportamiento de solubilidad inversa.

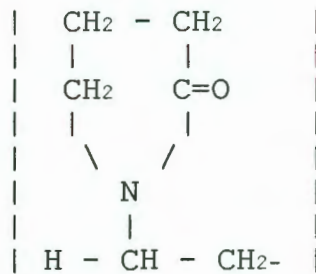
Es decir que a elevadas temperaturas el polímero es insoluble en el agua. Este fenómeno da lugar a un mecanismo de enfriamiento del metal en donde es envuelto por una cubierta rica en polímero en la cual gobierna la velocidad de extracción de calor. (Bibl. 5)



### 1.5.3 Polivinilpirrolidone (PVP)

Este tipo de polímero resulta de la polimerización del N-Vinil-2 Pirrolidone.

Este polímero, soluble en agua por supuesto, es caracterizado por su complejidad, por sus propiedades coloniales y por sus características inertes, este polímero está disponible en Estados Unidos como un polvo blanco, manufacturado en cuatro grados de peso molecular, su estructura se muestra a continuación: Bibl. (6)



#### ESTRUCTURA

Las soluciones de PVP en agua fueron utilizadas como medio templante en el año de 1975. Esto coincide con la población de la parte donde se define el rango molecular para el PVP. La cantidad de polímero recomendado para una solución comúnmente es de 10% en volumen y la recomendación de uso de un agente inhibidor de la corrosión y un bactericida adecuado.

Tal como otros tipos de polímero templantes del acero: la temperatura, agitación y concentración juegan un papel muy importante en las características del enfriamiento.

Sólo con muy pequeñas cantidades de polímero la película es retenida en las templadas y a temperaturas de temple desde 30 grados celcius (85 F) a las cercanías de ebullición, de este modo, un amplio rango de trabajo en temperaturas puede ser usado.

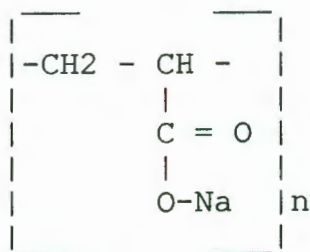
Las lecturas en el refractómetro pueden proporcionar un buen control de la concentración del bano, pero respaldada con lecturas de viscosidad, las cuales son de gran importancia.

Para remover impurezas se recomienda hacerlo por ultrafiltración, esto puede hacerse interrumpir el proceso de temple. Bibl. (6)

#### 1.5.4 Poliacrilatos (ACR)

Es uno de los más recientes medios templantes en el mercado es un producto que consta de una solución acuosa de poliacrilato de sodio.

Su introducción comercial fue en los Estados Unidos en 1977 por la ASM. Este polímero puede ser logrado de las polimerización directa del acrilato de sodio o la hidrólisis alcalina de algunos esteres de poliacrilato. Su estructura principal es:



En la utilización de una sal de metal alcalino, en este caso del sodio, el polímero está proporcionando solubilidad en agua. Los polímeros de poliacrilato representan una clase de templantes completamente diferentes de los anteriormente mencionados (PVA, PVP y el PAG). Este tipo de polímero es uno ionizable o en otras palabras es neutral y además son considerados como aniónicos, ya que están cargados negativamente. De tal manera que poseen una alta polaridad la cual proporciona mayor solubilidad en agua.

Hay algunos polímeros de este tipo y que sin embargo no son adecuados para el temple del acero, pues no forman la película plástica en la superficie del metal caliente. Su mayor lentitud de velocidad de enfriamiento está basada en el peso molecular del poliacrilato y en la subsecuente viscosidad de las soluciones.

Por la variación del peso molecular en esta clase de polímero se crea una gran familia de templantes y un amplio rango de aplicaciones desde el más rápido templante hasta el más lento comparativamente con la severidad del agua hasta la lentitud del aceite.

En este polímero como en los demás son de gran importancia la concentración, temperatura y agitación del medio.

Con el incremento de la temperatura y concentración del medio, la velocidad de enfriamiento disminuye significativamente, a tal grado que muchos metales ferrosos "no tienen transformación martensítica" pero forman vainita o perlita. Este tratamiento "no martensítico" puede ser utilizado para tratamientos térmicos especiales, los cuales beneficiarían en varios aspectos: costos, energía, seguridad, control ambiental.

Algunas aplicaciones de estas soluciones de ACR para tratamientos no martensíticos son:

- Partes de carburizado profundo tales como rodamientos, balas que usualmente se les da un doble endurecimiento en aceite para obtener un grano refinado.
- Para temple directos de aceros de alto contenido de carbón, con este polímero se obtienen propiedades mecánicas semejantes a un austempering en algunas barras o carriles especiales.
- Para el temple de varilla o alambre en vez de usar baños de sales de 510 grados celcius a 565 Celcius.

- Temple directo de partes forjadas en caliente, con el uso de el ACR se obtienen piezas con una muy buena maquinabilidad sin la necesidad de un proceso de revenido subsecuentemente al endurecimiento. Este polímero es utilizado en particular para aceros de baja templabilidad. (Bibl. 6)
- En el enfriamiento de partes forjadas en caliente con un medio de ACR ayuda a prevenir el excesivo scaling (escamas) de carburación, ya que ambos efectos se presentan en caso de enfriamiento de aire.
- El ACR también puede ser utilizado para templar aleaciones de aluminio, ya que el uso de una solución de este polímero minimiza la distorsión.

Como cualquier otra solución de polímero una de ACR requiere de agitación y el grado de ésta, depende de las especificaciones o aplicaciones, como una regla general un grado alto de agitación es recomendable para operaciones de endurecimiento y una mínima agitación es usualmente suficiente para lograr un temple no martensítico. Bibl. (6)

### 1.5.5 Poliethiloxazoline

Este polímero en solución es el que más se asemeja a las características templantes del aceite. Este polímero fue aprobado por su estabilidad, por su biodegradabilidad, efectos de temple, por su compatibilidad con antiespumantes e inhibidores de corrosión y efecto al cambio de concentración y temperatura.

Su uso contribuye en gran parte a disminuir el gas en el tratamiento de recuperación del agua. Las siguientes tres aplicaciones ejemplifican la variedad de sus usos.

#### \* TEMPLE POR INDUCCION

El temple del árbol de levas es muy eficiente usando una concentración de 4 a 5% y se puede lograr una capa efectiva endurecida de 40 a 60 milésimas de pulgada. En el acero (aleación cromo) se logra una dureza en el núcleo adecuada y en general buenas propiedades físicas siempre y cuando se elimine cualquier residuo pegajoso del medio. Con el mismo polímero pero a una concentración ligeramente más alta se templo una pieza de fundición y se obtuvo una dureza superficial de 60 RC. sabemos que los árboles de levas requieren tener una dureza superficial de 50 RC. y una capa efectiva de 197 milésimas de pulgada lo cual obtenemos con este polímero.

El poliethiloxazoline en una solución de 12 a 15% en volumen fue usada para temprar fundiciones que comúnmente se endurecen en aceite y se logran las mismas propiedades de dureza y resistencia a la tensión sin emisión de humos. Sin riesgos de incendio sin la excesiva limpieza que se requiere para eliminar residuos de aceite de temple en las piezas y sin los problemas de aceites de temple en las piezas y sin los problemas de disponibilidad en caso de aceites minerales.

Un tratamiento térmico típico para un acero 4330 es el siguiente: hacer un ciclo inicial de normalizado a 1600 F (870C) después de su enfriamiento hacer un ciclo de austenización con tiempo controlado según la masa de la parte. Templar en el polímero y posteriormente dar el revenido adecuado según propiedades requeridas.

Un tratamiento comercial el cual consiste en el endurecimiento de un acero 1018 ó 1022 utilizado para hacer unos asegurados que se usan en equipo aéreo.

Estos aceros fueron austenizados en un horno vibratorio los requerimientos de capa para tales aseguradores son de .002. templados en aceite, limpieza y además presentaban problemas de riesgos inherentes que a diferencia de usar polímero se eliminan totalmente, para el tratamiento de este acero se recomienda usar una concentración de 8 a 10% en volumen, austenizar a 871C° usando un potencial de carbón de



0.90% durante 30 a 90 minutos de empape según requerimientos.

Bibl. (5)

## 1.6 SISTEMAS DE AGITACION

Todos los medios templantes exhiben un incremento en los rangos de transferencia de calor con el incremento del medio hacia la superficie del metal caliente, esto es debido en gran parte a la agitación, pero también depende de muchos factores tales como la turbulencia de flujo, propiedades físicas del medio templante (viscosidad, densidad, etc.). Temperatura del medio, la presencia de sólidos indeseados tales como: carbón, cascarilla metálica, sales metálicas, etc.

Para mejorar el temple se requiere de un sistema mezclador y un impulsor, pero esto no siempre es suficiente, en lugar de usar un simple sistema de impulsor abierto podríamos usar uno con un tubo guía. (Ver Figura Bibl. 8)

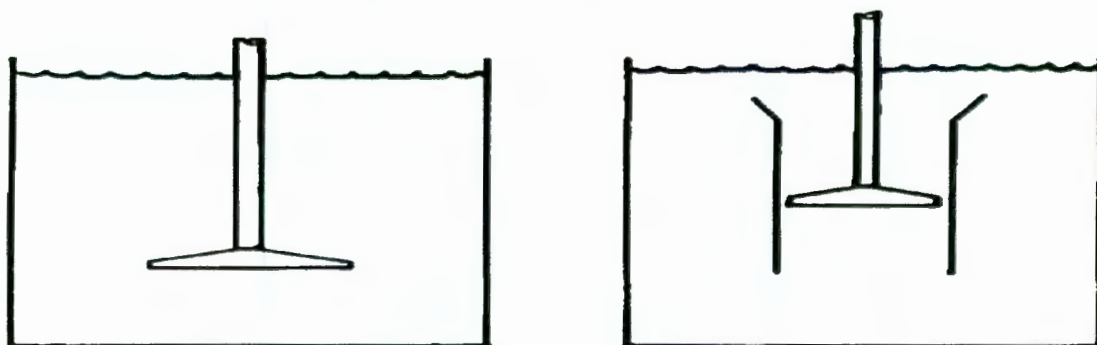


FIGURA No. 5

(Bibl. 8)

Según (Bibl. 10) lograríamos un mayor flujo de medio templante hacia la carga en enfriamiento, algunas veces en sistemas abiertos los cuales desarrollan un flujo axial semejante a los impulsores que se usan en la marina.

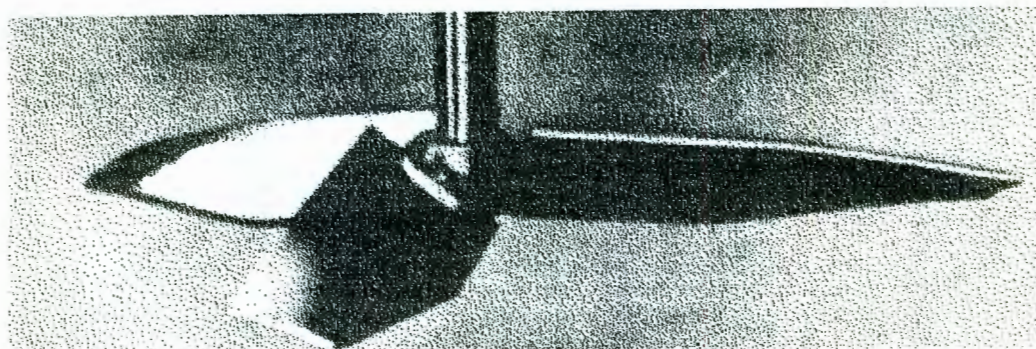


FIGURA No. 6

Estos impulsores se usan en varias configuraciones, algunas de ellas son las siguientes:

- ⇒ Con entrada superior de aspa. (1)
- ⇒ Con entrada por un lado de aspa. (2)
- ⇒ Con entrada en ángulo de aspa. (3)

Comúnmente los impulsores que más se recomiendan para el temple son los de entrada en ángulo y los de entrada superior. Estos tienen un 40% más de eficiencia que otros y usando la misma velocidad. (Bibl 8)

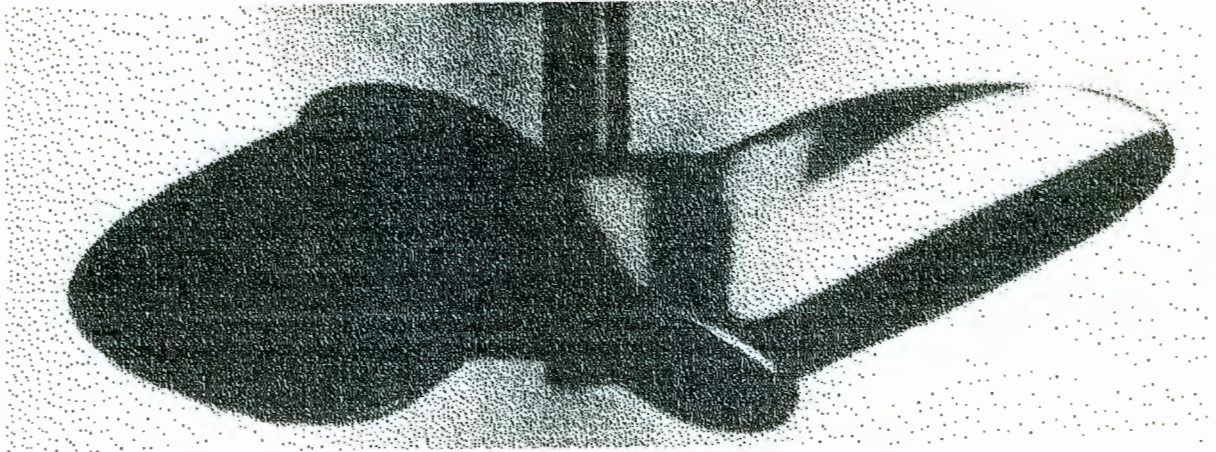


FIGURA No. 7  
(Bibl. 8)

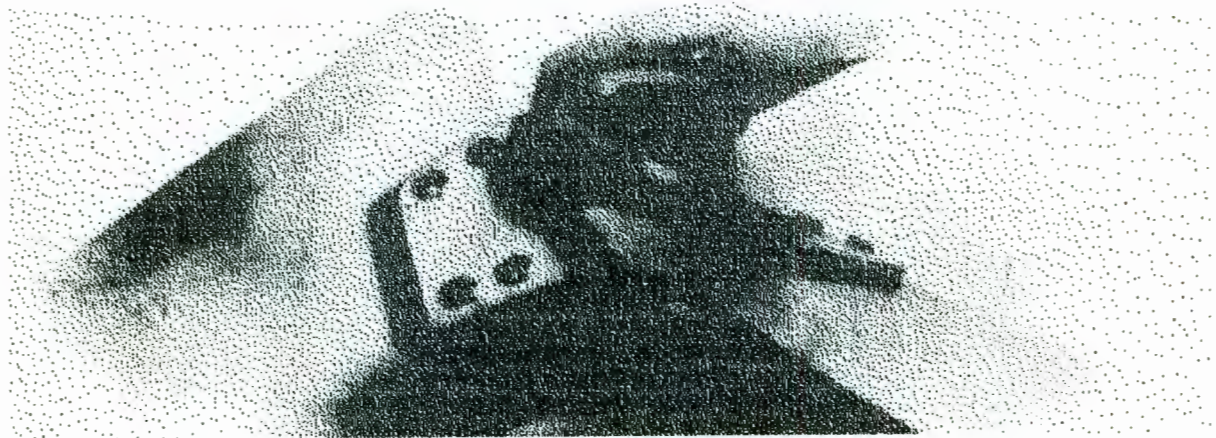


FIGURA No. 8  
(Bibl. 8)

Los impulsores anteriormente mencionados muestran diferentes formas, éstas se requieren para balancear las fuerzas mecánicas que actúan en el impulsor desarrollándose

altas velocidades, una de las ventajas de estos impulsores es que se instalan fácilmente.

En un temple debe existir una operación de flujo controlado y dependerá del tipo de impulsor que se use, de esta manera se lograrán flujos por unidad de potencia.

La relación de flujo por unidad de potencia puede ser calculado con las siguientes ecuaciones:

-  $Q/P = (Nq/Np) (1/N^2 D^2)$  (Ecu. #1) la cual se deriva de:

-  $Q = Nq N D^3$  (Ecu. #2)

-  $P = Np N^3 D$  (Ecu. #3)

**Donde:**

D = Diámetro de impulsor

N = Velocidad de Impulsor

Np = Número de Potencia

Nq = Número de flujo

d = Densidad del fluido

Q = Flujo

P = Potencia.

El número de flujo  $N_q$  está dado por la capacidad de producción de flujo que desarrolla el impulsor. (Bibl 8)

El número de potencia  $N_p$  caracteriza el consumo de potencia con determinado impulsor.

La ecuación # 1 muestra que el flujo relativo por unidad de potencia depende del tipo de impulsor que se use, de su instalación geométrica, de la velocidad y del diámetro.

La ecuación #1 no es aplicada en todos los sistemas en general, ya que hay otros diseños que involucran diferentes parámetros, tales como el torque que es impuesto en la agitación, este factor se puede correlacionar con la ecuación 1 de la siguiente manera:

$$- T = N_p d N^2 D / 2 \pi \text{ (Ecu. \#4)}$$

El análisis del torque en un sistema completo de agitación es costoso, pero debe hacerse tan riguroso como el análisis de flujo y potencia.

Usando velocidades y diámetros variables en los impulsores, el problema se hace complejo. Para procesos de flujo controlado como es el caso de un temple, es recomendable usar

flujo y velocidad constante y en base a esto se deduce la siguiente ecuación.

-  $Q/P = (Nq) / Np (1/N Q d)$  (Ecu. #5) y considerando que el flujo y velocidad son constantes, el flujo por unidad de potencia se expresaría:

$$- Q/P = D(Np) / Np \text{ (Ecu. \#6.)}$$

En la ecuación anterior se requiere conocer los valores de  $Np$  y  $Nq$  y pueden ser determinados experimentalmente: el número de potencia es obtenido por la medición del torque y velocidad del mezclador con un dinamómetro de agitador, este número se calcula entonces por la división de la potencia dada en el dinamómetro por la velocidad de acuerdo a la ecuación #4.

El número de potencia es calculado, entonces con la ecuación #3.

La medición del número de flujo del impulsor es un poco más difícil, pueden usarse dos de los métodos más conocidos los cuales son: los tubos estáticos de pitot y la medición fotográfica de la huella o línea de flujo.

**TABLA No. 1**  
**NUMERO DE POTENCIA Y FLUJO PARA**  
**IMPULSOR CON TUBO GUIA**

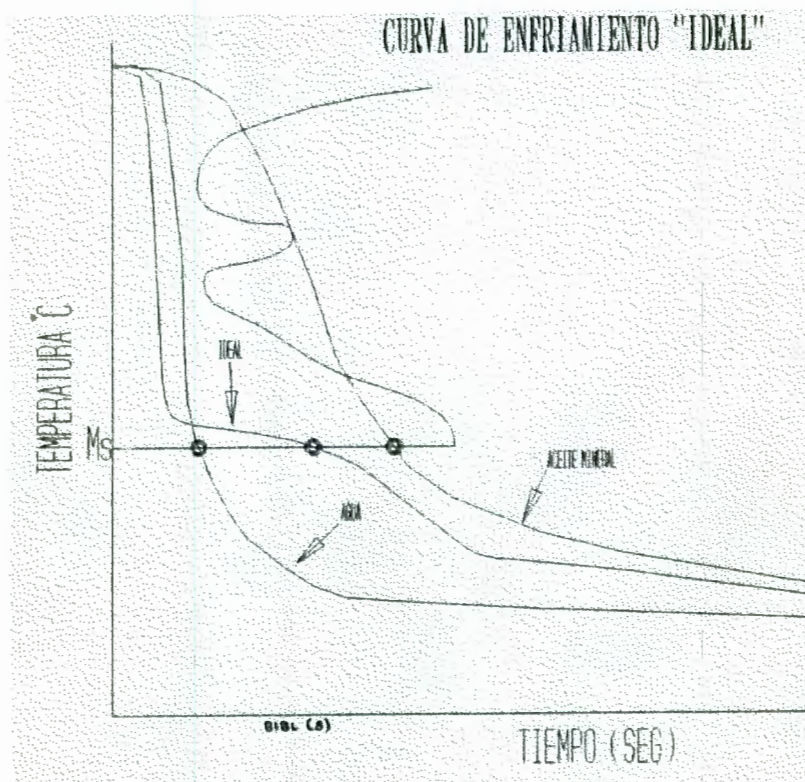
	IMPULSOR		Abierto Relativo	Tipo de Tubo Guía $K_v = 4 \frac{\text{Relativo}}{\text{Relativo}}$		
	Nq	Np		Q/P	NqDT	NpDT
Entrada en Angulo	0.46	0.35	1.0	0.40	0.40	0.69
Entrada por un Lado	0.56	0.33	1.47	0.45	0.36	0.94

En base a lo anterior se concluye que la agitación tiene un gran papel en los resultados de un temple del acero, influyendo directamente en las tres etapas de temple.

La estabilidad de la capa de vapor alrededor de la pieza en temple (etapa A) puede ser reducida por un incremento de la agitación. Así el tiempo de enfriamiento en esta etapa se ve disminuido. Lo cierto es que la habilidad de un medio de temple en particular para endurecer el acero es inversamente proporcional a la duración de la etapa A.

Con el incremento de la agitación, la velocidad de transferencia de calor en la (etapa B) también se ve incrementada y de igual manera sucede con la (etapa C).

Generalmente se requiere tener máxima agitación en el inicio de las etapas del proceso de temple. Esto para eliminar la formación de ferrita y perlita y optimizar las durezas, sin embargo la formación de martensita es acompañada de una expansión volumétrica que puede dar origen a tensiones



GRAFICA No. 6

internas. Para evitarla se recomienda que las velocidades de enfriamiento sean minimizadas en la región de las temperaturas  $M_s$  y  $M_f$ . (Bibl. 8)



Si la agitación que se usa es insuficiente es posible que la capa de medio templante no sea uniforme en su espesor y la pieza no se vea envuelta homogéneamente, esto ocasionaría variaciones de transferencia de calor y gradientes térmicos en la superficie y además de superficie a núcleo y no debemos olvidar que cuando los gradientes térmicos son altos las probabilidades de fisuras y distorsión aumentan considerablemente.

#### PUNTOS DE IMPORTANCIA A CONSIDERACION

- ⇒ El tubo guía deberá tener por lo menos una pulgada más que el diámetro del impulsor.
- ⇒ El tubo guía deberá estar por lo menos a 30 cm. abajo del nivel de medio de temple.
- ⇒ Deberá aplicarse de 3 a 5 Hp. por cada 3785.4 L. de medio templante.
- ⇒ Si hay varios agitadores (n) entonces cada agitador deberá considerarse de 3HP a 5 HP/n por 3785.4 L.  
(Bibl.2)

TABLA No. 2

POTENCIA-PROPELA

<u>Potencia de Motor (Hp)</u>	<u>Tamaño de Propela (cm)</u>
1	33
2	38
3	40.6
5	46
10	----- (950 RPM) ----- 53.3
15	58.4
20	61
25	63

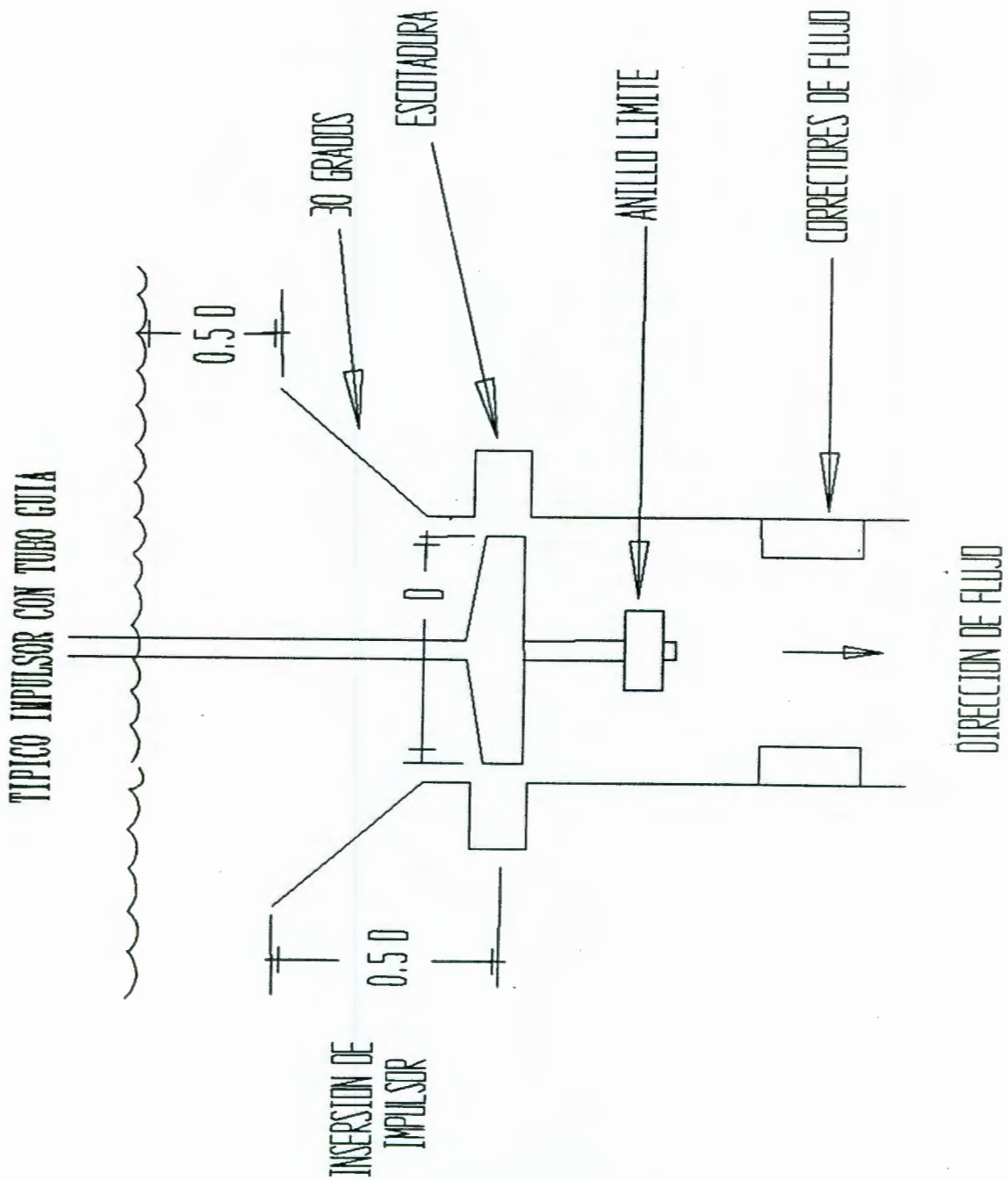


FIGURA No. 9  
(Bibl 8)

*CAPITULO*  
*II*

*APLICACIONES*

## CAPITULO II

### APLICACIONES

Los medios sintéticos son utilizados no sólo para el temple del acero, además se usa para templar el aluminio y algunos tipos de aceros especiales para usos militares.

Los polímeros también han sido formalmente aprobados para usarse en el temple de materiales de la industria aeroespacial.

En seguida se muestra una tabla donde se ilustra un resumen de las áreas de aplicación en las cuales el polímero ha sido utilizado con muy buenos resultados.

TABLA No. 3

PIEZA	ALEACION (AISI)	Tratamiento	Concentra- ción (Pag.)	Temp. (C) (Del Medio)	Dureza (RC.)
Ejes	1045	Temple H	10%	37.7	45-50
Levas Guía	1070	Inducción	15%	32.2	60
Arbol Levas	Hierro Gris	Inducción	20%	36.0	-
Bridas	Hierro Gris	Flama	6%	29.0	56-60
Engranés	4140	Inducción	10-15%	29-35	56-60
	4150	Inducción	10-15%	37.0	56-60
	1040	Inducción	10-12%	32.0	52-56

Espigas	1045	Inducción	8-10%	21.1	58-60
Rodillos	4870	Temple H.	18%	37.7	59-60
Tornillos	1022	Car-Nitro	10%	35.0	55-60
Ejes	1046	Inducción	20%	37.7	56-58
Ranurados	1041	Inducción	10%	30-43	49-55
	1141	Inducción	10%	30-43	49-55
	1050	Inducción	14-16%	37.7-48.8	58-62
	8620	Inducción	12-16%	29-38	58-62

NOTA: Temple H. (Temple en horno después de austenización  
(Bibl.9). Car-Nitru. (Carbunitruración) (Bibl.10)

*CAPITULO*  
*III*

*PARTE*  
*EXPERIMENTAL*

## CAPITULO III

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 3.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS CURVAS DE ENFRIAMIENTO

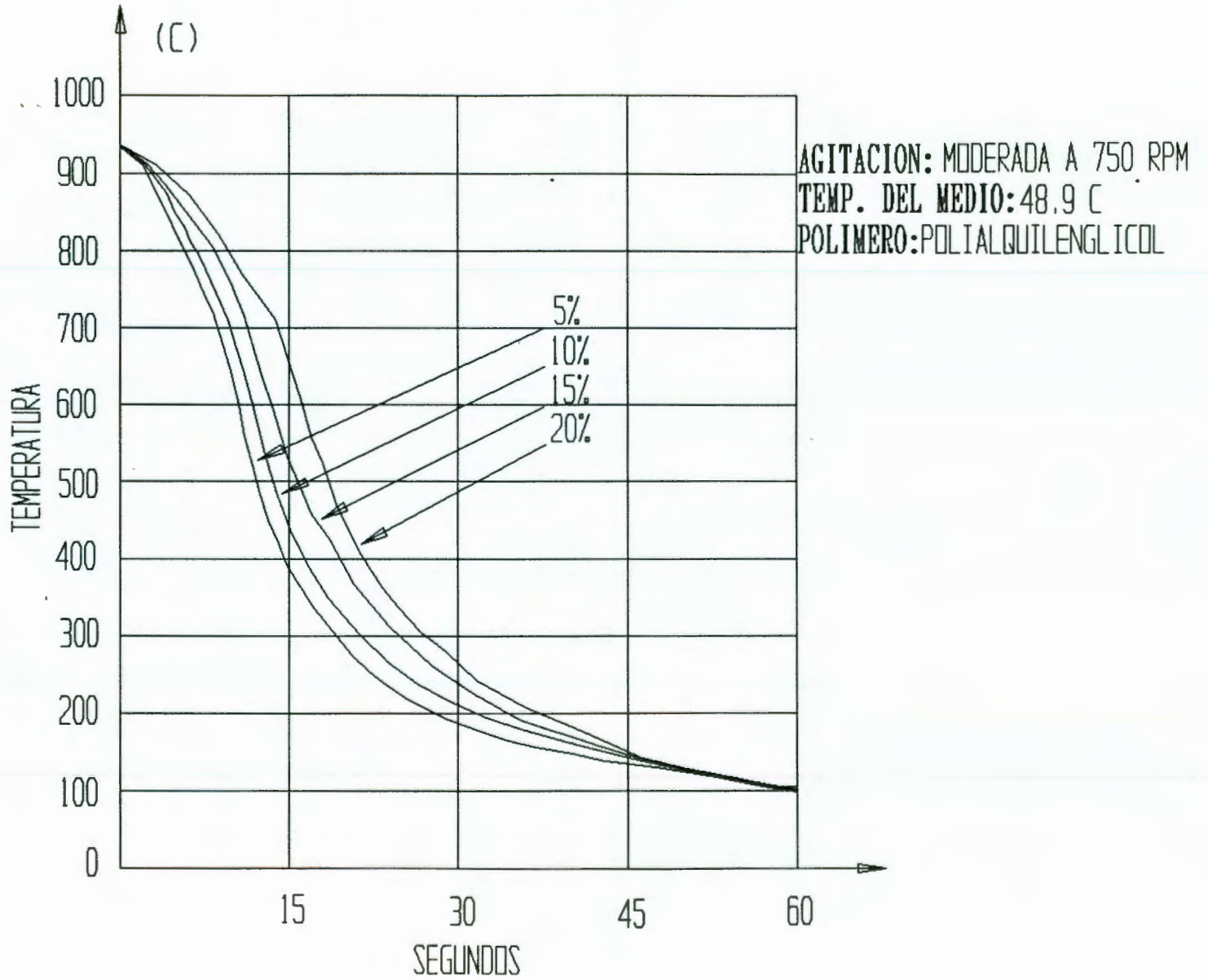
Usando como medio templante una solución de agua-polímero, la concentración tiene un papel muy importante, claro que no debemos olvidar que la agitación y la temperatura del medio también tienen gran importancia.

A continuación se muestran algunas gráficas en las cuales se ilustra el efecto de cada uno de los factores anteriormente mencionados en las curvas de temple.

NOTA: Las siguientes gráficas donde se ilustran las curvas de enfriamiento se elaboraron a nivel laboratorio para estimar el efecto de cada uno de los parámetros que se involucran en un temple, utilizando un probador de temple el cual consta de probeta de aleación Cr-Ni.

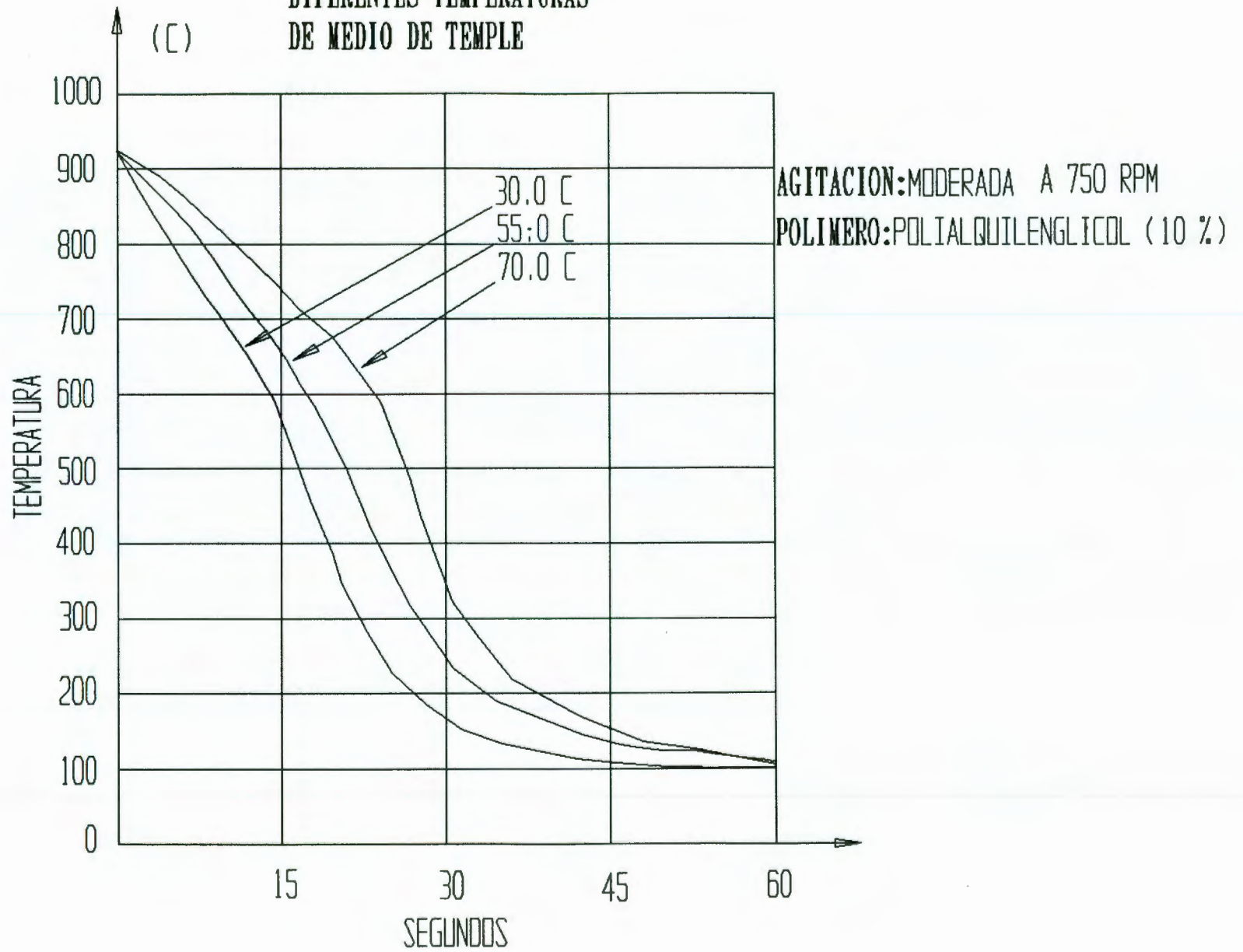


# CURVAS DE ENFRIAMIENTO A DIFERENTES CONCENTRACIONES



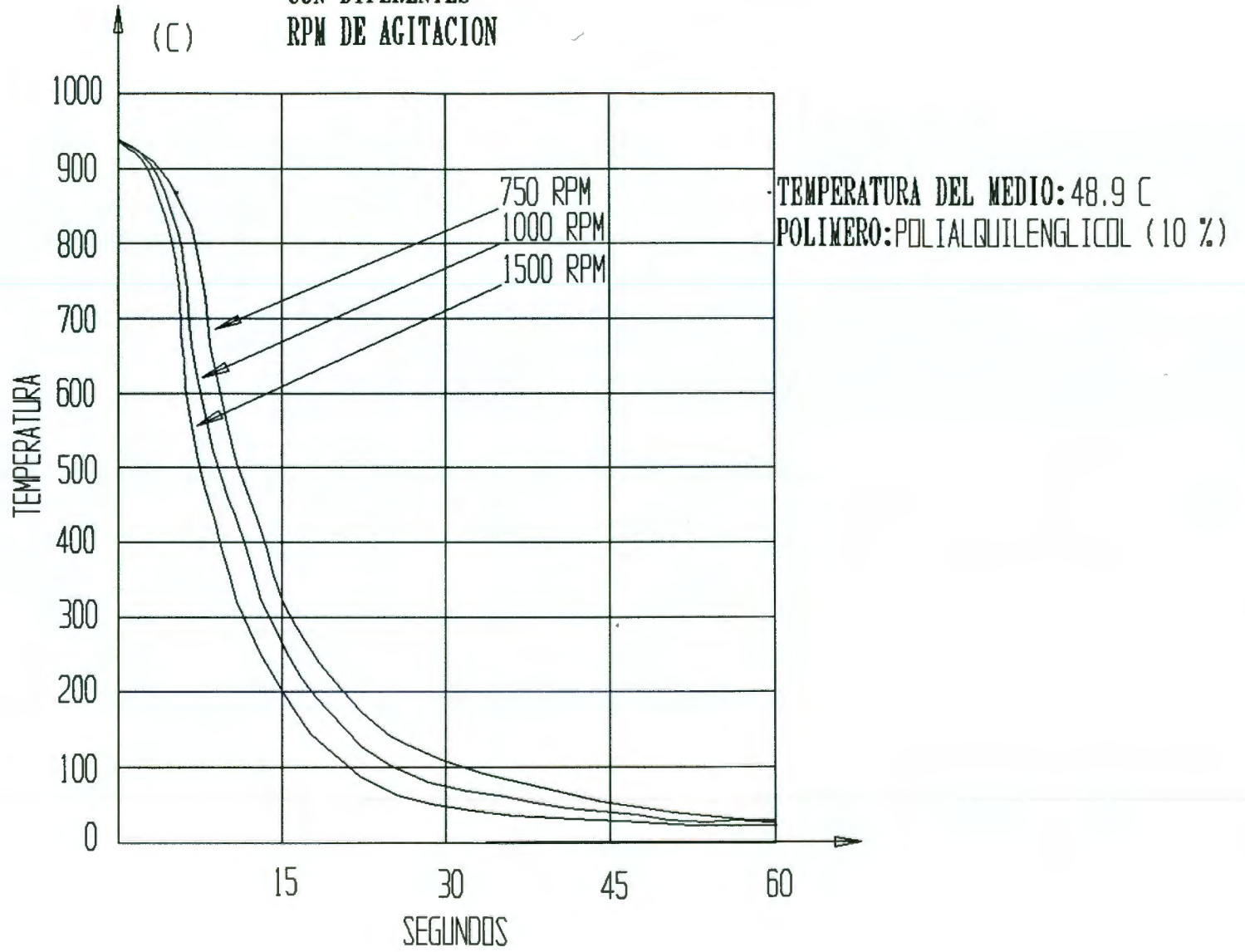
GRAFICA No. 7

CURVAS DE ENFRIAMIENTO A  
DIFERENTES TEMPERATURAS  
DE MEDIO DE TEMPLE



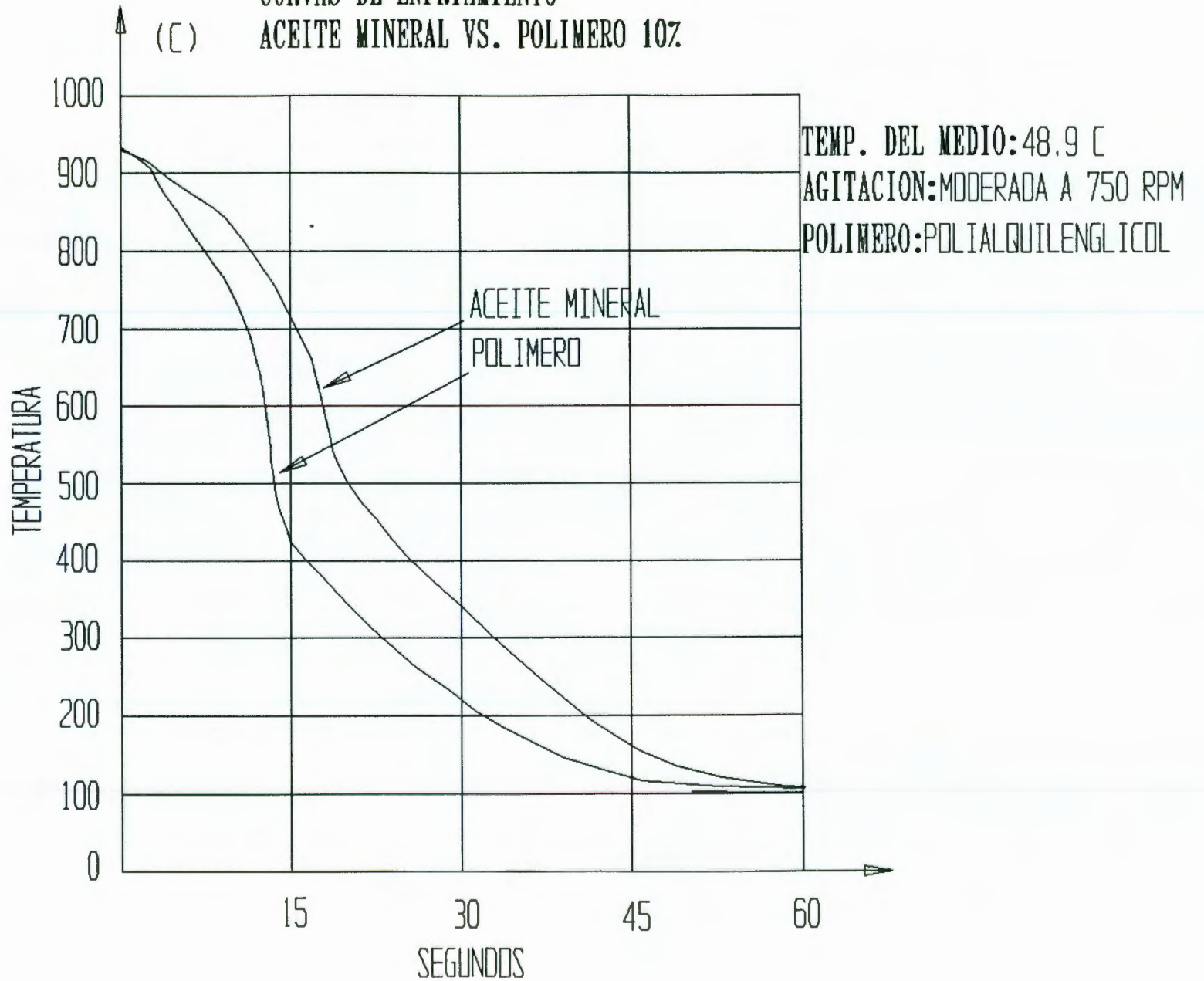
GRAFICA No. 8

CURVAS DE ENFRIAMIENTO  
CON DIFERENTES  
RPM DE AGITACION



GRAFICA No. 9

CURVAS DE ENFRIAMIENTO  
ACEITE MINERAL VS. POLIMERO 10%



GRAFICA No. 10

## 3.2 MODIFICACIONES EN HORNO

Considerando que la agitación durante un temple juega un papel muy importante, se verificó en el horno de prueba que tuviera el adecuado sistema de agitación.

Motor (RPM.HP), propela, tubo guía y placas deflectoras y se encontró que se requería modificar el impulsor en el sistema de agitación; de 35.0 cm a 55.1 cm en su tamaño, además de mejorar una placa defectora de dos que existen que estaba deteriorada en el piso del tanque de temple.

La temperatura del medio es otro factor importante durante un temple, ésta se verificó con termopares maestros y se controló con equipo electrónico digital conectado en sistema con la bomba de recirculación a intercambiador de calor que en este caso se le implementan partes de acero inoxidable previendo cualquier corrosión ocasionado por falta de inhibidores en la solución agua-polímero.

Otro punto importante que se verificó y que no fue necesario modificar porque cumplía con los requerimientos, fue el orificio de escape de atmósfera ubicado en la parte inferior de la puerta del horno, ya que teóricamente este orificio deberá tener un diámetro no mayor de 3.8 cm de diámetro de otra manera la presión interior del horno se vería

afectada y podría presentarse cierta contaminación de la atmósfera ocasionada por residuos de vapor de agua de solución de temple. (no se comprobó).

Según Bibl (2), los mejores resultados en un temple se obtienen cuando se usa una relación de 8.5 litros por cada kilo de metal a templar. Relaciones menores ocasionan una ineficiente extracción de calor y consecuentemente un mal temple.

# HORNO DE TEMPLE INTEGRAL

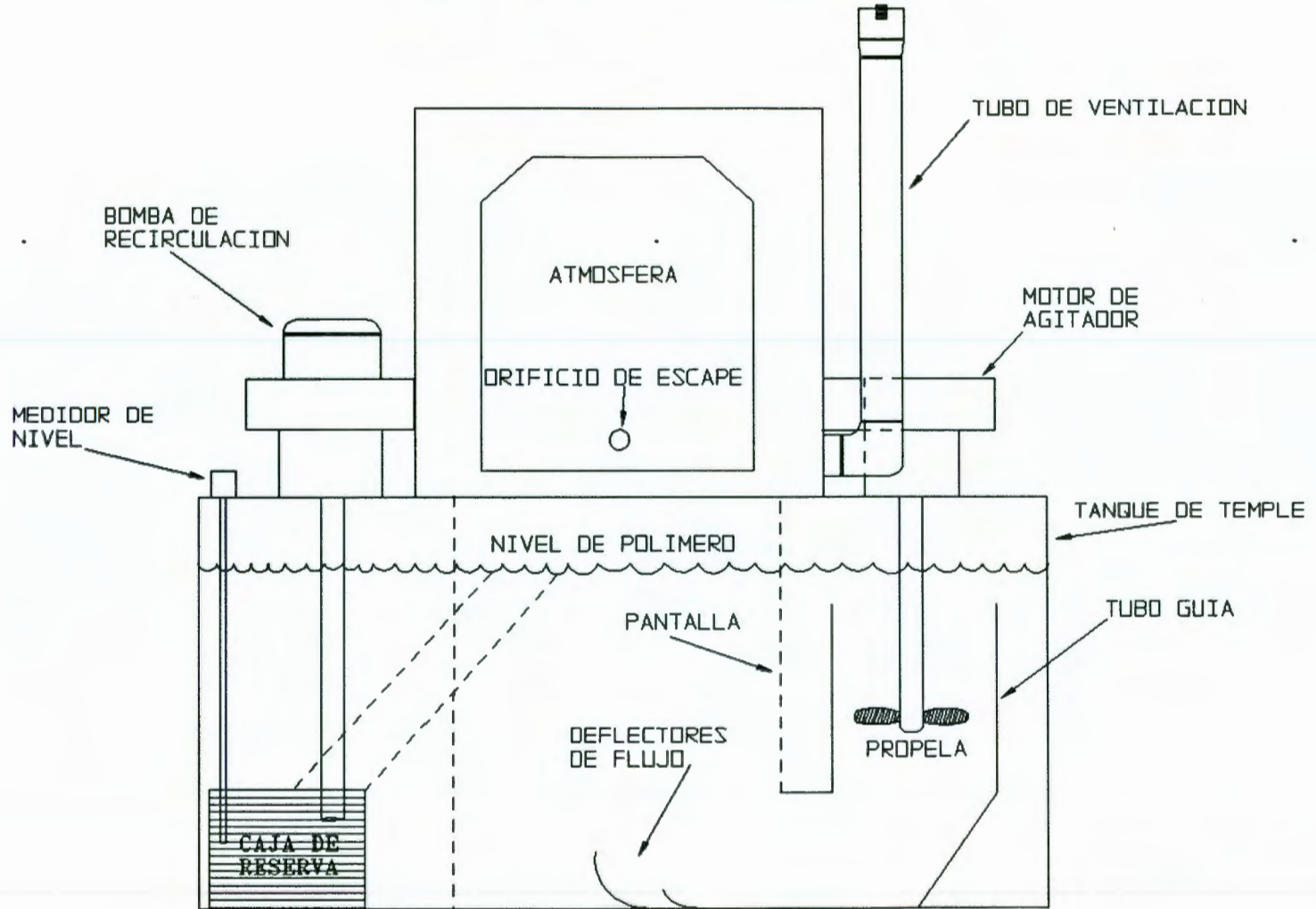


FIGURA No. 10

PROCESO DE TRATAMIENTO TERMICO

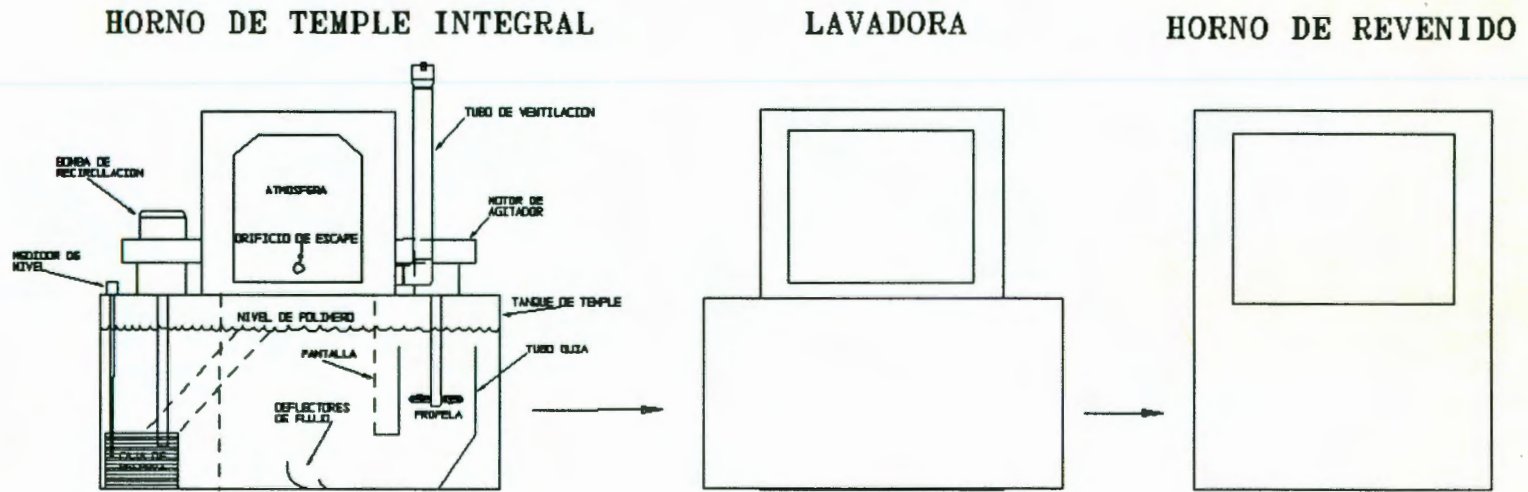


FIGURA No. 11



*CAPITULO*  
*IV*

*RESULTADOS*  
*PRACTICOS*

## CAPITULO IV

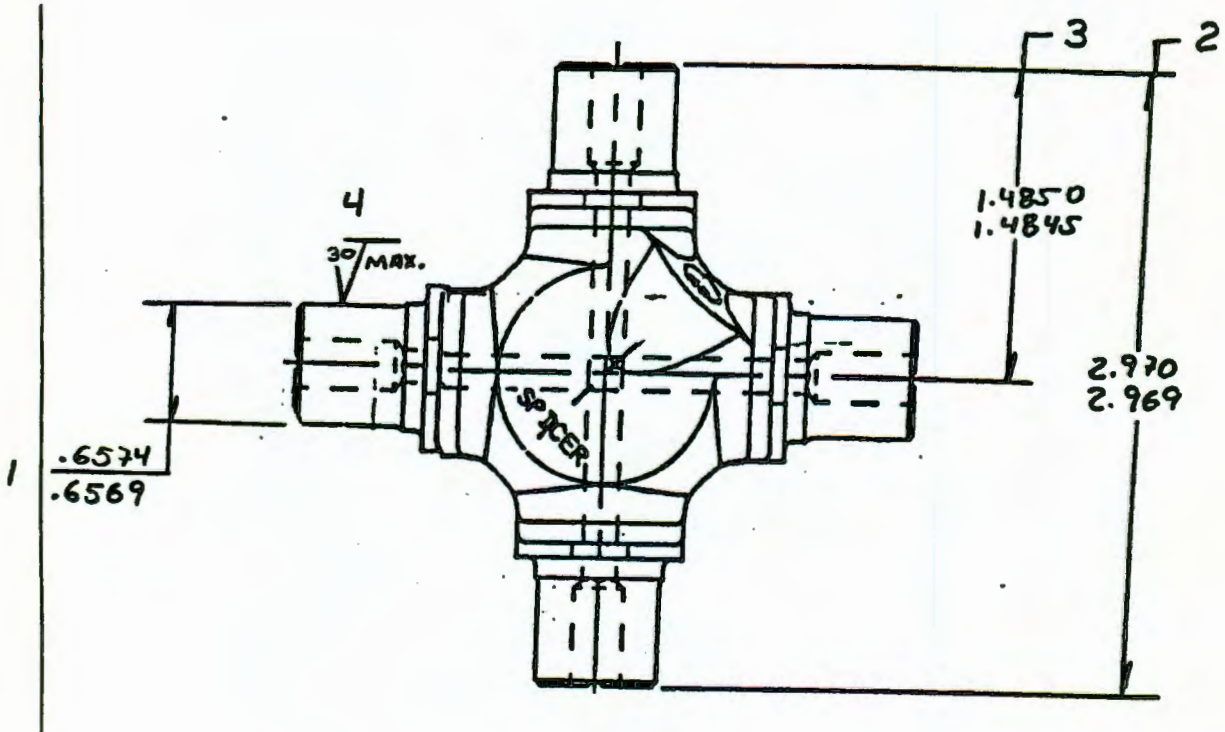
### RESULTADOS PRACTICOS

A partir de los análisis anteriores en cuanto a agitación, temperatura y concentración en el medio de temple y modificaciones en horno se procede a hacer pruebas a nivel planta.

#### ALGUNOS DATOS A CONSIDERAR:

⇒ Acero	= 8617
⇒ Cantidad de Piezas (MASA)	= 150 Kg.
⇒ Acomodo de Piezas	= Ordenado
⇒ Agitación	= 950 R.P.M.
⇒ Temperatura del Medio	= 29°C.

ILUSTRACION DE PIEZA DE PRUEBAS



CRUCETA

FIGURA No. 12

DUREZA SUPERICIAL  
A DIFERENTES CONCENTRACIONES  
DE POLIMERO

7%

0001	57.7	HRC
0002	56.4	HRC
0003	58.8	HRC
0004	60.1	HRC
0005	59.5	HRC
0006	62.0	HRC
0007	57.7	HRC
0008	56.4	HRC
0009	58.8	HRC
0010	60.1	HRC
0010	TOTAL	TESTS

56.40      LOWEST      READING  
62.00      HIGHEST      READING  
5.6          RANGE  
1.857      1 STANDARD DEVIATION  
59.16      AVERAGE  
MEMORY CLEARED

8%

0001	60.2	HRC
0002	62.6	HRC
0003	64.0	HRC
0004	61.4	HRC
0005	64.6	HRC
0006	58.1	HRC
0007	57.3	HRC
0008	58.7	HRC
0009	57.6	HRC
0010	63.4	HRC
0010	TOTAL	TESTS

57.30      LOWEST      READING  
64.60      HIGHEST      READING  
7.3          RANGE  
2.781      1 STANDARD DEVIATION  
60.79      AVERAGE  
MEMORY CLEARED

9%

0004	62.2	HRC
0005	61.9	HRC
0006	61.8	HRC
0007	62.7	HRC
0008	62.6	HRC
0009	62.0	HRC
0010	62.1	HRC
0011	63.0	HRC
0012	61.9	HRC
0013	61.9	HRC
0013	TOTAL	TESTS

61.80      LOWEST      READING  
63.00      HIGHEST      READING  
1.2          RANGE  
.368        1 STANDARD DEVIATION  
62.19       AVERAGE

MEMORY CLEARED

10%

0001	62.5	HRC
0002	63.0	HRC
0003	62.9	HRC
0004	63.3	HRC
0005	62.9	HRC
0006	62.6	HRC
0007	62.2	HRC
0008	63.0	HRC
0009	63.2	HRC
0010	63.0	HRC
0010	TOTAL	TESTS

62.20      LOWEST      READING  
63.30      HIGHEST      READING  
1.1          RANGE  
.334        1 STANDARD DEVIATION  
62.86       AVERAGE

MEMORY CLEARED

11%

0011	62.2	HRC
0012	61.7	HRC
0013	61.7	HRC
0014	62.1	HRC
0015	61.6	HRC
0016	60.7	HRC
0017	61.5	HRC
0018	61.8	HRC
0019	61.8	HRC
0020	61.2	HRC
0020	TOTAL	TESTS

54.20      LOWEST      READING  
62.20      HIGHEST      READING  
8.0          RANGE  
3.266      1 STANDARD DEVIATION  
58.53      AVERAGE  
MEMORY CLEARED

12%

0004	56.8	HRC
0005	56.4	HRC
0006	62.5	HRC
0007	55.9	HRC
0008	56.1	HRC
0009	56.7	HRC
0010	57.7	HRC
0011	62.4	HRC
0012	62.4	HRC
0013	62.7	HRC
0013	TOTAL	TESTS

55.90      LOWEST      READING  
62.70      HIGHEST      READING  
6.8          RANGE  
2.932      1 STANDARD DEVIATION  
58.33      AVERAGE  
MEMORY CLEARED

13%

0003	58.7	HRC
0004	57.1	HRC
0005	57.6	HRC
0006	56.6	HRC
0007	55.4	HRC
0008	57.3	HRC
0009	56.4	HRC
0010	55.3	HRC
0011	56.6	HRC
0012	56.4	HRC
0012	TOTAL	TESTS

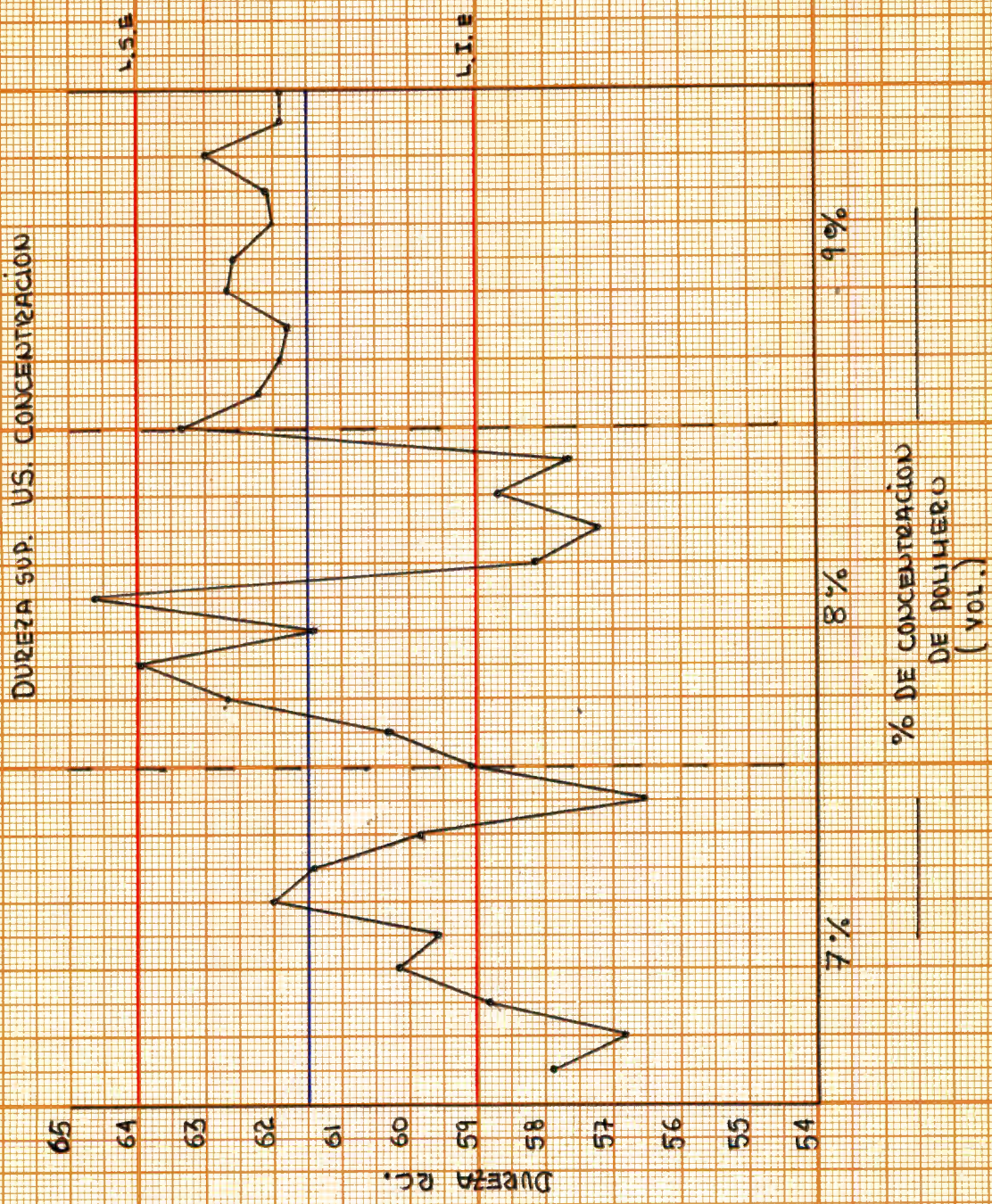
55.30      LOWEST      READING  
58.70      HIGHEST      READING  
3.4          RANGE  
.989        1 STANDARD DEVIATION  
56.90       AVERAGE

MEMORY CLEARED

14%

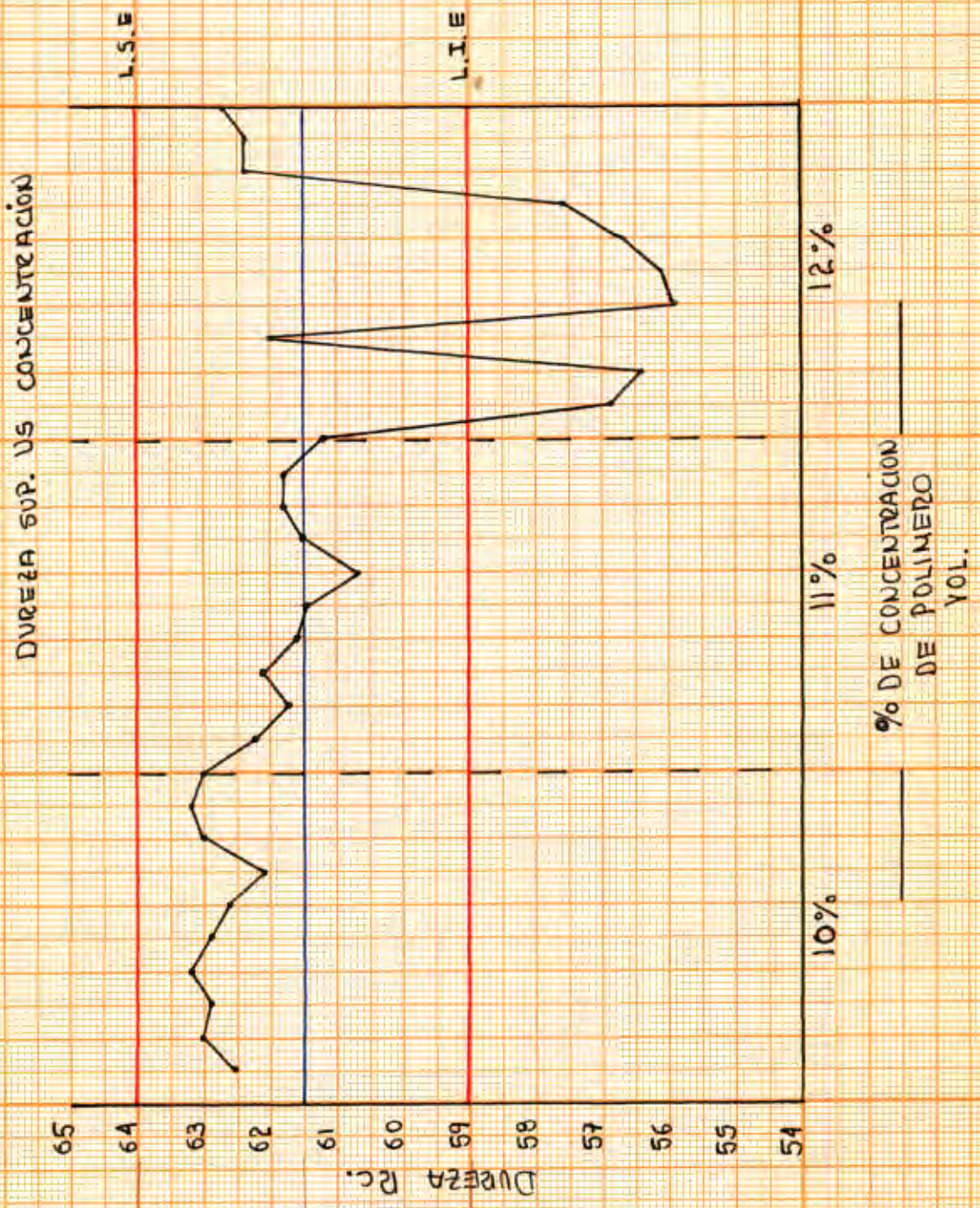
0001	55.7	HRC
0002	55.9	HRC
0003	55.5	HRC
0004	55.9	HRC
0005	57.0	HRC
0006	55.4	HRC
0007	55.3	HRC
0008	57.0	HRC
0009	55.7	HRC
0010	55.9	HRC
0010	TOTAL	TESTS

55.30      LOWEST      READING  
57.00      HIGHEST      READING  
1.7          RANGE  
.601        1 STANDARD DEVIATION  
55.93       AVERAGE



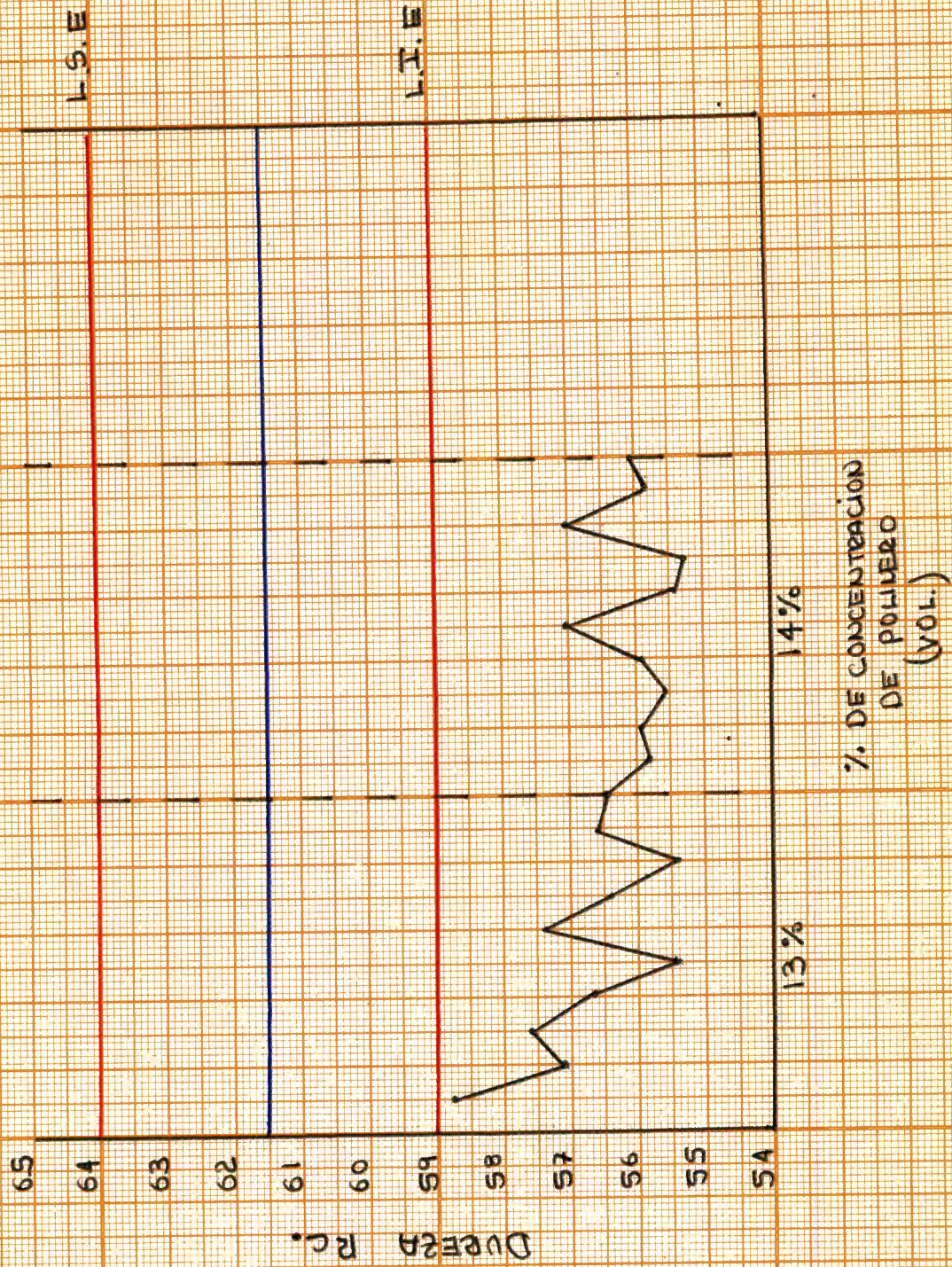
GRAFICA No.11





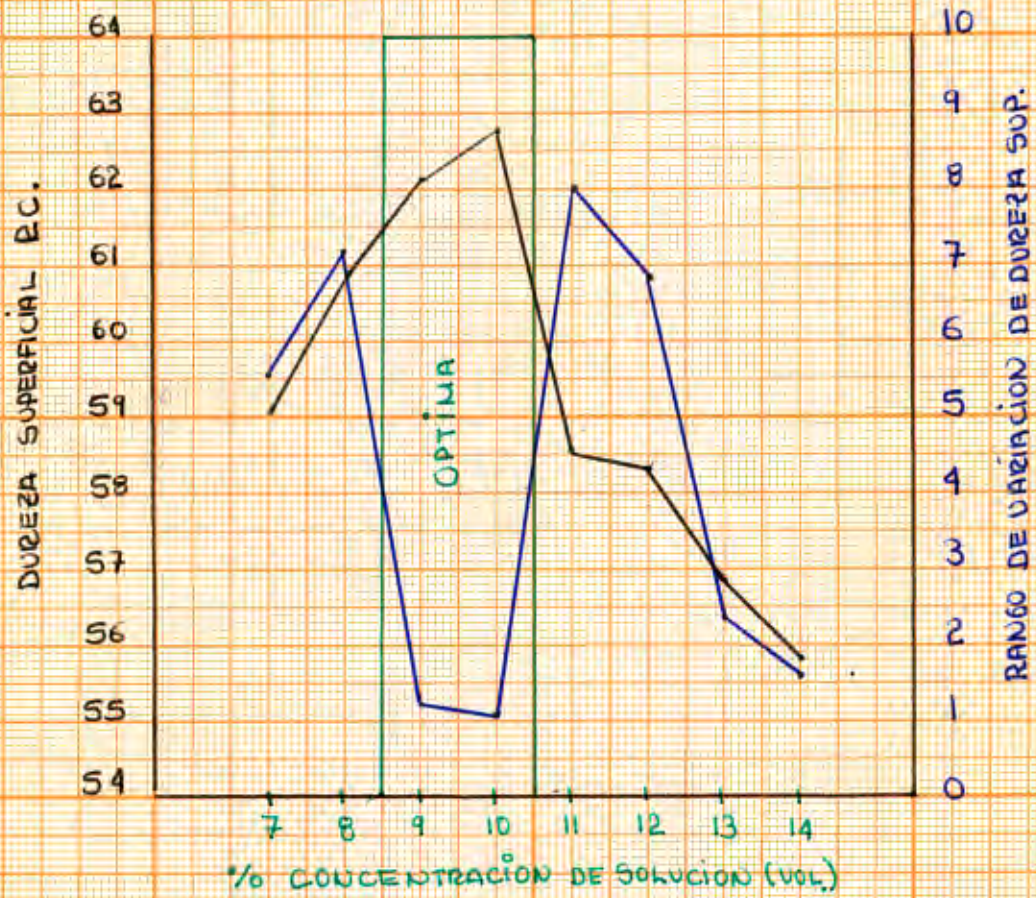
GRAFICA No.12

DUREZA SUP. VS. CONCENTRACION



GRAFICA No. 13

# DOBLE GRAFICA



GRAFICA No. 14

Analizando los anteriores resultados; se concluyen en la Gráfica No. (14). Donde podemos observar que haciendo una doble gráfica dureza superficial-rango de variación de dureza Sup. contra concentración de solución encontramos una Zona Óptima en la cual se encuentran los mejores puntos de dureza y los más bajos puntos de variación de dureza éstos a una concentración de 8.5 a 10.5% Vol.

Analizando lo anterior podemos explicar que cuando tenemos bajas concentraciones predominan las características templantes del agua y algunas veces de una solución agua-polímero.

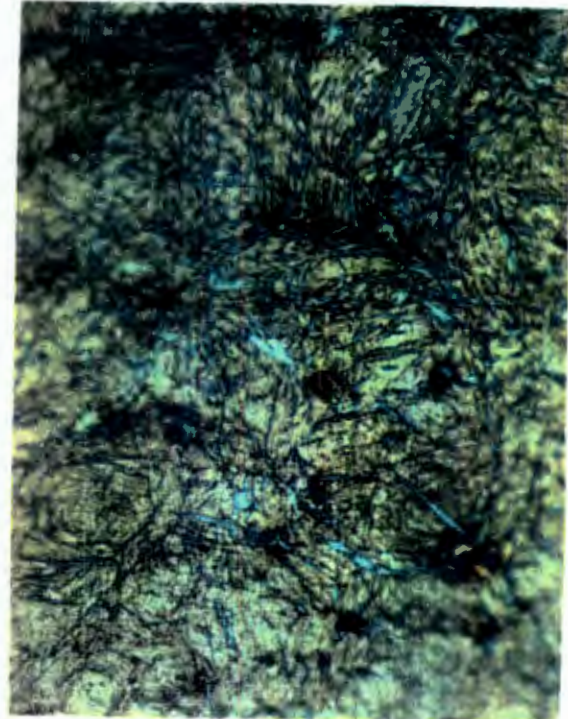
Y cuando las concentraciones son altas la cantidad de masa del medio es demasiada que la agitación es insuficiente ocasionando un temple heterogéneo.

De tal manera que un horno estándar Hall-Case de tanque integral usando las especificaciones de agitación, masa, acomodo y temperatura del medio antes mencionadas deberá usar por recomendación una concentración de solución agua-polímero entre el rango de 8.5 a 10.5% Vol.

## TABLA COMPARATIVA DE CALIDAD

CARACTERISTICA	ACEITE MINERAL	SOLUCION DE POLIMERO 10% VOL.
DUREZA SUPERFICIAL	60-62 Rc.	63-64 Rc.
PROFUNDIDAD DE CAPA E.	50-52 MILESIMAS DE PUL.	50-52 MILESIMAS DE PUL.
MICROESTRUCTURA	MARTENSITA: 78% AUSTENITA: 13% BAINITA: 9%	MARTENSITA 85% AUSTENITA 9% BAINITA 6%
DISTORSION	MINIMA	MINIMA
FISURA	CERO FISURAS	CERO FISURAS

## MICRO ESTRUCTURAS OBTENIDAS



FOTOGRAFIA No. 1 y 2

ACERO SAE 8617 400X

TEMPLE EN ACEITE MINERAL

- Menor cantidad de Martensita (78%)
- Mayor cantidad de Bainita (9%)

TEMPLE EN SOLUCION DE  
POLIMERO 10%

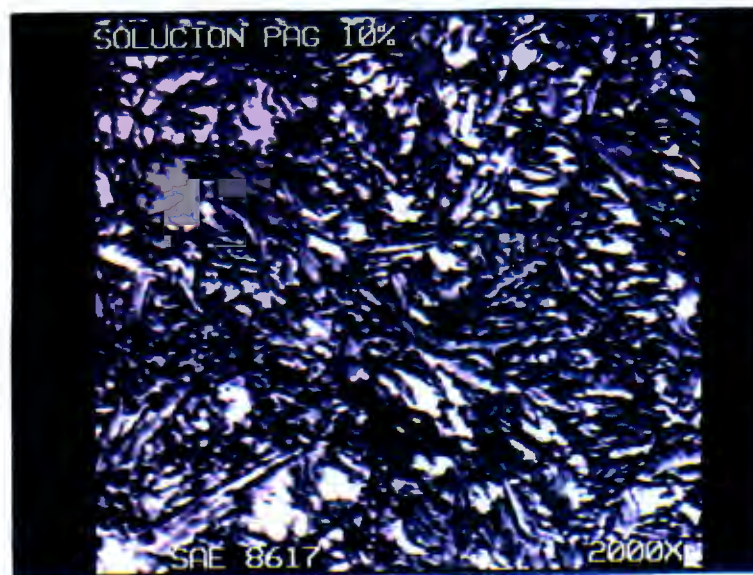
- Mayor cantidad de Martensita (85%)
- Menor cantidad de Bainita (6%)

## FOTOGRAFIAS



FOTOGRAFIA No. 3

MICROESTRUCTURA MARTENSITICA 80%

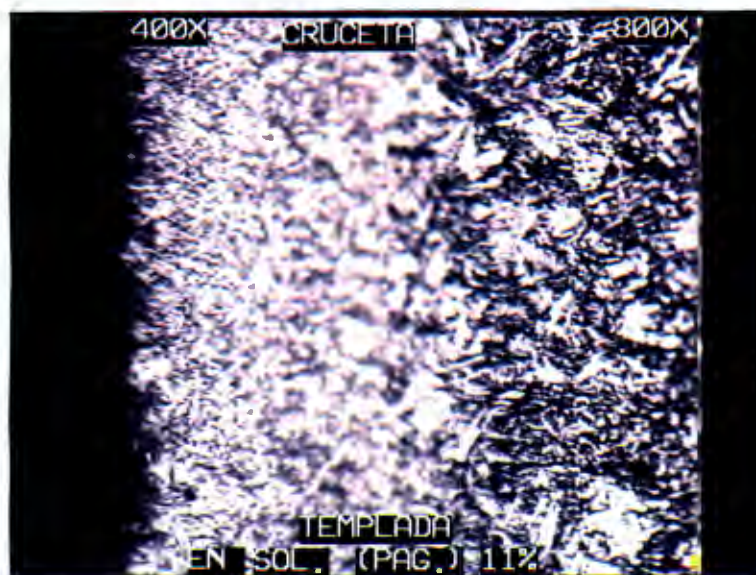
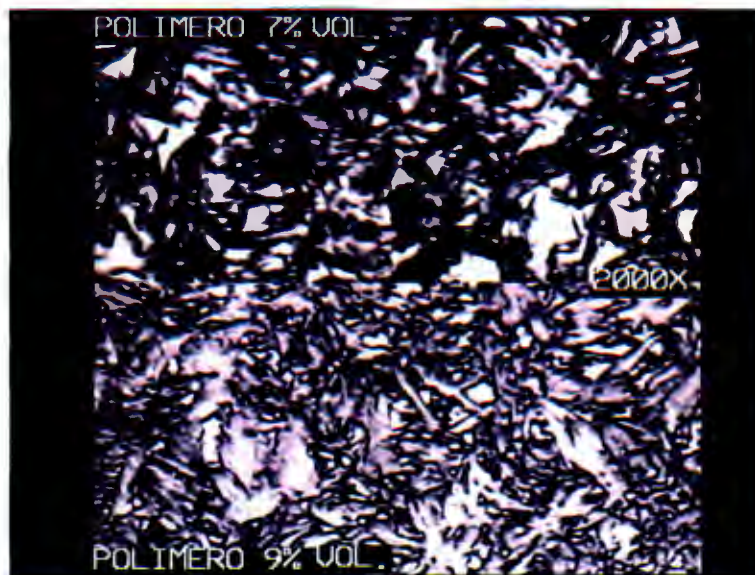


FOTOGRAFIA No. 4

MICROESTRUCTURA MARTENSITICA 90%

Acero 8617

## OTRAS MICROESTRUCTURAS



FOTOGRAFIA No. 5



## 4.1 MATERIAL

- ✧ Horno estándar Hall-Case de tanque integral
- ✧ Montadora Lecco Ar-10
- ✧ Equipo para Pulir Buehler automático de 3 probetas 60044
- ✧ Analizador de imágenes Lecco.
- ✧ Procesador de fotografías 381 Mitsubishi.
- ✧ Metaloscopio Lecco 500
- ✧ Durómetro Willson Rockwell Modelo 8554-7
- ✧ Agitador Magnético Modelo SL-7225 120 V 60 Hz 55 AMPS.
- ✧ Probador de Temple IVF No. 309 Quenchtotest.
- ✧ Refractómetro Reichert-Jung Modelo 10440.

*CAPITULO*

*V*

*MANTENIMIENTO  
DE POLIMERO*

# CAPITULO V

## MANTENIMIENTO DE POLIMERO

### 5.1 CONTROL Y MONITOREO

Este fluido requiere de un gran control y monitoreo en su uso, es muy importante saber las condiciones de trabajo, esto implica una gran comunicación entre el usuario y el proveedor; teniendo al corriente la cantidad adecuada en almacén y los análisis requeridos, ya que la estabilidad de la solución de polímero es indispensable.

El polímero en solución fue inicialmente usado como fluido de corte, pero ahora tienen gran aplicación como medio templante.

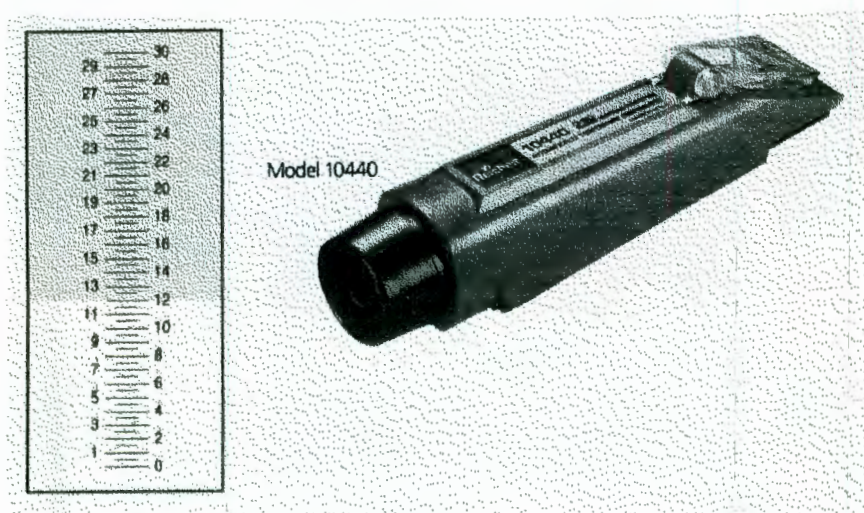
Algunos de los parámetros más importantes a controlar en una solución de polímero son los siguientes:

- Concentración
- Viscosidad
- Características de temple.

Para la medición de la concentración del baño existen varias técnicas; una de las más sencillas es por medio del índice de refracción, este es un método muy simple e ideal para usarse diariamente, la desventaja que tiene es que las

lecturas resultan engañosas cuando el medio tiene cierta contaminación <<sales, carbón, etc.>>, para disminuir estos errores es recomendable usar agua destilada en la solución agua-polímero.

FIGURA No. 13  
(Bibl 2)



## 5.2 METODOS DE MANTENIMIENTOS

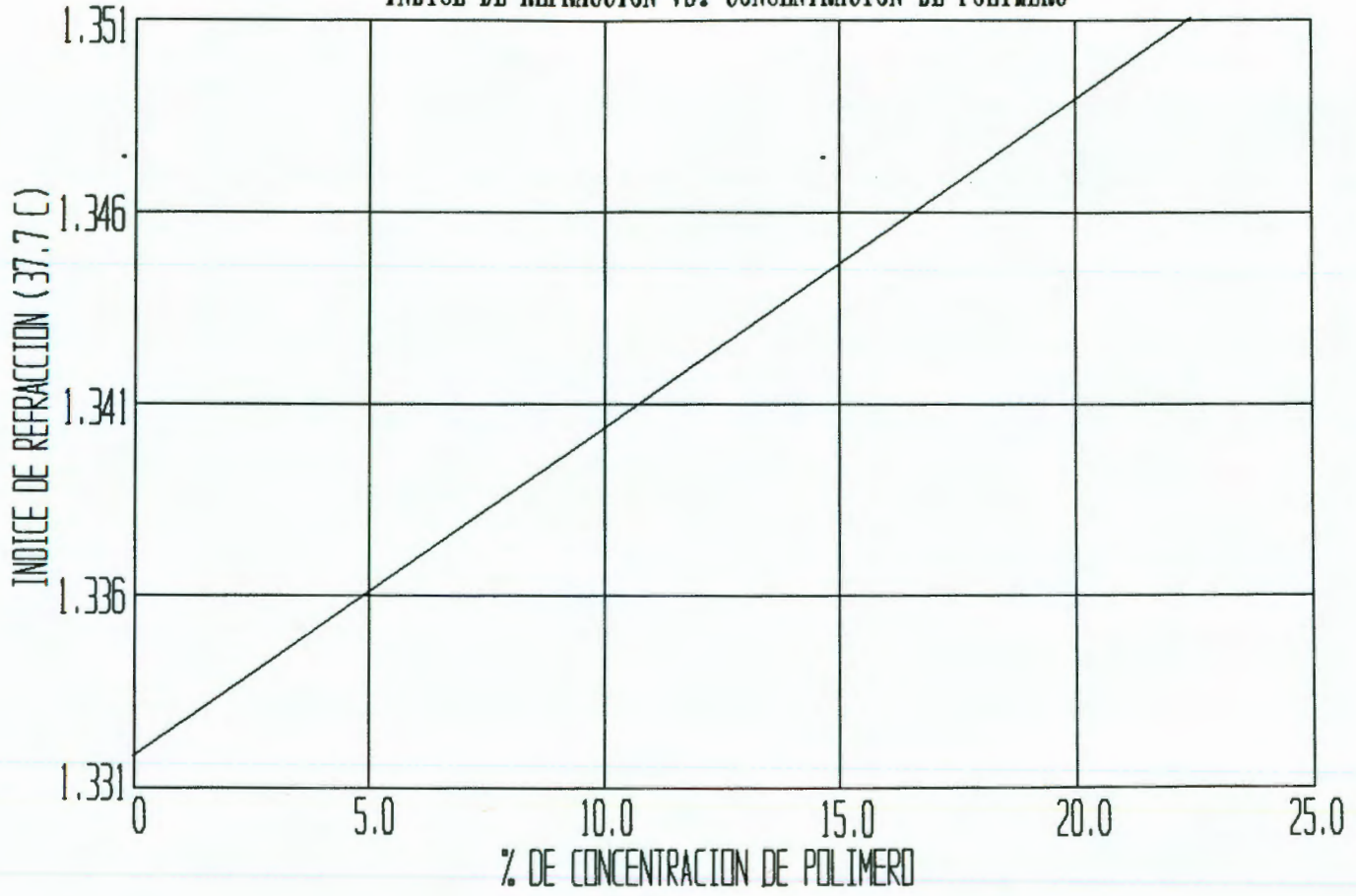
### 5.2.1 Refracción

Uno de los refractómetros más prácticos y adecuados para monitoreo y control de las soluciones agua-polímero es el de la figura No. 13.

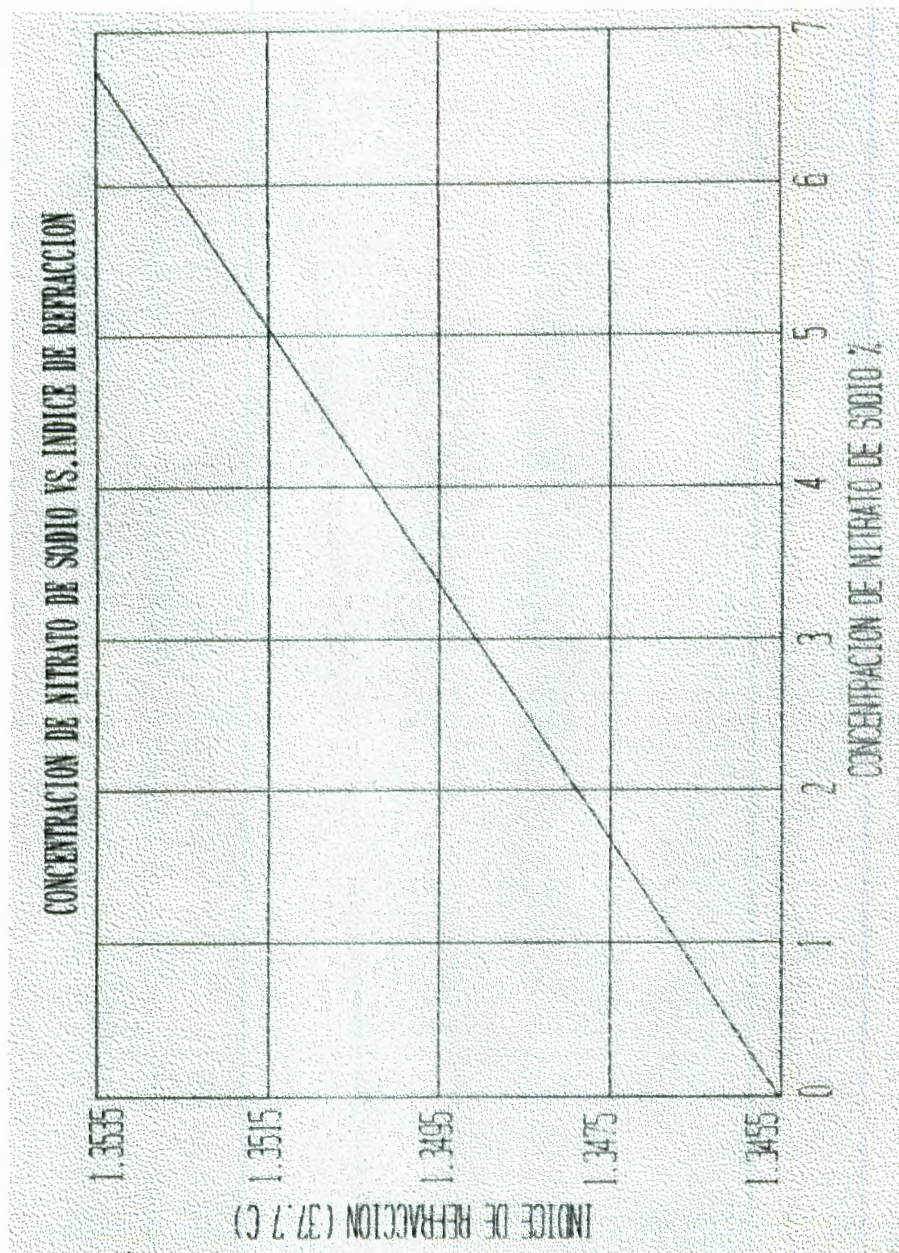
Su uso es muy simple: después la solución agua-polímero a la concentración deseada, para corroborarla se toma una pequeña muestra con la varilla de plástico que está integrada en el refractómetro, se pone en el cristal de refracción y se cubre con la pequeña tapa, después orientarlo hacia donde más luz exista apreciar la "sombra de refracción" en la escala de: 0 a 30.

El número donde se ubique la línea de la "sombra" deberá ser multiplicado por 2 (dos) para obtener la concentración de la solución. Ver Gráfica siguiente.

INDICE DE REFRACCION VS. CONCENTRACION DE POLIMERO



GRAFICA No. 15

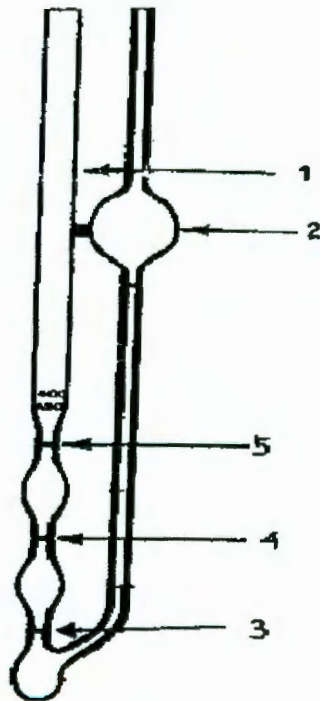


GRAFICA No. 16

## 5.2.2 Viscosidad Cinemática

La relación gráfica entre la concentración del polímero y la viscosidad puede ser usada con éxito para el monitoreo del sistema, sin embargo, se debe tomar muy en cuenta que hay cierta degradación del polímero que ocasiona algunos cambios en él y consecuentemente lecturas erróneas.

Una de las técnicas más sencillas y económicas para medir la viscosidad es usando un viscosímetro tipo "U" (Canon-Fensk).



VISCOSIMETRO TIPO "U"

FIGURA No. 14

(Bibl 2)



### 5.2.3 PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA VISCOSIDAD CON EL (CANON-FENSK).

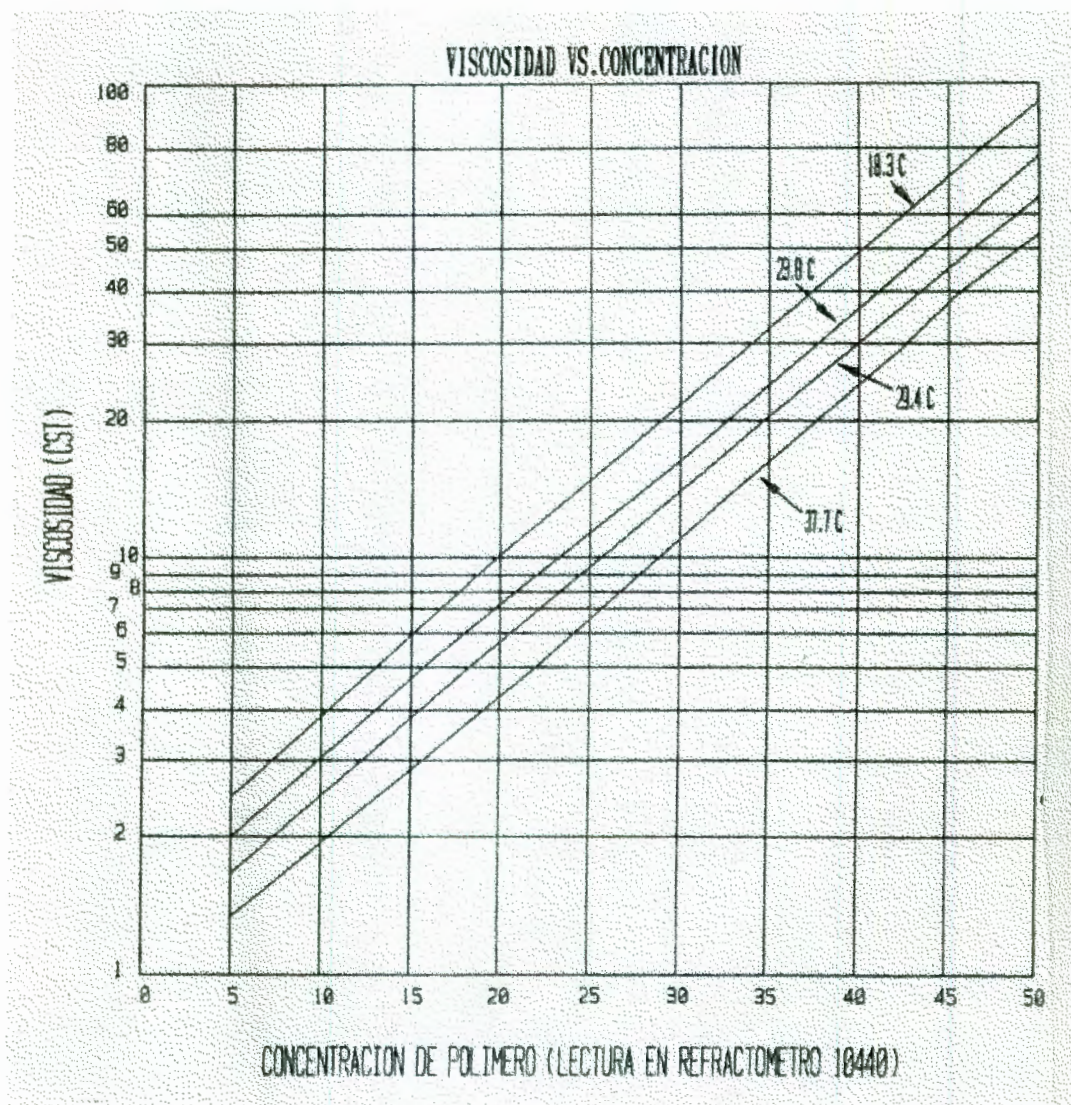
Asegurándose de que el viscosímetro esté libre de residuos de anteriores mediciones <<usar un solvente para lavarlo>>, cargar el viscosímetro por el tubo (1), si las condiciones lo permiten, sumergir el viscosímetro para mayor rapidez en el medio de temple que se va a verificar y succione hasta llenar el pequeño embolo (2) del viscosímetro.

Poner el viscosímetro en un baño maría a 40-50°C durante aproximadamente 15 minutos, asegurarse de que el nivel de la muestra no rebase la línea (3) pues a partir de ese punto se hacen las mediciones <<controlar el avance del medio tapando en la parte superior del tubo (1)>>.

Con la temperatura adecuada y el nivel justo en la línea (3) y cronometro en mano destapar tubo (1) y tomar el tiempo que tarda el medio en avanzar de (3) a (4) y parar el avance tapando en la parte superior nuevamente de la misma manera, tomar el tiempo que transcurre de (4) a (5).

Obtenga la viscosidad cinemática en centiestokes: multiplicando el valor obtenido <<en segundo>>, de cada una de las mediciones por 3.1 <<constante del viscosímetro>> se suman los dos resultados y se divide el valor entre dos, obteniendo así la viscosidad del medio de temple con un 5% de error

máximo. (Ver calibración básica de viscosímetros ASTM D 2162-  
Tomo No. 24 Pág. 221).



GRAFICA No. 17

(Bibl 2)

Como ya se mencionó anteriormente, los riegos de contaminar los baños de temple son altos, los principales contaminantes pueden ser: sales de metales, por ejemplo si el baño ha sido utilizado para templar aluminio, una contaminación con esta sal implicaría ciertos efectos en la velocidad de enfriamiento y es necesario analizar y si es posible cuantificar su presencia.

Quizá el procedimiento más económico y práctico para el monitoreo de presencia de sales sería por conductancia.

Actualmente el método de conductancia se usa para obtener una correlación lineal entre la conductancia de una solución y la concentración de una sal iónica en el medio templante considerando que no hay otros contaminantes, pero también se puede usar partiendo del hecho, que la conductancia aumenta con el incremento de sales contaminantes. Bibl (9)

A continuación se muestran algunas gráficas donde se ilustra la relación que existe entre la conductancia y la concentración en una solución de temple. Bibl (2)

Uno de los mejores métodos para el control de las condiciones de trabajo en una solución de agua-polímero como medio de temple, es usar un "Quenchtotest" <<probador de temple>>, aunque cabe aclarar que este es uno de los métodos más caros.

**El procedimiento es el siguiente:**

Se prepara una solución de agua-polímero a la concentración que se requiera <<a nivel laboratorio>> sin olvidar la temperatura y agitación del baño.

Con una previa calibración del "Quenchotest", el resto es calentar la probeta, la cual contiene el termopar, esto en el horno portátil, la temperatura podrá manejarse según el proceso en el que se requiera usar.

Después de alcanzar la temperatura, sacar la probeta rápidamente del horno y llevarla a la solución de polímero y sumergir, el equipo deberá ser programado previamente para registrar las curvas de enfriamiento e incluso ser memorizadas y impresas.

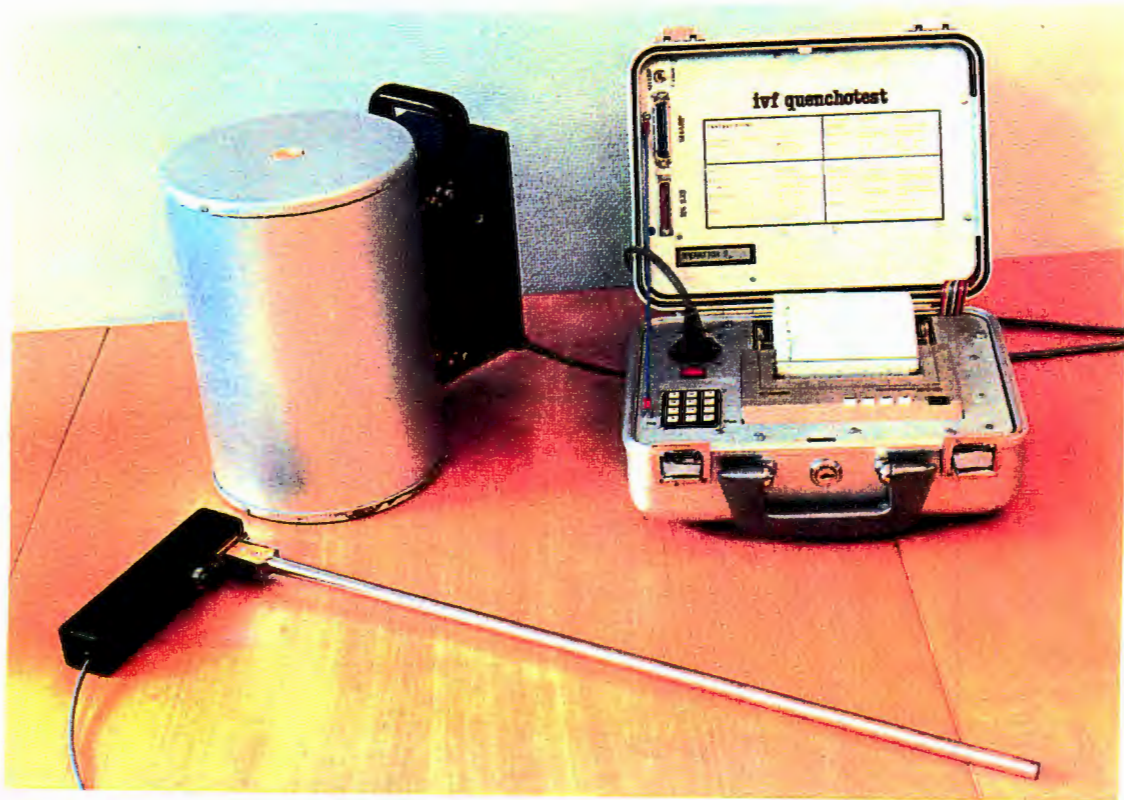
De esta manera se obtienen las curvas de enfriamiento que servirán de patrones de ajuste en un futuro.

Algunas ventajas con el uso de este equipo son:

- ⇒ Análisis directamente en el tanque de temple del horno
- ⇒ El efecto de las impurezas contaminantes se ve eliminado
- ⇒ Mediciones precisas a nivel laboratorio.
- ⇒ Util para diferentes concentraciones y medios templantes.

## FOTOGRAFIA DEL “QUENCHOTEST”

(Probador de Temple)



FOTOGRAFIA No. 6

(Bibl 7)

## ILUSTRACION DEL EQUIPO REQUERIDO PARA UN "QUENCHOTEST"

### ACCESORIOS:

1. Horno Portátil
2. Recipiente con medio de temple
3. Unidad de registro.

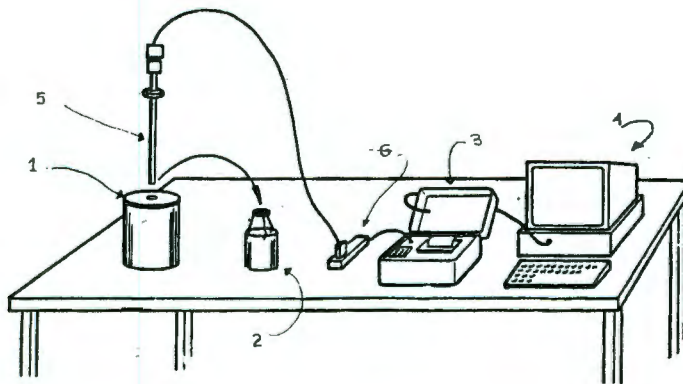


FIGURA No. 15

(Bibl 7)

Nota: Computadora no Indispensable.

4. Computadora.
5. Probeta.
6. Conexión Eléctrica a Unidad

Sabiendo que ciertas particulares sólidas pueden afectar en las lecturas, se recomiendan para el mantenimiento y control del polímero algunos métodos de limpieza.

- ☞ Filtración
- ☞ Decantación
- ☞ Centrífuga.

## **FILTRACION**

Comúnmente se usan filtros de membranas permeables las cuales se encargan de retener los solidos indeseados.

En el caso de una solución de agua polímero, se requiere un sistema especial de filtración y se recomienda la "ultrafiltración" usando altas presiones de flujo.

De esta manera se logra retener las impurezas que se encuentran contenidas en la fase polímero.

Se recomienda usar un filtro con ensamble de membranas permeables. <<acetato de celulosa>>.

### **Puntos importante a considerar:**

- ✧ Presión requerida: de 20 a 60 libras por pulgada cuadrada

✧ Retención lograda: 5 micrones.

✧ Temperatura optima de retención: de 25 a 40°C.

Con el anterior sistema de filtración se recomienda usar una temperatura de medio de 25°C para mejores resultados, de hecho para las soluciones de agua-polímero se sugiere un sistema automático de concentración-monitoreo-separación, este sistema permite mantener el nivel y la concentración al porcentaje deseado en un tanque dosificador además de que constantemente estará circulando por las membranas permeables.

Es importante considerar que en cada temple existe cierta evaporación de agua, por lo que se requieren mayores adiciones que en el caso del polímero, situación que se hace más fácil con el sistema automático; concentración-monitoreo-separación.

En este sistema, la solución de agua-polímero es llevada desde el tanque de temple hacia los depósitos de separación, después pasa a través de la membrana permeable donde se logra separar el polímero del agua, el primero se retorna <<sin partículas contaminantes>> hacia los depósitos de separación y posteriormente se manda para el tanque de temple, por otro lado el agua también será retornada a el tanque de temple.

Bibl. (9)



## 5.2.4 Decantación

Es un método muy simple, pero eficiente, aprovechando la solubilidad inversa del polímero podemos separar en dos fases la solución: agua y polímero, se lleva a cabo calentando la solución a temperatura de  $85^{\circ}\text{C}$  <<menores a la de ebullición

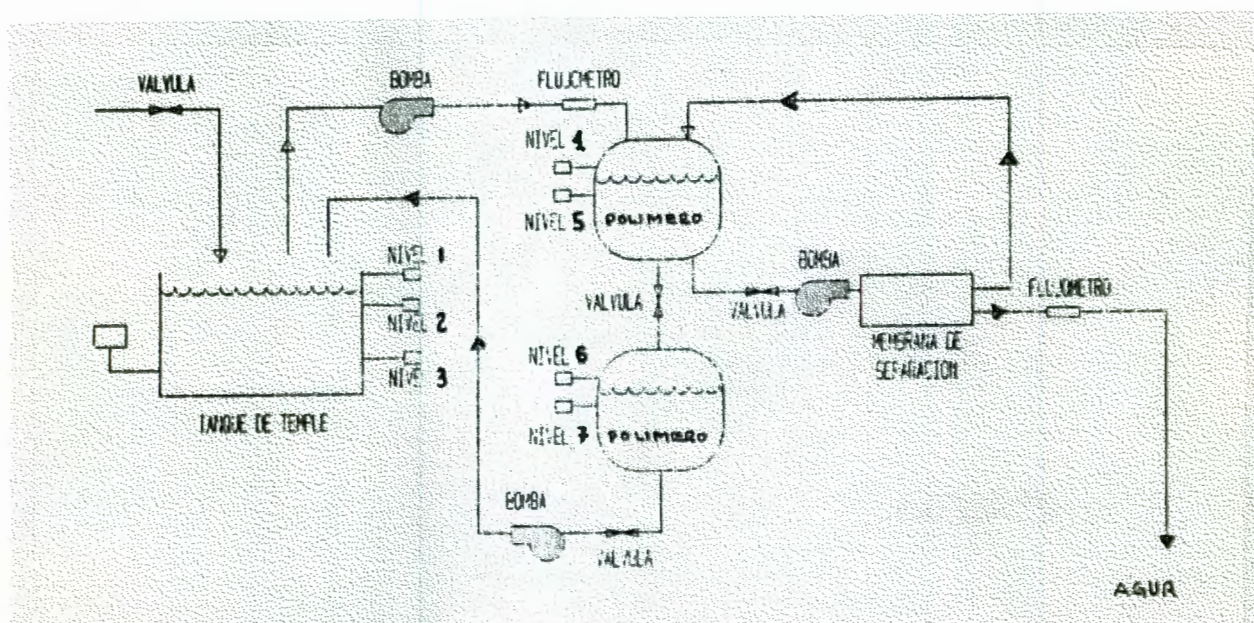


FIGURA No. 16  
(Bibl. 7)

del agua>> y de esta manera se forman dos fases y fácilmente se podrá drenar la de polímero que es donde se encuentra la

mayoría de impurezas y posteriormente se recuperara el polmero y se ajustará la concentración adecuada.

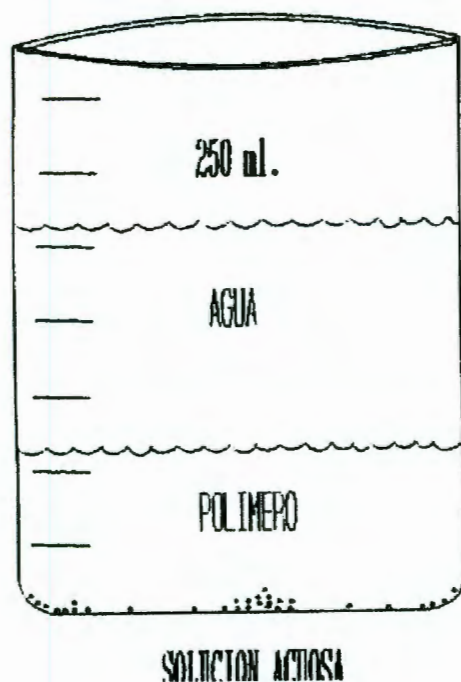
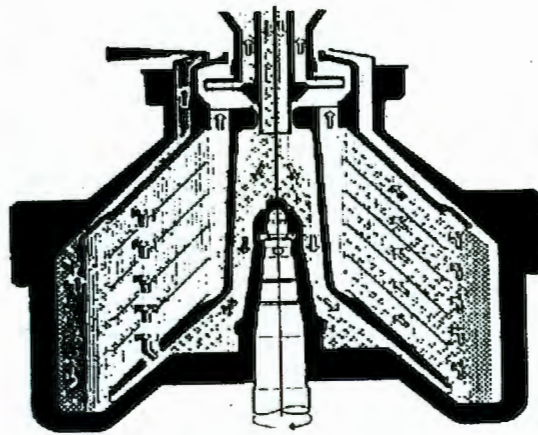


FIGURA No. 17

### 5.2.5 Centrífuga

El método de centrifugar la solución también es recomendable, aprovechando la diferencia de densidades que hay entre el agua y el polímero y se obtendrán mejores resultados si la máquina cuenta con sistema de calefacción.

A continuación se ilustra una máquina centrífuga.



(CORTESIA DE ALFA-LABAL)

FIGURA No. 18

*CAPITULO*  
*VI*

*APECTOS*  
*ECOLOGICOS*

## CAPITULO VI

### ASPECTOS ECOLOGICOS

Considerando la ecología; un polímero tienen grandes ventajas en comparación con el aceite mineral.

- ☞ Un polímero es biodegradable a 500 PPM.
- ☞ Se separa fácilmente del agua <<solubilidad inversa>>.
- ☞ Un polímero no produce humos.
- ☞ Es resistente a la proliferación de bacterias.
- ☞ Tiene una baja demanda bioquímica de oxígeno.
- ☞ Es esencialmente no tóxico.

*CAPITULO  
VII*

*ASPECTOS DE SEGURIDAD  
HOJA DEL POLIMERO  
<<Polialquilenglicol>>*

**CAPITULO VII**  
**ASPECTOS DE SEGURIDAD**  
**HOJA TECNICA DEL POLIMERO**  
**<<Polialquilenglicol>>**

**7.1 PROPIEDADES FISICAS-QUIMICAS**

- ⇒ Punto de ebullición = > 100 °C a 760 mm hg
- ⇒ Punto de congelamiento = 0 °C
- ⇒ Gravedad específica (H<sub>2</sub>O=1) = 1.097 A 15.6 A 20 °C.
- ⇒ Presión de vapor a 20 c = 17 mm hg
- ⇒ Solubilidad en agua = 100%
- ⇒ Color = Paja
- ⇒ Olor = Característico
- ⇒ Punto de inflamación = Ninguno
- ⇒ pH = 8.0
- ⇒ Fórmula química = HO-(CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-O)<sub>n</sub> (CH<sub>2</sub>-CH-O)<sub>n</sub> H

**7.2 EFECTOS DE SOBRE EXPOSICION**

- Puede causar irregularidad en el ritmo del corazón.

- Disminución de la presión de la sangre.
- Sonido estruendoso en los oídos.
- Dolor de cabeza.
- Náuseas.
- Desorientación
- Convulsiones colapso.

En el contacto con la piel y con ojos no hay evidencia de efectos adversos.

### 7.2.1 Primeros Auxilios

- ☞ En caso de ingestión: Tomar dos vasos de agua e inducir al vómito y buscar atención médica.
- ☞ Contacto con la piel: Lave con agua y jabón.
- ☞ Inhalación: Retirarse al aire fresco.

### 7.2.2 Eliminación de Desechos

En caso de derrames pueden ser lavados con grandes cantidades de agua, los derrames mayores deberán ser recolectados para su disposición.

Para la eliminación de desechos, pueden incinerarse en un horno y ponerlo a disposición de los requerimientos federales y estatales locales.



### 7.3 EMPAQUE DEL PRODUCTO

El polialquilenolico es normalmente empacado en recipientes metálicos de acero al carbón con volumen estándar de 200 litros. Estos están perfectamente etiquetados y sellados y deberán manejarse con cuidado.

#### TRATAMIENTO POSTERIOR

Existen antecedentes de que una solución de agua-polímero ha sido usada satisfactoriamente durante 11 años por supuesto con un buen mantenimiento.

En caso de desecho inicialmente sabemos que es biodegradable a 500 ppm., se recomienda la separación agua-polímero térmicamente y posterior incineración del polímero en hornos adecuados.

La seguridad industrial con el uso de un polímero como medio de temple se ve incrementada, considerando que cualquier riesgo de fuego a causa de medios templantes está eliminado totalmente, además de que es muy poco tóxico e irritante aunque a ciertas personas podría causarles algunas reacciones en la piel.

Un polímero tiene una muy baja presión vapor, por lo que el riesgo de inhalarlo es nulo.

## 7.4 ECONOMIA DEL POLIMERO

Una solución de polímero como medio de temple requiere mayor control y monitoreo a comparación de un aceite, por esto el equipo indispensable debe ser adquirido. Esto podría tomarse como una desventaja, pero a largo plazo estos gastos se amortizan con el uso del polímero.

Teniendo un muy buen cuidado, mantenimiento de la solución templante. Lo único que se requiere es recuperar el agua que se evapora en cada temple, y muy pocas adiciones de polímero que se pierden por arrastre.

A continuación se muestra una tabla comparativa costo-beneficio entre aceite y polímero.

# TABLA COMPARATIVA COSTO-BENEFICIO

MEDIO DE TRABAJO	COSTO DE VOLÚMEN TOTAL EN DEPÓSITO	PRECIO POR LITRO (HS)	VOLUMEN REQUERIDO PARA PONER A CONCENTRACION A CONSERVACION EL DEPÓSITO (LITROS)	CONSUMO ANUAL (LITROS)	COSTO DEL CONSUMO ANUAL (HS)	EQUIPO REQUERIDO PARA MONITOREO	GASTO POR DISPOSICION DE RESIDUO (HS)	GASTOS POR MANTENIMIENTO DEL MEDIO (HS)
ACEITE MINERAL	9.900	2,45	400 LIT.	1.900	465	FILTRO COPA CLEAN, REFRACTOMETRO VISCOMETRO QUENCHTEST	180,00 POR TAMBOR DE 200 LIT	2.00/LITRO
SOLUCION DE POLVERO	3.500	9,00	400 LIT.	450	4050	FILTRO REFRACTOMETRO VISCOMETRO QUENCHTEST	0,0 (REUTILIZABLE)	2.00/LITRO

## RECOMENDACIONES

Entre otros aspectos a considerar en el uso de soluciones agua-polímero como medio de templetes es el pH.

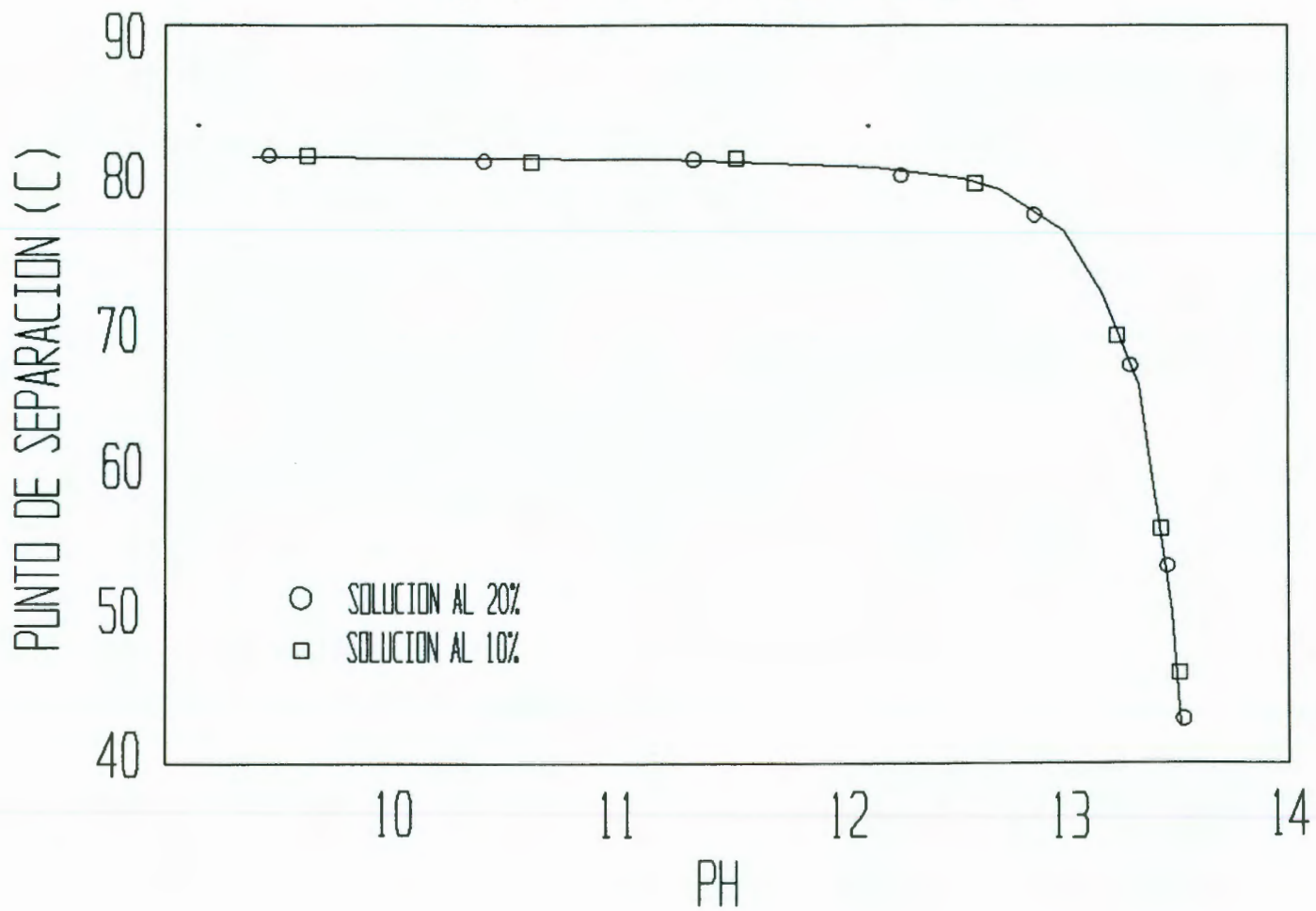
Una solución deberá tener un pH con cierta tendencia a alcalino es decir de 7.0 a 9.0, esto con el fin de evitar posibles efectos corrosivos en los componentes del horno (placas deflectoras, tanque, etc.).

Otra razón por la que se debe controlar el pH de la solución incluso evitar variaciones drásticas es porque la temperatura de separación se ve directamente afectada por razones de pH. y consecuentemente la viscosidad de la solución tiende a cambiar y la eficiencia de un temple se pierde.

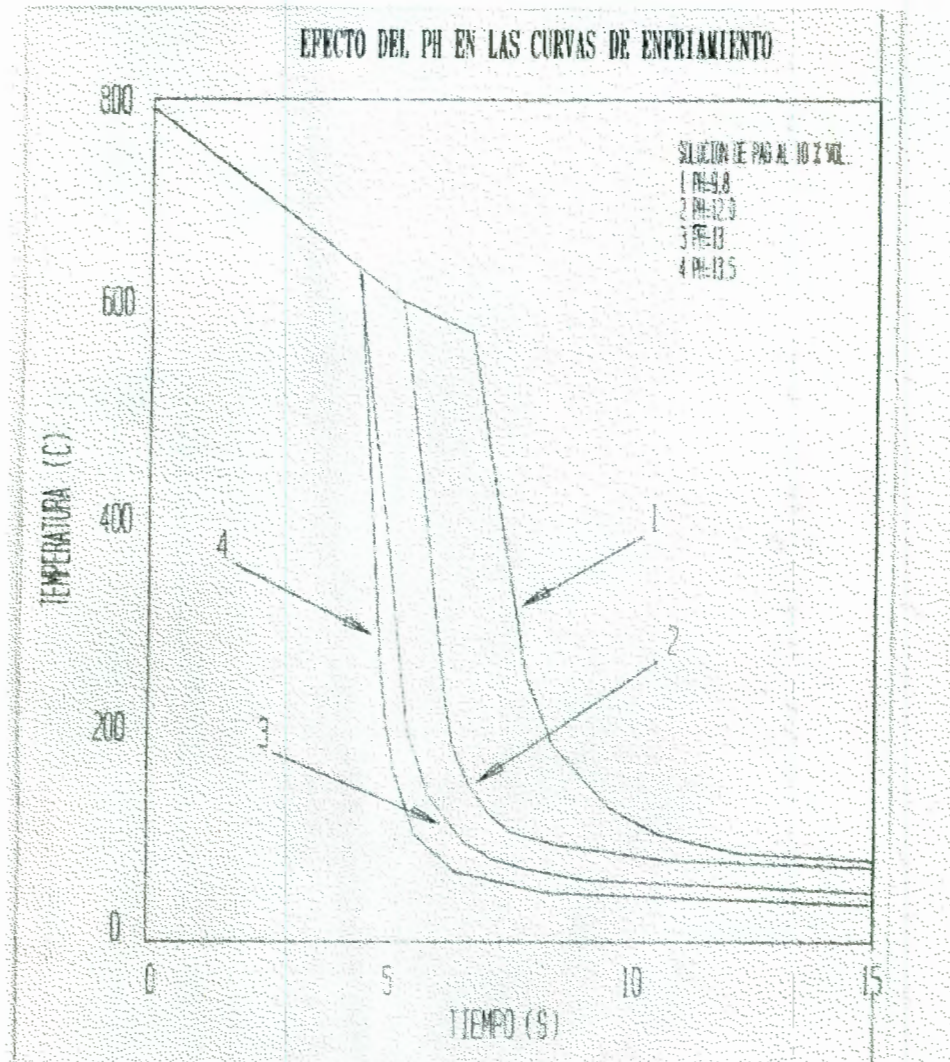
Si la temperatura de carga a temprar es muy alta se debe asegurar una adecuada agitación de la solución, de otra manera la energía térmica del sistema es mayor que la energía de interacción de los enlaces de hidrógeno esenciales para la disolución del polímero en el agua, ocasionando así el fenómeno de solubilidad inversa.

Usando como medio de temple una solución de agua-polímero al 10% Vol. Es recomendable tener una relación de 11 a 15 litros por cada kilogramo de material para lograr una buena extracción de calor.

# EFFECTO DE PH EN EL PUNTO DE SEPARACION EN UNA SOLUCION DE POLIMERO



GRAFICA No. 18



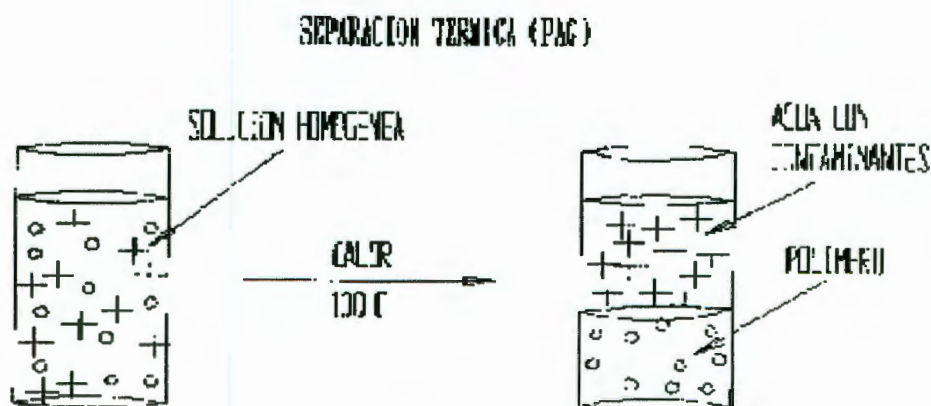
GRAFICA No. 19

## Solubilidad Inversa

La molécula de un polímero y la del agua experimentan ciertas atracciones. El átomo de hidrogeno parcialmente positivo es atraído por el par de electrones no compartidos del átomo electronegativo (oxígeno) y de esta manera se forma una interacción llamada enlace de hidrogeno. Bibl. (3)

Esto es lo que da lugar a la solución de un polímero en el agua, pero la energía de este enlace puede ser vencida en la acción de temple, la energía térmica del sistema podría ser mayor que la de interacciones de hidrogeno, si esto ocurre las cadenas o enlaces se romperán y la solubilidad del polímero en agua se pierde; se presenta el fenómeno de solubilidad inversa formándose dos fases.

La temperatura de separación dependerá del peso molecular del polímero en cuestión y del pH de la solución. Bibl. (9)



## CONCLUSIONES

El uso de soluciones agua-polímero como medios de temple en un horno integral es completamente funcional aún cuando el tratamiento sea de carburizado.

Pero no se debe olvidar que los resultados dependerán en gran parte de las condiciones en las que el horno se encuentre principalmente del sistema de agitación, después como se analizó dependerán de la temperatura del medio de temple y de la concentración del polímero en la solución.

Usando soluciones agua-polímero como medio de temple se encontró que la agitación se hace aun más importante cuando la concentración del polímero aumenta, de tal manera que el sistema de agitación de un horno con soluciones sintéticas agua-polímero dependerá de la concentración que se use.

Además se concluye que usando soluciones sintéticas como medio de temple en hornos integrales de carburizado:

- Se elimina totalmente cualquier riesgo de incendio a causa de medios templantes.
- Se obtiene mayor versatilidad en el temple.
- Las emisiones contaminantes por vapores de medios de temple (aceite mineral) se eliminan.



- Se reducen los consumos de medios de temple.
- Se obtienen piezas más limpias después de temple a diferencia de usar aceite mineral.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) **Advanced Materials and Processes**  
Marzo 1991  
Página 25-26
  
- 2) **Colaboracion Especial**  
Tanaxol Inc. Laboratorio  
5801 Milwaukee Wisconsin U.S.A.
  
- 3) **Fesseneden Ralph J.**  
Frsenden Joan S.  
Química Orgánica  
Grupo Editorial Iberoamerica  
Edición de 1992  
Página 26 - 28
  
- 4) **Guy A.G.**  
Fundamentos de Ciencias de Materiales  
M.C. Graw-Hill  
Primera Edición en Español, 1981  
Páginas 15 - 18
  
- 5) **Industrial Heating**  
The Journal of Thermal Techonology

- Septiembre 1988  
Páginas 34 - 36
- 6) Metals Handbook  
Novena Edición  
Volumen 4 Heat Treating  
ASM  
Páginas 55 - 57
- 7) Sogerberg Soren  
Bodin Jan  
Quenching and Testing and Evaluation of Quenchants  
for Hardening Steel  
Publicado por IVF (Institute for Verskstadsternisk  
Forsking)
- 8) Totten George  
Quenching and Distorsion Control  
Conference Proceedings  
ASM Internacional  
Páginas: 107 - 119 y 169
- 9) Totten George  
Bates C. E.  
Clinton N. A.  
Handbook of Quenchants and Quenching Technology

ASM Internacional

Primera Edición Enero 1993

Páginas: 165 - 169 y 413 - 439

- 10) Unión Carbide Corporation  
Especial Chemicals Division  
39 OLD.Ridgebury Road  
Danbury Ct. NY. 06817-0001
  
- 11) Wanke Klaus  
Schraumm Klaus  
Temple del Acero  
(Manual para el Tratamiento Térmico de  
las Aleaciones de Hierro)  
Editorial: Aguilar  
Primera Edición en 1972  
Páginas: 73 - 79 y 123 - 125.