

65  
24.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**SISTEMA AUTOMATICO  
DE CONTROL DE  
TRATAMIENTO TERMICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
( AREA ELECTRICA-ELECTRONICA )**

**P R E S E N T A  
JORGE GARCIA SANCHEZ**

Director de Tesis:  
M.I. Abel Clemente Reyes

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Ciudad Universitaria, México.    abril de 1997



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



---

*C O N T E N I D O*

## **C O N T E N I D O**

### **Capítulo 1. Prefacio**

8

### **Capítulo 2. El Hierro y el acero**

<b>2.1</b>	<b>Generalidades</b>	<b>11</b>
<b>2.1.1</b>	<b>El hierro</b>	<b>11</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Aceros al carbono</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Propiedades físicas de los aceros al carbono</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Características de los aceros al carbono</b>	<b>15</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Aceros con 0.10 a 0.25 % de carbono</b>	<b>16</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Aceros con 0.25 a 0.55 % de carbono</b>	<b>18</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Aceros con 0.55 a 1.00 % de carbono</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Otros elementos en los aceros al carbono</b>	<b>21</b>
<b>2.5</b>	<b>Aceros inoxidables</b>	<b>22</b>

<b>2.6</b>	<b><i>Diagrama Hierro-Carbono</i></b>	<b>24</b>
<b>2.7</b>	<b><i>Estados alotrópicos y puntos críticos del hierro puro</i></b>	<b>29</b>
<b>2.8</b>	<b><i>Especificaciones de aceros al carbono</i></b>	<b>31</b>

**Capítulo 3. Tratamientos térmicos**

<b>3.1</b>	<b><i>Generalidades</i></b>	<b>34</b>
<b>3.2</b>	<b><i>Tratamientos térmicos más usados</i></b>	<b>34</b>
<b>3.3</b>	<b><i>Recocido, temple y normalizado</i></b>	<b>37</b>
	<b>3.3.1 Temperaturas y duración de calentamientos</b>	<b>39</b>
<b>3.4</b>	<b><i>Teoría del normalizado</i></b>	<b>42</b>

**Capítulo 4 Relevado de esfuerzos**

<b>4.1</b>	<b><i>Generalidades</i></b>	<b>48</b>
<b>4.2</b>	<b><i>Finalidad del relevado de esfuerzos</i></b>	<b>49</b>

<b>4.3</b>	<b><i>Cuando efectuar el relevado de esfuerzos</i></b>	<b>51</b>
<b>4.4</b>	<b><i>Relevado de esfuerzos</i></b>	<b>51</b>
<b>4.5</b>	<b><i>Métodos para relevar esfuerzos</i></b>	<b>53</b>
<b>4.6</b>	<b><i>Normas ASME/ANSI</i></b>	<b>55</b>
<b>4.7</b>	<b><i>Procedimiento para efectuar el relevado de esfuerzos</i></b>	<b>57</b>

**Capítulo 5** **Máquinas relevadoras de esfuerzos**

<b>5.1</b>	<b><i>Identificación del equipo</i></b>	<b>67</b>
<b>5.2</b>	<b><i>Descripción del equipo</i></b>	<b>67</b>
<b>5.3</b>	<b><i>Instalación del equipo</i></b>	<b>71</b>
<b>5.4</b>	<b><i>Conexiones</i></b>	<b>72</b>
<b>5.5</b>	<b><i>Protección al operario</i></b>	<b>76</b>
<b>5.6</b>	<b><i>Operación</i></b>	<b>77</b>
<b>5.7</b>	<b><i>Colocación del termopar</i></b>	<b>78</b>

**Capítulo 6****Sensores para relevado de esfuerzos**

---

<b>6.1</b>	<b><i>Mediciones y errores</i></b>	<b>81</b>
	<b>6.1.1</b> Generalidades	<b>81</b>
<b>6.2</b>	<b><i>Transductores, elementos de entrada a los sistemas de instrumentación</i></b>	<b>82</b>
	<b>6.2.1</b> Transductores y su clasificación	<b>82</b>
	<b>6.2.2</b> Selección del transductor	<b>84</b>
<b>6.3</b>	<b><i>El termopar</i></b>	<b>85</b>
	<b>6.3.1</b> Generalidades	<b>85</b>
	<b>6.3.2</b> Sensado de temperaturas	<b>87</b>
	<b>6.3.3</b> Tipos de termopar	<b>94</b>

**Capítulo 7****Sistema de adquisición de datos**

---

<b>7.1</b>	<b><i>Definición</i></b>	<b>97</b>
<b>7.2</b>	<b><i>Descripción de un sistema típico</i></b>	<b>97</b>
<b>7.3</b>	<b><i>Usos básicos del DAS</i></b>	<b>100</b>
<b>7.4</b>	<b><i>DAS del sistema de relevado de esfuerzos</i></b>	<b>101</b>

**Capítulo 8** **Comunicación entre PCS**

<b>8.1</b>	<b>Generalidades</b>	<b>105</b>
<b>8.2</b>	<b>Comunicación síncrona y asíncrona</b>	<b>108</b>

**Capítulo 9** **Relevado de esfuerzos asistido por computadora**

<b>9.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>112</b>
<b>9.2</b>	<b>Alcance del software</b>	<b>113</b>
<b>9.3</b>	<b>Estructura general del software</b>	<b>116</b>
	<b>9.3.1</b> <b>Introducción</b>	<b>116</b>
	<b>9.3.2</b> <b>Desarrollo</b>	<b>117</b>
<b>9.4</b>	<b>Documentación</b>	<b>122</b>

**Capítulo 10** **Conclusiones**

**133**



**Apendice A****El RS 232-C**

A.1	RS 232-C	135
A.2	Señales primordiales del RS 232-C	136
A.3	Algunas formas de conectar dos equipos RS 232-C compatibles	138

**Referencias Bibliográficas**

145



# CAPITULO 1

---

*PREFACIO*

Desde su periodo más primitivo, el hombre ha utilizado los minerales, como elementos indispensables para sus actividades. La evolución del hombre es y ha sido proyectada por el aprovechamiento de los recursos naturales y los avances en la ciencia y tecnología.

El hierro junto con el carbono representan las materias primas más importantes de la industria siderúrgica. Ambos hacen posible la variedad de productos en hierro y acero, que son a su vez, materias primas para la fabricación de maquinaria y sus implementos, herramientas, medios de transporte, calderas y tuberías para la industria, y otros productos de utilidad al hombre.

Así como el hombre ha descubierto nuevas tecnologías, así mismo nace la necesidad de crear un dispositivo llamado computadora capaz de realizar cálculos repetitivos y exactos.

La computadora ha contribuido al desarrollo del mundo actual, esta, cada vez hace más énfasis en la automatización de procesos industriales, que tiene por objetivos primordiales: La baja en costos de producción. Incremento de las unidades fabricadas. Mayor precisión del trabajo. Mejor terminado. Eliminación de trabajos peligrosos para los obreros. La automatización demanda de

**más y modernos sistemas de cómputo que exploten las diferentes tecnologías de hardware y software.**

**El objetivo de este proyecto es de proporcionar a los profesionales dedicados al relevado de esfuerzos, una herramienta de software que de manera automatizada realice cálculos de parámetros, que proporcione diferentes opciones o caminos a seguir, que grafique el proceso, y en un desarrollo futuro, que controle totalmente el proceso paso a paso mediante los diferentes elementos involucrados.**

**El software fundamenta sus bases en las Normas ANSI/ASME apoyadas en análisis metalúrgicos previamente estudiados y analizados que proporcionan una serie de datos técnicos-prácticos que regulan el desarrollo del relevado de esfuerzos.**

# CAPITULO 2

---

*EL HIERRO Y EL ACERO*

## **2.1 GENERALIDADES**

### **2.1.1 EL HIERRO**

El hierro es el principal constituyente de las aleaciones de uso ingenieril. En forma casi pura se le llama hierro dulce. Su máxima resistencia es de 290 MPa y puede resistir una deformación plástica de un 40% antes de fracturarse. La estructura atómica del hierro es del tipo cúbica I ( celda unitaria donde la posición central es equivalente a las posiciones en los vértices ), ver figura 2.4, sin embargo sufre varios cambios antes de llegar al estado líquido, es decir es un metal alotrópico. A temperaturas inferiores a los 912°C se encuentra la estructura de hierro alfa ( hierro con estructura cúbica centrada en el interior, que es estable a la temperatura ambiente) entre 912°C y 1394°C su estructura cambia a hierro gamma ( hierro con estructura cúbica centrada en la cara o aleación de hierro base y finalmente entre 1394°C y su temperatura de fusión de 1538°C cambia a la estructura de hierro delta.

Al añadir carbono al hierro estas temperaturas cambian; con un 0.77% de carbono la temperatura de transformación de alfa a gamma disminuye a 727°C y la de gamma a delta sube hasta 1480°C, es decir se amplía la zona de existencia del hierro gamma. Al hierro gamma aleado se le denomina austenita.

### **2.1.2 ACEROS AL CARBONO**

Los aceros son aleaciones de hierro y carbono, aunque pueden contener otros elementos de aleación en diversas cantidades. El carbono es un constituyente importante debido a que tiene la capacidad de influir en la dureza y la resistencia del acero.

Las diferentes fases que un acero presenta en calentamiento o enfriamiento ( figura 2.4 ) son:

**Austenita (  $\gamma$  ):** Es el nombre dado a la solución sólida intersticial de carbono en hierro ( estructura cúbica de caras centradas ), con una solubilidad máxima de 2% de carbono a 1148°C.

**Cementita o carburo de hierro (  $Fe_3C$  ):** Es un compuesto intersticial típicamente duro y frágil, contiene 6.67% de carbono por peso.

**Ferrita (  $\alpha$  ):** Nombre dado a la solución sólida intersticial de carbono en hierro ( estructura cúbica centrada en el cuerpo ), con una concentración máxima de carbono de 0.025%. Si su apariencia es de color claro, formando grupos compactos se le denomina ferrita masiva (  $F^m$  ); si tiene forma acicular, se conoce como ferrita de Widmanstten, la cual reduce la resistencia al impacto.

**Perlita:** Mezcla fina, de tipo laminar, de ferrita y cementita que resulta de la reacción eutécticoide ( descomposición de una fase sólida en dos fases sólidas nuevas ) de la austenita; su concentración eutécticoide es de 0.8% de carbono.

**Martensita:** Es una solución sólida intersticial sobresaturada de carbono en hierro. Su aparición depende de la rapidez del enfriamiento desde la temperatura de austenitización. Su microestructura se caracteriza por una forma acicular o tipo aguja.

**Bainita:** Es el producto de descomposición de la austenita que consiste en un agregado de ferrita y carburo. En general, se forma a temperaturas inferiores en que se forma la perlita fina y superiores a la martensita.

Generalmente los aceros se clasifican en dos grupos: aceros al carbono y aceros aleados

**Aceros al carbono:** Contienen hasta un 2% de carbono y una pequeña cantidad de elementos residuales, excepto aquellos agregados para desoxidación con silicio generalmente a 0.6% y manganeso a 1.65% aproximadamente.

**Aceros aleados:** contienen grandes cantidades de elementos de aleación ( distintos del carbono y de las cantidades comúnmente aceptadas de manganeso, silicio, azufre y fósforo ),



agregados para provocar cambios en las propiedades mecánicas o físicas.

## **2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEROS AL CARBONO.**

**A) Dureza.** Esta propiedad tiende a incrementarse conforme aumentan los contenidos de carbono y manganeso. Se puede determinar de varias maneras, siendo la más usual por el método Rockwell.

**B) Resistencia a la Tracción.** Es otra propiedad que tiende a aumentar con el contenido de carbono y de manganeso. Se determina en una máquina universal por aplicación de una cierta carga a probetas de dimensiones normalizadas.

**C) Resistencia a la Fatiga.** Se realiza con equipos especiales en los que se somete al material a un esfuerzo repetitivo, midiéndose la deformación, obtenida en un número de ciclos.

**D) Resistencia al impacto.** Mide la energía necesaria para fracturar un material por medio de una carga que choca contra

el cuerpo de prueba. Esta prueba es directamente proporcional a los contenidos de carbono y manganeso.

**E) Penetración del Temple.** Prueba que aporta datos del comportamiento de un acero respecto a los tratamientos térmicos.

**F) Soldabilidad.** Es la propiedad que tienen los aceros de soldarse adecuadamente. Desciende con el contenido de carbono.

Las propiedades antes descritas decrecen al aumentar su contenido de fósforo o azufre.

### **2.3 CARACTERISTICAS DE LOS ACEROS AL CARBONO.**

Los aceros al carbono se producen en gran cantidad y tienen un uso más amplio que cualquier otro metal debido a su versatilidad y bajo costo.

Antes de 1940 se trató de reemplazar los aceros al carbono por aceros aleados, pero el comienzo de la Segunda Guerra Mundial provocó una escasez de elementos de aleación que causó una revalorización de los aceros al carbono, y en muchos casos los

usuarios regresaron a la utilización de estos aceros. Las razones por las que estos materiales resultaron satisfactorios fueron:

(a) Aunque su templabilidad es menor que la de los aceros aleados, resulta adecuada para muchas partes, debido a que se reduce el agrietamiento por temple.

(b) El refinamiento de los métodos de tratamientos térmicos, tales como el endurecimiento por inducción y el endurecimiento a la flama, permite obtener mejores propiedades.

(c) Se desarrollaron composiciones nuevas que permitieron más diferencias en la selección.

La versatilidad de los aceros al carbono se ha extendido por la disponibilidad de varios grados de elementos de aleación en bajas concentraciones, tales como plomo, cobre, silicio, molibdeno, vanadio, niobio (Aceros microaleados), etc.

### **2.3.1 ACEROS CON 0.10 A 0.25% DE C (Aceros de bajo carbono)**

Hay tres tipos principales de tratamientos térmicos que se usan para este tipo de aceros:

(a) **Tratamientos acondicionantes, como el recocido en proceso que prepara al acero para ciertas operaciones de fabricación.**

(b) **Carburización. Donde el medio de endurecimiento se hace en caja.**

(c) **Temple y revenido, utilizado para mejorar las propiedades mecánicas. El mejoramiento que se puede lograr en estos aceros por temple continuo y revenido, generalmente no amerita el costo.**

Un ejemplo del recocido es el tratamiento de pernos de acero de bajo carbono cabeceados en frío, hechos de alambre estirado también en frío debilitan las cabezas a tal grado, que se rompen en la porción sometida a trabajo mayor, por acción de una deformación adicional pequeña.

El recocido en proceso mejora esta situación porque las temperaturas usadas están cercanas a la menor temperatura de transformación; este tratamiento ocasiona una reducción considerable de las propiedades mecánicas del extremo del perno que fue cabeceado en frío.

Un tratamiento más convenientes, es el relevado de esfuerzos, a aproximadamente 540°C con el objeto de retener casi

toda la resistencia adquirida en el trabajo en frío y además mejorar la tenacidad. Una práctica común consiste en combinar un tratamiento de relevado de esfuerzo con un temple desde la temperatura de transformación superior, o un poco por debajo de ella, lo que produce propiedades mecánicas que se aproximan a la de los materiales estirados en frío. Un medio de temple común es una solución de aceite "soluble" en agua.

### **2.3.2 ACEROS CON 0.25 A 0.55% DE C ( aceros de medio carbono)**

Estos aceros se utilizan a menudo endurecidos y revenidos, debido a su mayor contenido de carbono. Seleccionando el medio de temple y la temperatura de revenido adecuada, se puede obtener una gran variedad de propiedades mecánicas. De los tres grupos de acero al carbono, son los más versátiles y se usan comunmente para cigüeñales, tirantes y muchas otras partes.

En este grupo de aceros hay un cambio continuo, desde los tipos endurecibles en agua hasta los endurecibles en aceite. La templabilidad es muy sensible a los cambios en la composición química, especialmente al contenido de manganeso, silicio y elementos residuales, y al tamaño de grano; los aceros también son sensibles a los cambios de sección.

La velocidad de calentamiento de las partes a temprar tiene bajo ciertas condiciones, un gran efecto en la templabilidad. Si la estructura no es uniforme debido a un doblado severo o a la ausencia de un normalizado adecuado o de un recocido, un calentamiento extremadamente rápido, como el que se puede obtener con baño líquidos, requerirá un tiempo suficiente para la difusión del carbono y otros elementos en la austenita. Si el tiempo es breve se producirá una dureza no uniforme y/o baja, a menos que se alargue la duración de la austenitización. En el calentamiento de aceros que contienen carburo libre, por ejemplo material esferoidizado, se debe permitir un tiempo de austenitización suficiente para que se realice la disolución de los carburos; de otro modo, la austenita tendrá un menor contenido de carbono que el indicado por la composición química de acero y se puede obtener resultados decepcionantes.

Estos aceros de medio carbono comunmente deben ser normalizados o recocidos antes del endurecimiento, a fin de obtener las mejores propiedades mecánicas después del temple y revenido.

La mayor parte de los tubos, tanto las terminadas en caliente como en frío, se maquinan tal y como se reciben, exceptos los grados de alto carbono que requieren recocidos para reducir dureza.

Los tubos forjados generalmente se normalizan, porque este tratamiento evita el ablandamiento extremo y la reducción de maquinabilidad que resulta del recocido.

### **2.3.3. ACEROS CON 0.55 A 1.00% DE C ( Aceros de alto carbono)**

La aplicación de estos aceros es más restringida que los aceros con 0.25 a 0.55% de C. ya que es más costoso fabricarlos, debido a que su maquinabilidad es menor y la formabilidad y soldabilidad son pobres. Además, cuando están tratados térmicamente son más frágiles. Los aceros de este tipo son adecuados para resortes, en donde se requiere resistencia a la fatiga. Además, se usan en aplicaciones donde la resistencia a la abrasión es el requerimiento principal y se emplean completamente endurecidos.

La mayoría de las piezas hechas de aceros de este grupo se endurecen por temple convencional. Sin embargo, a veces se necesita una técnica especial; como el temple en aceite con agua.

## **2.4 OTROS ELEMENTOS EN LOS ACEROS AL CARBONO**

Otros elementos que son inherentes a los aceros al carbono son:

**A) Manganeso.** Es un elemento que aumenta la dureza y tenacidad de los aceros aunque en menor proporción que el carbono. además se emplea como desoxidante en los procesos de aceración.

**B) Fósforo.** Este elemento proviene, al igual que el azufre, de los minerales usados en la obtención del arrabio ( hierro de primera fusión ) que a su vez, es la materia prima en los procesos de aceración. Tiende a formar un componente estructural en el hierro, llamado esteadita que provoca fragilidad en caliente y, por lo tanto, evita que se consiga un buen tratamiento en aceros con alto contenido de este elemento.

**C) Azufre.** Proviene de los minerales empleados en el procesos de obtención del acero. Provoca fragilidad en frío y en caliente cuando está en alta proporción. Tanto este elemento, como el fósforo, son considerados como impurezas y, así, su efecto, considerado de manera general, es nocivo.

Existen dos elementos que intervienen en la obtención de los aceros, empleados como los principales desoxidantes en la



aceración, estos dos elementos son el aluminio y el silicio. Aún cuando intervienen de manera muy importante, su contenido en los aceros al carbono es relativamente bajo y no son nocivos para las propiedades.

### **2.5 ACEROS INOXIDABLES.**

El común denominador de este tipo de aceros es que tiene en su composición química, un mínimo de 12% de cromo, lo que acarrea el hecho de que presentan una buena resistencia a la corrosión. Con respecto a los aceros de baja aleación, los aceros inoxidables presentan una alta resistencia a la acción de una gran gama de reactivos y a condiciones adversas del medio ambiente tendiendo a mantener inalterada su superficie, o en algunos casos solo requerirán un mínimo de mantenimiento para conservarse.

Estas características conjuntas a una serie de propiedades mecánicas y metalúrgicas han propiciado una importante versatilidad en cuanto a su campo de aplicación, de los cuales podríamos citar: maquinarias y equipos para la industria marina, alimenticia, etc., los cuales serán sometidos a condiciones que ocasionan cualquier degradación de cualquier otro tipo de acero.

**Estos aceros presentan resistencias a la corrosión debido a la propiedad de pasivarse cuando son sometidos a un medio oxidante; esta pasivida consiste en una película superficial de óxido de cromo, invisible, muy adherente y resistente que protege la parte interna del metal de una posterior oxidación o corrosión.**

**Para que estos aceros se mantengan pasivados y sigan presentando una resistencia a la corrosión y oxidación es necesario que prevalezca una condición oxidante en el medio al que se haya sometido el material, tal como el que puede proporcionar una buena ventilación o la circulación del fluido con el cual está en contacto el acero inoxidable.**

**Otra característica de los aceros inoxidables es que son aceros refractarios es decir que resisten la oxidación y la corrosión a temperaturas elevadas, presentando mayormente esta propiedad los aceros ferríticos con alto contenido de cromo, en ambiente tanto oxidante como reductor.**

**En forma general se puede considerar que los principales agentes que tienden a destruir la película de óxido de cromo son los iones de elementos halógenos como cloro y el fluor.**

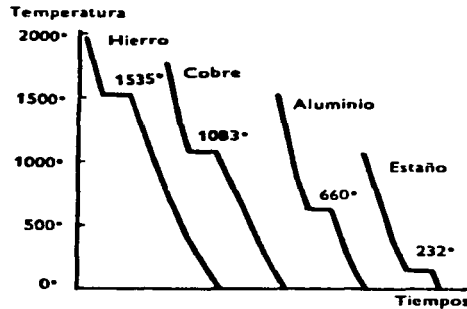
## **2.6           DIAGRAMA HIERRO - CARBONO**

Los aceros que se emplean en la industria son aleaciones y no metales puros como el oro, plata, estaño, entre otros, de sus numerosos componentes, el hierro es el elemento que entra en mayor proporción, y el carbono es el que ejerce más influencia en sus propiedades, características y tratamientos. Este contenido de carbono de los aceros varía desde 0.035% a 1.7%, llegando en algunos casos excepcionales a 2.2% como se menciona anteriormente.

Para facilitar el estudio del diagrama hierro-carbono, que es la representación gráfica esquemática de las transformaciones que ocurren en el enfriamiento y calentamiento lento de estas aleaciones, describiremos primero los fenómenos que ocurren en la solidificación de algunos metales y de algunas aleaciones metálicas.

Si tenemos un metal puro fundido y lo enfriamos dejando que descienda lentamente su temperatura, al observar su enfriamiento vemos que es continuo y uniforme hasta un momento en que la temperatura se estabiliza durante un cierto tiempo. Entonces comienza a verificarse la solidificación del metal y cuando ésta ha terminado, continúa el periodo de enfriamiento hasta la temperatura ambiente con la misma uniformidad que al principio.

Representando este proceso de enfriamiento en un gráfico, en el que las ordenadas señalan temperaturas y las abscisas los tiempos, obtendremos para diversos metales las curvas que se ven en la figura 2.1



Curvas de enfriamiento de diversos metales

Figura 2.1

Todos los aceros pueden considerarse fundamentalmente como aleaciones hierro-carbono, con algunos otros elementos e impurezas.

En los aceros ordinarios, esos elementos suelen ser: el manganeso y el silicio, y las impurezas, el fósforo y el azufre. En los aceros especiales, ciertos elementos se añaden intencionalmente,

como el cromo, wolframio, níquel, etc, para modificar notablemente la constitución y comportamiento de los aceros.

Las aleaciones hierro-carbono sin ningún otro elemento aleado, esta conformado de la siguiente manera; el carbono se encuentra generalmente en los aceros, combinados con el hierro, formando carburo de hierro ( cementita ), que contiene 6.67% de C es decir, que forma una sustancia o compuesto químico de propiedades perfectamente definidas y diferentes de las del hierro y de las del carbono; su fórmula es  $CF_{6.67}$  y está formado por tres partes de hierro y una de carbono.

Siempre que se hable del carbono en los aceros, hay que recordar que está en forma de carburo de hierro ( cementita ) y que siempre los componentes fundamentales del acero, cualquiera que sea su estado de tratamiento, son el hierro y el carburo de hierro.

En las aleaciones hierro-carbono los dos constituyentes son el hierro y el carburo de hierro. Existe una aleación eutéctode ( llamada ledeburita), con 35.5% de hierro y 64.5% de carburo de hierro y, por tanto, de 4.3% de carbono, que es la que tiene el punto de solidificación más bajo.

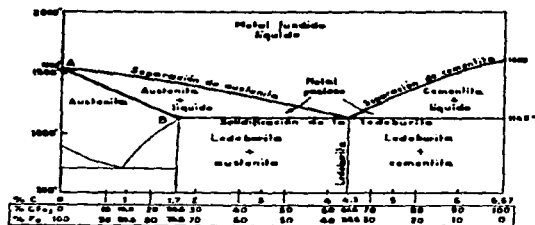


Diagrama hierro-carbono

Figura 2.2

La composición de los cristales de hierro ( con carburo de hierro en disolución) es variable, oscilando el contenido de carburo desde 0 hasta un máximo de 25.5% (1.7% de C). Estos cristales de hierro con pequeñas cantidades de carburo de hierro que se van precipitando a altas temperaturas, se denominan cristales de austenita.

Los aceros ( menos de 1.7% de C ), en el proceso de enfriamiento cuando la temperatura es inferior a 1145°C, todo el metal se encuentra ya en estado sólido, formando una masa homogénea de cristales de austenita.

Al continuar descendiendo lentamente la temperatura, ocurren otros fenómenos de recristalización. Al atravesar el metal

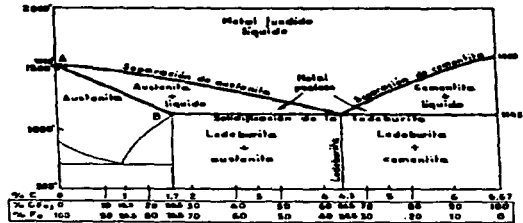


Diagrama hierro-carbono

Figura 2.2

La composición de los cristales de hierro ( con carburo de hierro en disolución) es variable, oscilando el contenido de carburo desde 0 hasta un máximo de 25.5% (1.7% de C). Estos cristales de hierro con pequeñas cantidades de carburo de hierro que se van precipitando a altas temperaturas, se denominan cristales de austenita.

Los aceros ( menos de 1.7% de C ), en el proceso de enfriamiento cuando la temperatura es inferior a 1145°C, todo el metal se encuentra ya en estado sólido, formando una masa homogénea de cristales de austenita.

Al continuar descendiendo lentamente la temperatura, ocurren otros fenómenos de recrystalización. Al atravesar el metal

sólido la zona de temperaturas, comprendidas entre 1.145° y 721°C hay un desdoblamiento de cristales y aparecen nuevos constituyentes, aquí la austenita es sólida.

Al estudiar el diagrama hierro-carbono, se observa que existen para cada acero ciertas temperaturas, en las que en el calentamiento y en el enfriamiento muy lento hay transformaciones de los constituyentes microscópicos.

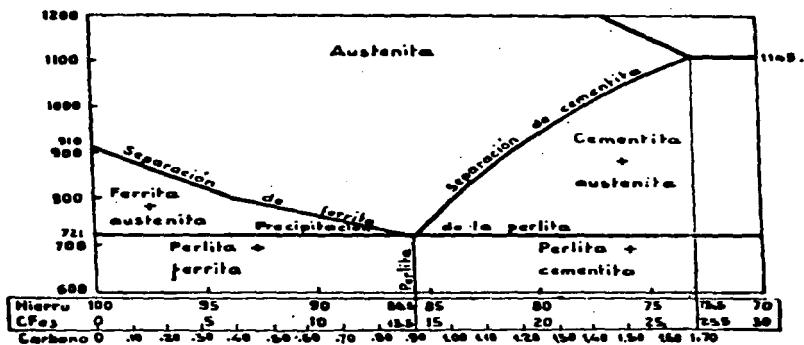


Figura 2.3



### **2.7 ESTADOS ALOTROPICOS Y PUNTOS CRITICOS DEL HIERRO PURO.**

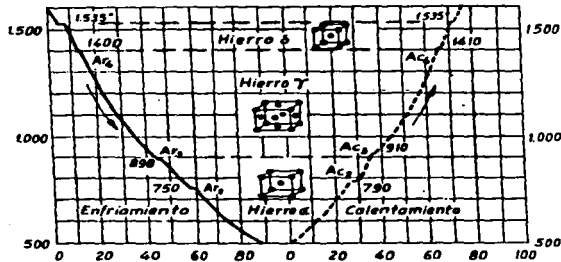
Si se deja enfriar lentamente una muestra de hierro lo más puro posible, desde el estado líquido, se puede observar, que se solidifica instantáneamente a  $1,535^{\circ}\text{C}$ . Al continuar descendiendo la temperatura, no se observa nada anormal en el proceso de enfriamiento, hasta  $1,400^{\circ}\text{C}$ . Entonces se nota una disminución en la velocidad de enfriamiento debida a un desprendimiento espontáneo de calor. Luego, hacia los  $898^{\circ}\text{C}$ , se produce otro nuevo desprendimiento de calor y se aprecia otra disminución en la velocidad de enfriamiento bastante neta y pronunciada.

Hacia los  $750^{\circ}\text{C}$  vuelve a ocurrir otra parada en el enfriamiento, que es ya la última antes de llegar a la temperatura ambiente.

Esas temperaturas en las que ocurren estos fenómenos se llaman puntos críticos y se denomina  $Ar_4$ ,  $Ar_3$ ,  $Ar_2$ , respectivamente.

La parada a  $1,400^{\circ}\text{C}$  ( $Ar_4$ ) corresponde a un cambio alotrópico del hierro que pasa del estado de hierro alfa al de hierro gamma. El punto  $Ar_3$  a  $898^{\circ}\text{C}$ , señala la transformación del hierro gamma en hierro alfa y el punto  $Ar_2$  a  $750^{\circ}\text{C}$ , corresponde a la transformación del hierro alfa no magnético en hierro alfa magnético.

Quando el proceso es inverso y se calienta el hierro desde temperatura ambiente hasta la de 1,550°C, los fenomenos se presentan en forma muy parecida, pero a temperaturas un poco superiores, recibiendo ahora esos puntos criticos los nombres Ac2, Ac3, Ac4. El Ac2 se presenta hacia los 790°C, el Ac3 a los 910°C y el Ac4 a 1.410°C.



Curvas de enfriamiento y calentamiento del hierro puro

Figura 2.4

Las diferencias que existen entre el calentamiento y el enfriamiento, revelan la resistencia, que oponen los sistemas cristalinos a transformarse.

### **2.5 ESPECIFICACIONES o NORMAS DE ACEROS AL CARBONO**

Las especificaciones más empleadas para los aceros al carbono son:

- A) S.A.E. ( Society of Automotive Engineers )
- B) A.I.S.I. ( American Iron and Steel Institute )
- C) A.P.I. (American Petroleum Institute )
- D) A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials )
- E) A.S.M.E. ( American Society for Mechanical Engineers )

De todas, las más empleadas, son las S.A.E, A.I.S.I, y A.S.M.E..

En forma general, se clasifican todos los aceros al carbono bajo una denominación de 4 cifras; las dos primeras, se designan a este tipo de aceros y las dos últimas, dan idea del contenido de carbono, multiplicado por cien.

Tanto las especificaciones S.A.E. como las A.I.S.I. basan su clasificación en el análisis químico, factor que puede verificarse relativamente simple en el laboratorio. Las A.S.M.E. se basan en aspectos mecánicos propios del material, esta última es la que utilizaremos a lo largo del trabajo, ya que aquí el relevado de esfuerzos encuentra sus fundamentos.

Las normas ASME que utilizaremos son:

**Sección I para calderas y tanques**

**Sección VIII para recipientes a presión**

**Sección IX que determina el grupo y tipo de material**

**Sección B.31.1 para tuberías a presión**

**Estas normas nos dan los parámetros para realizar el tratamiento térmico los cuales son:**

- a) Uso o Servicio del producto**
- b) Tipo de material ( P-No ) y grupo al que pertenece (Gr No )**
- c) Temperatura de sostenido**
- d) Tiempo de sostenido**
- e) Velocidad de calentamiento**
- f) Velocidad de enfriamiento**

**Además de indicar notas complementarias y excepciones**

**De la sección I sólo trataremos la parte PW-39, de igual manera de la sección VIII tomaremos la parte UCS-56, las cuales son referentes al tratamiento térmico de relevado de esfuerzos. La sección IX define el tipo y grupo de material, por la dificultad de conseguir las, se considerará que las personas a usar el proyecto de software ya tiene conocimiento de estas.**

# CAPITULO 3

---

TRATAMIENTOS TERMICOS

# CAPITULO 3

---

*TRATAMIENTOS TERMICOS*

### **3.1 GENERALIDADES**

Los tratamientos térmicos tienen por objeto mejorar las propiedades y características de los aceros, estos consisten en calentar y mantener las piezas de acero a temperaturas adecuadas durante un cierto tiempo y luego enfriarlas en condiciones convenientes, de esta forma, se modifica la estructura microscópica de los aceros, se verifican transformaciones físicas y a veces hay también cambios en la composición del metal.

En un tratamiento térmico, ***el tiempo y la temperatura son los factores principales*** y hay que fijarlos de acuerdo con la composición del acero considerando la forma y el tamaño de la pieza y las características que se desean obtener.

### **3.2 TRATAMIENTOS TERMICOS MAS USADOS**

Los tratamientos térmicos más usados son:

El recocido, temple, relevado de esfuerzos, normalizado y revenido.

La figura 3.1 representa gráficamente cada proceso.

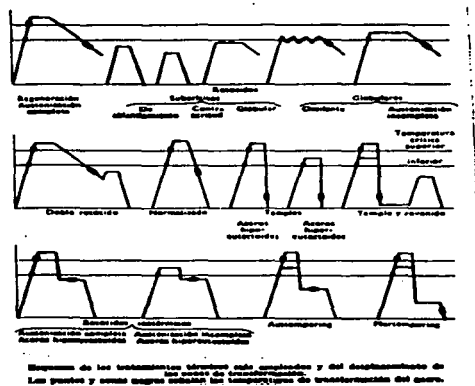


Figura 3.1

**RECOCIDO.** Con este nombre se conocen varios tratamientos cuyo objeto principal es ablandar el acero además de regenerar su estructura o eliminar tensiones internas. Consiste en calentamientos a temperaturas adecuadas, seguidos generalmente de enfriamientos lentos. Las diferentes clases de recocidos que se emplean en la industria se pueden clasificar en tres grupos: Recocidos con austenitización completa, recocidos subcríticos y recocidos con austenitización incompleta.



**TEMPLE.** El temple tiene por objeto endurecer y aumentar la resistencia de los aceros. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior y se enfría más o menos en forma rápida ( según la composición y el tamaño de la pieza ) en un medio como el agua o aceite.

**RELEVADO DE ESFUERZOS.** Este proceso aunque es muy semejante al normalizado, su teoría se describe en el siguiente capítulo.

**NORMALIZADO.** Este tratamiento consiste en un calentamiento a temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior, seguido de un enfriamiento en aire ( se recomienda que sea flujo laminar ), de esta forma, se deja el acero con la estructura, propiedades y características que se consideran como normales de su composición. Se suele utilizar para piezas que han sufrido trabajos en caliente, trabajos en frío, enfriamientos irregulares o sobrecalentamientos, y también sirve para destruir los efectos de un tratamiento anterior defectuoso. Por medio del relevado de esfuerzos se eliminan las tensiones internas y se uniformiza el tamaño de grano de acero de construcción al carbono o de baja aleación.

**REVENIDO.** Es un tratamiento que se le da a las piezas de acero que han sido previamente templadas. Con este tratamiento, que consiste en un calentamiento a temperatura inferior a la crítica  $A_{c1}$ , se disminuye la dureza y resistencia de los aceros templados.

se eliminan tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, quedando además el acero con la dureza o resistencia deseada.

### **3.3 RECOCIDO, TEMPLE Y NORMALIZADO**

Los procesos que se siguen en estos tres tratamientos tienen, entre sí, ciertas semejanzas que conviene destacar conjuntamente, para luego resaltar las características que los diferencian.

En los tres casos se calienta el acero a una temperatura ligeramente superior a la crítica, y luego, después de un período de permanencia a esa temperatura, suficiente para conseguir el estado austenítico, se enfrían las piezas. El enfriamiento es diferente en los tres casos. En los recocidos, se hace muy lentamente dentro de un horno o similar. En los temple, se hace más rápidamente enfriando en agua, aceite, etc. y en los normalizados el enfriamiento se efectúa al aire a una velocidad intermedia entre los temple y recocido. Así **la velocidad de enfriamiento es lo que caracteriza y diferencia principalmente estas tres clases de tratamientos.**

Hay que distinguir en estos procesos tres periodos fundamentales: 1. calentamiento; 2. permanencia a temperatura y 3. enfriamiento.

Las dos primeras fases se pueden estudiar a la vez para los tres pues las variantes que pueden existir son pequeñas.

El calentamiento es la primera fase de todo tratamiento térmico. Las piezas de poco espesor y de formas sencillas se pueden introducir directamente en los hornos calientes a altas temperaturas ( de  $750^{\circ}\text{C}$  a  $850^{\circ}\text{C}$  ), pero en el caso de piezas gruesas el calentamiento debe ser lo más uniforme posible; debe hacerse lentamente para que haya la menor diferencia de temperatura entre el interior y la periferia de la pieza, caso contrario se puede crear fuertes tensiones internas que pueden dar lugar a grietas y roturas. Estas tensiones se crean por la desigualdad de dilatación de las zonas calientes y frías de las piezas y luego por las contracciones que ocurren al atravesar el acero las zonas críticas.

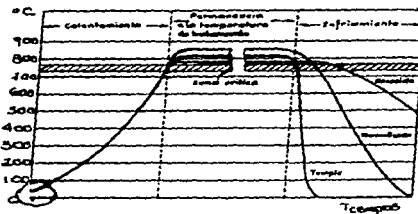


Figura 3.2

Hay que distinguir en estos procesos tres periodos fundamentales: 1. calentamiento; 2. permanencia a temperatura y 3. enfriamiento.

Las dos primeras fases se pueden estudiar a la vez para los tres pues las variantes que pueden existir son pequeñas.

El calentamiento es la primera fase de todo tratamiento térmico. Las piezas de poco espesor y de formas sencillas se pueden introducir directamente en los hornos calientes a altas temperaturas ( de  $750^{\circ}\text{C}$  a  $850^{\circ}\text{C}$  ), pero en el caso de piezas gruesas el calentamiento debe ser lo más uniforme posible; debe hacerse lentamente para que haya la menor diferencia de temperatura entre el interior y la periferia de la pieza, caso contrario se puede crear fuertes tensiones internas que pueden dar lugar a grietas y roturas. Estas tensiones se crean por la desigualdad de dilatación de las zonas calientes y frias de las piezas y luego por las contracciones que ocurren al atravesar el acero las zonas críticas.

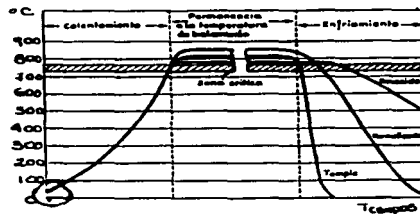


Figura 3.2

Cuando en el calentamiento el acero alcanza aproximadamente los 732°C la perlita que contiene, comienza a transformarse en austenita, y cambia la estructura cristalina del hierro de la perlita, pasando de hierro alfa a hierro gamma, y el acero que hasta entonces se estaba dilatando se contrae mientras dura esa transformación continuando luego otra vez la dilatación.

### **3.3.1 TEMPERATURAS Y DURACION DE CALENTAMIENTO**

En el tratamiento normalizado se hace a temperatura un poco más alta que los otros dos tratamientos, de 50° a 70°C por encima de la temperatura crítica. El temple se realiza de 40° a 60°C y el recocido de 20° a 40°C por encima de la temperatura crítica.

Para conseguir que toda la masa del acero esté, formada por cristales de austenita, hace falta que el acero permanezca a la temperatura de tratamiento.

La duración del calentamiento en los recocidos, temple o normalizado depende de la masa de las piezas, de la temperatura, de la velocidad de calentamiento, de la clase del acero y del estado inicial y final del material.

El tiempo de mantenimiento del acero a la temperatura de tratamiento comienza cuando toda la pieza, incluyendo las zonas del interior, ha alcanzado esa temperatura. Aunque al rebasar el acero las temperaturas  $A_{c3}$  ( figuras 2.4 y 3.4 ), todo el carbono forma solución con la austenita, unas regiones de austenita pueden tener más carbono que otras. Entonces el porcentaje de carbono tiende a igualarse en toda la masa, pero ésta tendencia puede ser retardada por la segregación no metálica que forman barreras entre los granos. Como la difusión del carbono es mucho más rápida a altas temperaturas, para reducir el tiempo de calentamiento podría efectuarse el tratamiento a temperaturas muy superiores a la crítica, pero estos calentamientos dan lugar a un gran crecimiento de los cristales, generalmente se prefiere prolongar un poco su duración y efectuarlo a temperaturas menores.

Cuando el material alcanza la temperatura de austenitización ocurre que aunque toda la estructura sea ya totalmente austenítica, en los primeros momentos todavía la austenita no es completamente homogénea. En los aceros hipoeutectoides hay zonas que anteriormente eran de carburos, y luego cuando alcanzan altas temperaturas, tienen en un principio, alto contenido de carbono. En los aceros hipoeutectoides conviene que transcurra algún tiempo para que el carbono se difunda en las zonas que anteriormente fueron ferríticas.

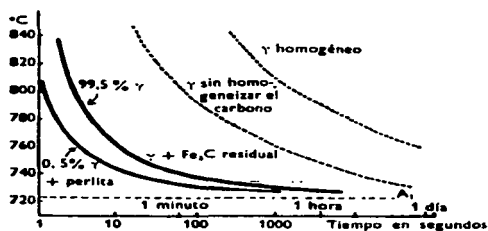
Quando se calientan con austenitización incompleta los aceros hipereutectoides, la austenita que se encuentra junto a los carburos, tiene en general siempre un porcentaje de carbono superior al resto.

El tiempo necesario para obtener una estructura de austenita homogénea, varía con la máxima temperatura alcanzada y con las características particulares de la microestructura inicial. Cuanto más alta sea la temperatura que se alcanza, menos tiempo es necesario para homogenizar la microestructura.

En la figura 3.3 se puede conocer la influencia del tiempo y de temperatura en la austenitización de un acero eutectoide. Si el calentamiento ha sido bastante rápido, el tiempo de permanencia puede ser menor, ya que la penetración del calor habrá sido mejor y la última fase del calentamiento puede considerarse casi parte de la permanencia a temperatura.

La duración del calentamiento depende también de la clase de tratamiento. En los normalizados se recomienda usar permanencias más cortas que en los otros casos. Los recocidos, en cambio, suelen ser más prolongados, pues muchas veces hay que conseguir la formación del estado austenítico, y también la difusión y homogenización de todos los constituyentes, que a veces, sobre todo en los aceros de estructura de fuerte aleación, exige mucho tiempo.

En general, para estos tratamientos, el tiempo de permanencia oscila entre media hora y una hora por pulgada de espesor.



Tiempo necesario para alcanzar en una pequeña pieza de un acero al carbono austenítico ( $C = 0,90\%$ ) diversos grados de austenización. La primera línea (0,5%), señala la primera aparición perceptible de austenita. La segunda línea (99,5%), representa la desaparición casi completa de la perlita, pero quedando todavía algunas zonas de cementita. La tercera línea, indica que toda la masa es ya de austenita aunque hay todavía heterogeneidad en su contenido de carbono. La cuarta línea, señala la homogeneidad completa de la austenita.

Figura 3.3

### 3.4 TEORÍA DEL NORMALIZADO

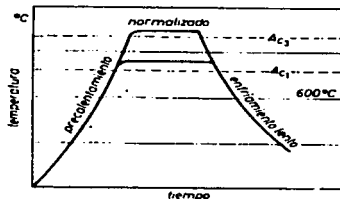
El normalizado es uno de los tratamientos térmicos más sencillos de efectuar, es usado para piezas fundidas, forjadas o mecanizadas, su propósito es de remover el esfuerzo interno inducido por el soldado, fundición, colado o fraguado, modelado o por el mecanizado, como ya se mencionó. Estos esfuerzos de no ser controlados, producen fallas que generalmente se manifiestan en forma de grietas hasta llegar a la destrucción de la pieza o piezas que



lo rodean, en ocasiones se pueden producir explosiones en forma instantánea.

Así como el nombre lo indica, se da este tratamiento a los aceros para que queden con los constituyentes y características que pueden considerarse normales o propios de su composición; por sencillez denotaremos al normalizado como el proceso de calentar el material, a una temperatura especial en cada caso, a la cual los átomos individuales tengan cierta libertad de movimiento y de reorganizarse en una estructura estable, es decir, una estructura con menor energía, como ya se ha mencionado, consiste en calentar a una temperatura un poco por encima del punto superior de transformación  $A_{C3}$  ( en los aceros hipereutectoides, por encima del punto inferior  $A_{C1}$  ) y enfriar después en la atmósfera en reposo.

En la figura 3.4 se representa el curso de la temperatura en el recocido de normalización.



Curso de la temperatura en el recocido de normalización.

Figura 3.4

**La temperatura de normalización depende esencialmente del contenido de carbón del acero en los aceros hipoeutectoides suele ser entre 20ª y 30ªC, más alta que el punto Acs y en los hipereutectoides de 20ª a 30ªC superior a Ac1.**

**En este tipo de recocidos la velocidad de enfriamiento debe ser suficientemente grande para que no vuelva a modificarse la estructura.**

**Una temperatura de normalización excesivamente alta es perjudicial, especialmente en los aceros de uso general.**

**La duración del calentamiento depende de las dimensiones del producto y puede oscilar entre algunos minutos y una hora, a esta duración, hay que sumar el tiempo de mantenimiento de la temperatura de normalización que se necesita para transformar la estructura. Si el tiempo de mantenimiento es muy corto, sólo desaparecerán algunas irregularidades, por otro lado, si el tiempo es demasiado largo, se obtienen estructuras más burdas. Este peligro no se presenta en los aceros de grano fino, que contienen aluminio, silicio, cromo o vanadio, porque son incensibles al sobrecalentamiento.**

**Las aplicaciones de la normalización sirven para eliminar las irregularidades estructurales y las tensiones internas, particularmente de las piezas o productos que soportan**

**solicitaciones fuertes y elementos de la construcción de máquinas, aparatos y recipientes. La normalización produce propiedades mecánicas uniformes de las piezas. En los aceros aleados y no aleados se alcanza un estado llamado normal, en el que pueden compararse las características de resistencia y tenacidad.**

Todas las modificaciones de las propiedades que se hayan producido en el material las elimina el normalizado en tanto que no sean de caracter permanente como por ejemplo las grietas del temple, la laminación excesiva y los fenómenos de quemado por sobrecalentamiento excesivo o por oxidación de los límites del grano, puntos los cuales no vamos a detallar ya que este no es el objetivo.

Así mismo, es muy frecuente aplicar una normalización a las soldaduras de piezas de formas complicadas, ya que los cordones de soldadura presentan las propiedades de una estructura bruta decolada, que se manifiesta en disminuciones de la resistencia a la tracción, y la del alargamiento. El aumento de la sensibilidad de las entalladuras y eliminar las tenciones internas producidas por la aplicación de la soldadura es el objetivo del normalizado.

La figura 3.5 muestra la estructura de un cordón de soldadura, observándose la estructura acicular basta. En la figura 3.6 se ve la estructura de la misma pieza después de la normalización; es de grano fino, uniforme y permite mejores propiedades mecánicas. El Recocido de normalización sólo se aplica

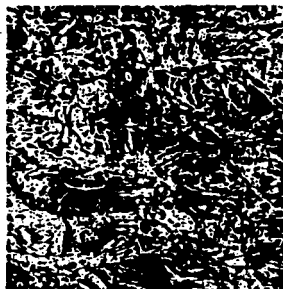
solicitaciones fuertes y elementos de la construcción de máquinas, aparatos y recipientes. La normalización produce propiedades mecánicas uniformes de las piezas. En los aceros aleados y no aleados se alcanza un estado llamado normal, en el que pueden compararse las características de resistencia y tenacidad.

Todas las modificaciones de las propiedades que se hayan producido en el material las elimina el normalizado en tanto que no sean de caracter permanente como por ejemplo las grietas del temple, la laminación excesiva y los fenómenos de quemado por sobrecalentamiento excesivo o por oxidación de los límites del grano, puntos los cuales no vamos a detallar ya que este no es el objetivo.

Así mismo, es muy frecuente aplicar una normalización a las soldaduras de piezas de formas complicadas, ya que los cordones de soldadura presentan las propiedades de una estructura bruta decolada, que se manifiesta en disminuciones de la resistencia a la tracción, y la del alargamiento. El aumento de la sensibilidad de las entalladuras y eliminar las tensiones internas producidas por la aplicación de la soldadura es el objetivo del normalizado.

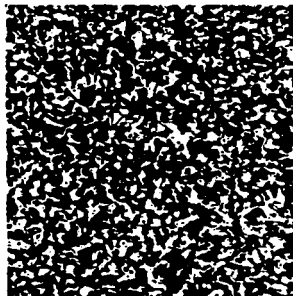
La figura 3.5 muestra la estructura de un cordón de soldadura, observándose la estructura acicular basta. En la figura 3.6 se ve la estructura de la misma pieza después de la normalización; es de grano fino, uniforme y permite mejores propiedades mecánicas. El Recocido de normalización sólo se aplica

a las piezas o productos soldados cuando el cordón debe presentar una resistencia mayor al 90 % de la del material base, es decir cuando el factor de soldadura deba ser mayor al de 0.9.



Estructura de sobrecalentamiento en un cordón de soldadura (250 aumentos).

Figura 3.5



Estructura del cordón de soldadura de la figura 2-2 después de normalizado (250 aumentos).

Figura 3.6

# CAPITULO 4

---

*RELEVADO DE ESFUERZOS*

#### **4.1 GENERALIDADES**

Como ya mencionamos anteriormente cualquier proceso de fabricación que se relaciona con presiones o con aplicaciones de calor desiguales causan una reacción o modificación a nivel atómico de los cristales, la cual se traduce en un esfuerzo residual después de haber eliminado o retirado la carga de deformación. Los procesos industriales que modifican estos cristales o que los cambian de orientación son los de modelado, maquilado, soldado, entre otros.

Los esfuerzos internos o residuales son esencialmente los mismos que si fueran producidos por cargas externas, provocando fracturas en el producto. Así mismo, si un producto que se haya soldado, no se releva antes de entrar en servicio, en un periodo corto presentará rupturas, fallas o corrosión por cargas relativamente bajas, así, al relevar una pieza, se ayuda a prolongar su vida útil.

Este proyecto se enfoca en el relevado de esfuerzos de los aceros al carbón, por ser estos los más usados en la industria, para otros tipos de aceros las especificaciones se pueden encontrar también dentro de las Normas ASME.

#### **4.2 FINALIDAD DEL RELEVADO DE ESFUERZOS**

El relevado de esfuerzos tiene por objeto:

1. Reducir o eliminar esfuerzos térmicos residuales generados durante la operación de soldar ( figura 4.1 ) Los esfuerzos térmicos son producidos por las altas temperaturas del arco eléctrico y por la expansión del material localizado en la zona afectada por el calor. La presión ejercida por esta expansión comprime al material próximo a la zona fría, generándose en esta forma esfuerzos térmicos por la diferencia de temperaturas.

2. Eliminar zonas endurecidas por absorción de nitrógeno y oxígeno del aire, por incremento del contenido de carbono en el metal depositado. Las zonas endurecidas pueden ser removidas por calentamiento del material a una temperatura suficiente para provocar que las partículas de carbono finamente divididas entren en solución y se precipiten en partículas de forma esferoidal más grande, ya que la forma del esferoidizado es más suave y dúctil.

3. Fomentar el relajamiento por reducción de la resistencia a la cedencia en el material. El relajamiento se produce a una temperatura superior a  $538^{\circ}\text{C}$ , y por tanto, los esfuerzos de contracción se alivian.



4. Reducir la dureza del material como resultado del ciclo de enfriamiento controlado.

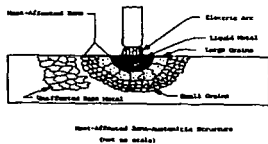
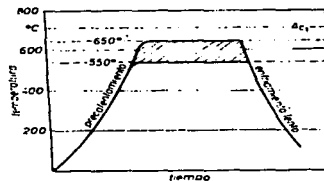


Figura 4.1



Curso de la temperatura en el recocido de eliminación de tensiones.

Figura 4.2

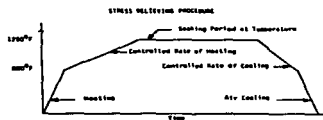


Figura 4.3a

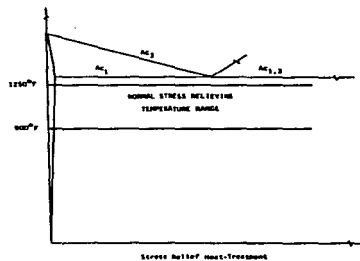


Figura 4.3b

### **4.3 CUANDO EFECTUAR EL RELEVADO DE ESFUERZOS**

En general, un relevado de esfuerzos se aplica a aceros al carbono desde 3/4" (19 mm) de espesor y esfuerzos mínimos de tensión de 280kg/cm<sup>2</sup>, a aceros al carbón-molibdeno de 1/2" (13 mm) de espesor o mayor.

Los aceros al cromo, cromo-molibdeno, al níquel y al cromo-níquel, deben ser relevados de esfuerzos, exepctuando aquellos casos donde se especifique no ser obligatorio, ya que en caso contrario el material puede ser transformado y adquirir gran dureza.

### **4.4 RELEVADO DE ESFUERZOS**

El relevado de esfuerzos el cual es muy semejante al normalizado y en ocasiones se consideran uno solo, consiste en calentar a una temperatura por debajo del punto crítico Ac<sub>1</sub>, según figura 4.3b, la mayoría de las veces inferior a 650°C ( 1333°F ) y teniendo las medidas necesarias para que la temperatura no se eleve más allá del límite para evitar el cambio de fase a perlita ya que se produciría un aumento en el grano causando diferencias de volumen,

posteriormente se enfría lentamente. ( las figuras 4.2 y 4.3 muestran el curso de la temperatura, para la mayoría de los aceros, se mantienen tiempos entre 30 a 120 minutos a temperaturas de 550°C y 650°C ), de la misma manera pueden existir tratamientos con tiempo de sostenido superiores a las 10 horas, esto es debido a que el tiempo de sostenido entre otros factores depende del espesor del material.

Las soldaduras también deben de relevarse ya que el relevado de esfuerzos le proporciona las siguientes características:

- 1) Mayor ductibilidad en el metal de soldadura y una disminución en la dureza
- 2) Mejora la resistencia a la corrosión y fragilidad cáustica
- 3) Mejora la estabilidad durante el maquillado
- 4) Alivio de esfuerzos naturales

Generalmente y avalado por experiencias empíricas se estima para el relevado de esfuerzos una hora por cada pulgada de espesor de la pared del producto, aunque podría ser evidente pensar que a más bajas temperaturas dentro del intervalo para relevar esfuerzos se necesitaría mayor tiempo para obtener el mismo resultado, no siempre es así ya que en el trabajo de campo los parámetros pueden ser variados según las necesidades que predominen en ese momento, por lo que podemos decir que las normas nos sirven como una guía de lo que realmente se va a

conseguir, en muchas ocasiones los parámetros teóricos no se cumplen ( por la misma razón que ya se mencionó antes ), pero si se consigue el mismo efecto.

#### **4.5 METODOS PARA RELEVAR ESFUERZOS**

##### **POR HORNO**

Para ensambles o conjuntos soldados grandes y complicados, la temperatura debe ser controlada y uniforme para asegurar un relevado apropiado. Normalmente se utiliza gas como combustible.

##### **POR RESISTENCIA**

En este método se utilizan resistencias enrolladas alrededor del material y conectadas a una fuente de energía. figura 4.4 Las resistencias son protegidas con aislamientos térmicos para reducir pérdidas, el calentamiento es complementado por convección de calor, desde la resistencia al material.

Este es el método que se adoptó para este proyecto, debido a que el equipo utilizado es fácilmente transportable y es ajustable a la pieza o piezas con las que se trabajan ( reactores, tuberías, tanques, entre otros ) además de ser el más utilizado en la industria.

### **POR INDUCCION**

Es el sistema más refinado para relevar esfuerzos; el calor es generado directamente por el mismo material y las pérdidas de calor por radiación puede controlarse mejor que con otros métodos.

El calentamiento tiene propiedades magnéticas por el uso de bobinas de inducción, resultado de histéresis en el material y pérdidas de corriente Eddy. En materiales no magnéticos, únicamente la pérdida de corriente Eddy proporciona el medio de calentamiento, actualmente se ha generalizado el uso de frecuencias de 400 Hz debido a la precisión para controlar el calor.

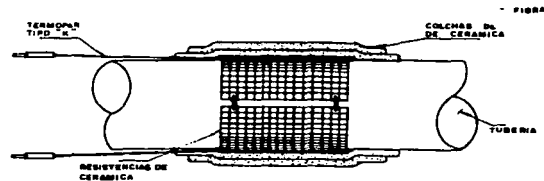


Figura 4.4

#### **4.6        NORMAS ASME Y ANSI/ASME**

Las especificaciones para tratamientos térmicos de los aceros al carbono nos indican los siguientes puntos:

1. Verificar que el material se encuentre incluido en la sección IX.
2. No debe realizarse el tratamientos térmico a menor temperatura que la establecida en cada una de las tablas.
3. En caso de no alcanzar la temperatura indicada, consultar las tablas alternas para estos casos ( PW 39.1 o UCS 56.1 ).
4. Cuando se unen dos o más piezas por soldadura, la tabla a usar será la del material que requiera la mayor temperatura.
5. Cuando partes no presurizadas son soldadas a partes presurizadas, la temperatura será la indicada por la parte presurizada.
6. El espesor nominal de las tablas pueden ser: el espesor de la soldadura, el espesor del material o el máximo espesor de las secciones a ser unidas.
7. La temperatura de mantenimiento especificadas en las tablas no son necesariamente continuas, estas pueden ser

**acumulaciones de tiempo de múltiples ciclos de tratamientos térmicos**

**8. En el caso de las soldaduras el tratamiento térmico puede ser ejecutado bajo 3 métodos:**

**a) Calentando el ensamblado o pieza como si fuera una sóla.**

**b) Calentando secciones del ensamblado.**

**c) En casos donde el recipiente sea tratado por secciones, el tratamiento térmico de la última junta puede ser hecha calentando uniformemente una banda circunferencial, teniendo en cuenta cubrir un ancho mínimo de 3 veces el espesor del plato o tapa por cada lado, de esta manera se asegura la temperatura y tiempo especificados en las tablas.**

**9. En los casos de un tratamiento térmico local de uniones de tuberías, tubos, escapes, el ancho de la banda circunferencial calentada que cumpla con los requisitos de temperatura y tiempo de sostenido, debe ser 3 veces el ancho de la parte más ancha de la cintilla de soldadura, pero en ningún caso menor a 2 veces.**

**10. Arriba de 800°F, la relación de calentamiento no debe ser mayor a 400°F/hr dividido por el máximo espesor del cuerpo o de la tapa en pulgadas, pero en ningún caso mayor de 400°F. Durante**

el periodo de calentamiento no debe haber variaciones de temperatura mayor de 250°F en un intervalo de longitud de 15 pies ( seccion VIII ) a lo largo del producto que va a ser calentado.

11. Durante el periodo de mantenimiento las variaciones no deben ser mayor a los 150°F entre la máxima y mínima temperatura, excepto cuando lo permitan las tablas.

12. Arriba de los 800°F el enfriamiento no debe ser mayor de 500°F/hr, dividido por el máximo espesor y en ningún caso más de 500°F/hr; a partir de 800°F, se puede dejar enfriar al aire libre ( seccion VIII ).

13. Las relaciones de calentamiento y enfriamiento no deben ser menor a 100°F/hr.

#### **4.7 PROCEDIMIENTOS PARA EFECTUAR EL RELEVADO DE ESFUERZOS**

Para efectuar el relevado de esfuerzos es necesario considerar los siguientes puntos:

1. El diseño estructural
2. Las condiciones de operación



3. Las propiedades de los fluidos por manejar
4. La composición química del material
5. El espesor y la longitud de las uniones

El relevado de esfuerzos debe ser especificado para cada material en las condiciones de trabajo dadas. Por tanto, deberá ajustarse a un programa de relevado de esfuerzos con las fases y efectos que a continuación se describen ( puntos 1 a 6 ).

#### **1. Extensión o área de trabajo**

Quando un recipiente se releva de esfuerzos por secciones, las uniones de cierre perimetrales serán relevadas por calentamiento uniforme de una banda circunferencial con un ancho mínimo de 6 veces el espesor de la placa sobre cada lado de la costura de la soldadura; en tuberías, la banda circunferencial será por lo menos 3 veces la amplitud de la parte más abierta de la ranura soldada, pero en ningún caso menor que 2 veces el ancho del cordón de refuerzo ( 4.6-9 ).

#### **2. Control de velocidades de calentamiento**

Como los esfuerzos térmicos son causados por la expansión del material en una zona localizada, si la temperatura de

relevado se elevara rápidamente, se correría el riesgo de transmitir esfuerzos tan grandes como los alcanzados con la temperatura del arco eléctrico, distribuidos en forma irregular y muy apartados de la unión soldada. Para que esto no suceda es necesario tener un control sobre la velocidad de calentamiento que deberá ser lenta ( 4.6-10 ).

### **3. Temperatura y tiempo de relevado**

La temperatura de relevado se encuentra aproximadamente 38°C abajo del límite crítico o de transformación.

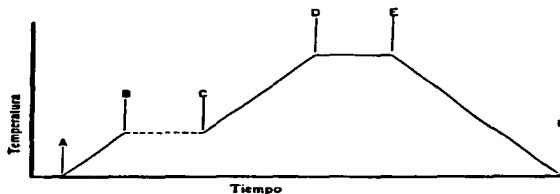
El límite crítico o de transformación es el intervalo de temperatura durante el enfriamiento que en el calentamiento y el tiempo de relevado depende del espesor propio al material. En general, el tiempo es de una hora por pulgada ( 25 mm ) de espesor, asegurando una distribución uniforme de calor a través del espesor del material y proporcionando un relajamiento completo para aliviar los esfuerzos residuales.

### **4. Control de la velocidad de enfriamiento.**

El control de la velocidad de enfriamiento reduce la acción del temple que tendería a formar partes duras en el material, también

contribuye a reducir la dureza. Una velocidad de enfriamiento uniforme evitará la formación de nuevos esfuerzos ( 4.6-12 ).

La figura 4.5 muestra un programa para el control de calentamiento y relevado de esfuerzos por inducción.



- |          |   |
|----------|---|
| A-B      | Elevación de temperatura hasta alcanzar la de precalentamiento.   |
| B        | Desmagnetizado eléctrico del material por selección manual.   |
| B-C      | Tiempo para soldar a nivel de precalentamiento.   |
| C-D      | Elevación de temperatura a velocidad controlada hasta alcanzar la de relevado.  |
| D-E      | Tiempo de relevado controlado automáticamente.  |
| E-F      | Descenso de temperatura con velocidad controlada.   |
| C-D-E-F- | Control automático completo, después de seleccionar en C la velocidad de calentamiento, tiempo de relevado y velocidad de enfriamiento. |

Programa maestro para el control del calentamiento y relevado de esfuerzos por inducción

Figura 4.5

### **5. Determinación de la potencia eléctrica y resistores eléctricos**

La potencia necesaria en kilowatts se obtiene multiplicando el diámetro del producto por el espesor de la pared, (en pulgadas) este resultado se divide entre el voltaje de la resistencia a utilizar, el resultado nos dá el amperaje necesario para el proceso, este resultado se divide entre el amperaje que proporciona la resistencia, dando como resultado final el número de resistencias necesarias.

### **6. Colocación de las resistencias y termopares**

#### **a) Termopares**

Deberá seleccionarse el cable termopar adecuado para el rango de temperatura.

Se recomienda el uso de 2 termopares como mínimo en tuberías de 6" de diámetro y 0.750" de espesor, deberán colocarse a 180° uno del otro.

Colocar los termopares a 1.5 veces el espesor del material, en ambos lados de la línea de centro de soldadura.

**Remover pintura o cualquier otro material existente en la zona de colocación del termopar.**

**Fijar los termopares.**

### ***b) Resistencias***

Estas son colocadas alrededor del material (cubriendo por lo menos 2 veces el ancho de la cintilla de soldadura de cada lado), conectándose eléctricamente en serie entre sí, según lo muestran las figuras 4.4 y 4.6

Una vez colocadas las resistencias, estas son revestidas con colchonetas de fibra cerámica que deberán cubrir un área mayor que el de las resistencias, de esta forma se aíslan térmicamente del medio ambiente para evitar la pérdida de calor y potencia que se le aplica al tratamiento.

## ***7. Elaboración de la gráfica del proceso***

Es importante para realizar el relevado de esfuerzos y determinar la curva de calentamiento los siguientes puntos:

**a) Velocidad de la temperatura de levantamiento**

No se debe de elevar la temperatura más 550°F / hora entre el máximo espesor del material (ASME sección I).

No debe incrementarse la temperatura más de 600°F / hora dividido entre 0.5 el espesor máximo del material (ANSI B 31.1).

No debe de incrementarse la temperatura más de 400°F/hora dividido entre el máximo espesor del material (ASME sección VIII).

**b) Tiempo de sostenido de temperatura**

Se deben consultar las tablas de las normas ASME para relevado de esfuerzos.

**c) Velocidad de la temperatura de enfriamiento**

Desconectar la fuente de calor después de terminado el tiempo de sostenido, mantener bajo aislamiento hasta que la temperatura disminuya a 800°F, posteriormente se procede a retirar el aislamiento y permitir enfriamiento a temperatura ambiente (ASME secciones I, VIII, B.31.1).

No deber enfriarse más de 600°F / hora, dividido entre 0.5 el máximo espesor del material ( ANSI/ASME B. 31.1 ).

No deber enfriarse a más de 500°F. / hora, dividido entre el máximo espesor del material cuando la temperatura sea mayor de 800°F ( ASME sección VIII ).

Después de obtener estas especificaciones, se grafica la temperatura vs tiempo.

### **8. Comparación de parámetros teóricos y prácticos**

Aunque ya se mencionó que la comparación de estos parámetros entre si nunca coinciden, es necesario analizarlos para poder formar un criterio del comportamiento real y de alguna forma poder estimar una relación de eficiencia.

### **9. Pruebas de verificación**

Para fines de este proyecto sólo se menciona que la prueba más usada es la de Dureza Rockwell, no se analiza por no formar parte del objetivo principal.

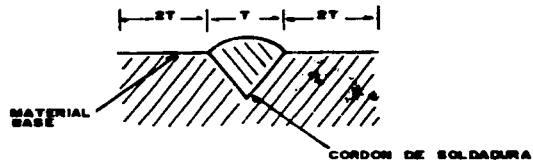


Figura 4.6

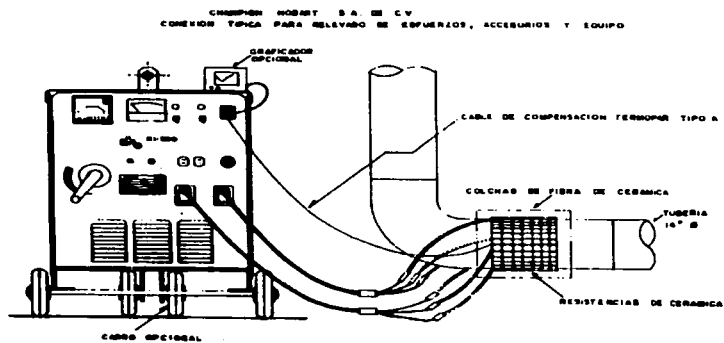


Figura 4.7



# CAPITULO 5

---

*MAQUINAS RELEVADORAS DE ESFUERZOS*

### **5.1 IDENTIFICACION DEL EQUIPO**

Se describen las características de un modelo RI 150 de Champion, el cual cuenta con una placa de características que contiene datos como modelo, capacidad, número de serie, etc.

### **5.2 DESCRIPCION DEL EQUIPO.**

Consiste básicamente de un transformador trifásico acoplado a un puente rectificador lo que permite transformar el voltaje de línea (220 ó 440 V) a una corriente directa rectificada por un puente formado por 6 diodos de silicio, esta corriente es suministrada a las resistencias por medio de contactores magnéticos a través de conectores tipo hembra.

Este transformador es de características de corriente constante. El ajuste de la corriente se realiza por medio del giro de una manija que mueve el núcleo móvil y que proporciona los rangos de corrientes para cada necesidad.

**Esta máquina está diseñada y construida para trabajar conectada a un circuito trifásico de 220 ó 440 V a 60 Hz y proporciona un amplio rango de corrientes: de 50 a 550 A C.D.**

**Exteriormente la unidad presenta un gabinete compacto con panel frontal y consta de las siguientes partes ( figura 5.1 ).**

**(1) Controlador programable de temperaturas con rango de 0°-1372°C (32° - 2500°F) que permite realizar precalentamientos o postcalentamientos en forma manual o automática, con entrada para termopar tipo K.**

**(2) Amperímetro, con rango de 0-600 A conectado a las terminales de salida, que permite visualizar la corriente de soldadura o relevado de esfuerzos para su ajuste.**

**(3) Interruptor principal de dos posiciones: encendido-apagado, energiza el ventilador y da línea al interruptor de selección de proceso.**

**(4) Lámpara indicadora del interruptor principal.**

**(5) Interruptor para selección de proceso. Tres posiciones, relevado de esfuerzos, punto neutro y soldadura. En la posición superior se energiza el controlador de temperatura programable y el equipo está en condición de realizar un proceso de tratamiento**

térmico. en la posición central se tiene el punto neutro, en la posición inferior se energiza el contactor principal y la máquina puede soldar con cualquier tipo de electrodo revestido.

(6) Lámpara indicadora de proceso termico (6). se enciende cuando se aplica corriente a la carga.

(7) Entrada de termopar tipo K para procesos de tratamiento térmico y salida para graficador.

(8) Conector para conexión en paralelo. En procesos de tratamiento térmico este conector permite la conexión en paralelo de controladores de temperatura de dos o hasta doce máquinas, para realizar un sólo tratamiento térmico (relevado de esfuerzos) el programa deber ser el mismo en cada controlador y el arranque ser simultaneo.

(9) Fusible de 10 A. 115 V. Protección circuito de control.

(10) Fusible de 1 A. 115 V. Protección para el controlador de temperatura programable.

(11) Contactos auxiliares, 115 V. Permite seleccionar la corriente de soldadura o corriente para la carga resistiva requerida.

(12) Manija de ajuste de corriente. Permite seleccionar la corriente de soldadura o corriente para la carga resistiva requerida.

(13) Bornes. Para conexión del cable porta-electrodo y cable de tierra; o para conexión de cables para cargas resistivas en el proceso de tratamiento térmico.

(14) Placa de características. Datos técnicos del equipo.

(15) Rejillas de ventilación. El sistema de ventilación es de "tiro forzado" y opera al accionar el interruptor de la máquina.

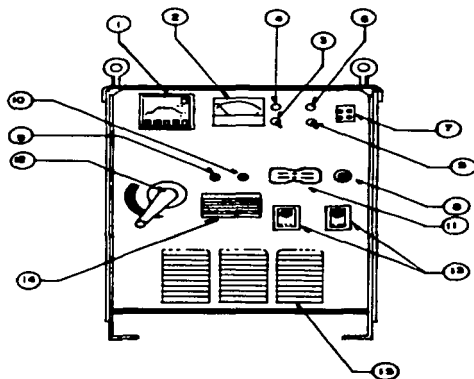


Figura 5.1

**Para la alimentación de energía, esta máquina cuenta con tres cables rematados con terminales o zapatas conectoras las cuales se encuentran en la parte posterior de la máquina y que son el medio de conexión entre la máquina y los conductores de alimentación, (a la protección).**

**Esta unidad cuenta con dos cáncamos (orejas de levantamiento), ubicadas en la parte superior para su transporte con grua o montacargas. Las unidades con carro transportador formado por ruedas embaladas de 6 1/2 ", con llantas de hule macizo tienen la ventaja de hacer de fácil el manejo sobre cualquier superficie.**

### **5.3 INSTALACION DEL EQUIPO**

**Conectar a un circuito trifásico de 440 ó 480 V, a 60 Hz. Para obtener las mejores características del equipo, seleccione cuidadosamente el sitio de instalación, teniendo en cuenta un espacio alrededor de la máquina de por lo menos 30 cm, así como también se debe de revisar las aberturas de ventilación para que no se encuentren obstruidas.**

**Asegurar que todos los suministros de energía y tierra física estén correctamente conectados.**

**Para la conexión a tierra física, usar los cables adecuados, y nunca conectar a tubos que contengan líquidos inflamables.**

#### **5.4 CONEXIONES**

**En la tapa lateral se encuentra un tornillo de latón, para conectar el gabinete a tierra mediante la instalación de un tramo de cable o alambre de cobre ( ver calibre en la tabla 5.1 ) a una barra metálica de un sistema de tierra física; nunca se debe de conectar la tierra física al neutro de la línea de alimentación.**

**Asegurar que todos los suministros de energía y tierra física estén correctamente conectados.**

**Para la conexión a tierra física, usar los cables adecuados, y nunca conectar a tubos que contengan líquidos inflamables.**

#### **5.4 CONEXIONES**

**En la tapa lateral se encuentra un tornillo de latón, para conectar el gabinete a tierra mediante la instalación de un tramo de cable o alambre de cobre ( ver calibre en la tabla 5.1 ) a una barra metálica de un sistema de tierra física; nunca se debe de conectar la tierra física al neutro de la línea de alimentación.**



---

**ALIMENTACION DE 220 V**

Amperaje	100
Calibre AWG Alim	No.2
Calibre AWG Tierra	No.6

---

**ALIMENTACION DE 440 V**

Amperaje	50
Calibre AWG Alim	No.8
Calibre AWG Tierra	No.8

**Tabla 5.1**

Al proceder a la conexión comprobar que las conexiones del tablero correspondan al voltaje de alimentación del circuito al que se conecte el equipo, para esto la unidad cuenta con una placa de conexiones que indica la posición de los puentes para 220 ó 440V, esta se encuentra impresa en la tapa lateral derecha de la unidad, si no corresponden hacer los cambios que indiquen las placas.

***Conexiones primarias.***

El cable de las conexiones primarias debe ser de un calibre adecuado según la corriente que toma el transformador para lo cual se debe seleccionar el cable en la tabla No. 5.2, la cual muestra los calibres mínimos para cada caso:

Amperaje	30 M	45 M	60 M
100	No. 2 ó 4 AWG	No. 1 AWG	No. 1/0 AWG
150	No. 2 ó 4 AWG	No. 1/0 AWG	No. 2/0 AWG
200	No. 2 AWG	No. 2/0 AWG	No. 3/0 AWG
250	No. 1/0 AWG	No. 3/0 AWG	No. 4/0 AWG
300	No. 1/0 AWG	No. 4/0 AWG	No. 250 MCM AWG
400	No. 2/0 AWG	250 MCM AWG	No. 300 MCM AWG
500	No. 3/0 AWG	300 MCM AWG	No. 500 MCM AWG

Tabla 5.2

La conexión entre cables alimentadores y las puntas terminales de la unidad deben ser firmes y correctamente aisladas a fin de evitar falsos contactos, calentamiento de los cables o cortos circuitos.

El equipo debe conectarse en un circuito debidamente protegido con fusibles del 150% del valor de su corriente a plena carga. Además de estar protegido, el circuito debe tener la capacidad suficiente (conectores) para evitar sobrecargas que ocasionan reducción en el voltaje de alimentación y por lo tanto alteran las características de operación de la máquina.

**Conexiones secundarias.**

Las conexiones secundarias parten de los bornes (terminales secundarias) con que cuenta la máquina y se encuentran ubicados en la tapa frontal de la unidad, recomendándose que las conexiones sean hechas por medio de zapatas conectoras que permiten un contacto firme entre los bornes y los cables y porta-electrodo y tierra o cables de alimentación para cargas resistivas en tratamientos térmicos (precalentamiento y postcalentamiento).

Los cables secundarios deben ser de una longitud máxima de 30 M (90' aprox.) para el circuito completo (equivalente a la suma de la longitud de los cables porta-electrodo y trabajo), sin embargo, en casos especiales puede seleccionarse la longitud y calibre que se requiera.

### **5.5 PROTECCION AL OPERARIO**

Como todo proyecto de Ingeniería, hay que tomar en cuenta los aspectos técnicos y prácticos, económicos, sociales, ecológicos y en este caso los aspectos de seguridad industrial, por tal motivo se indican 4 recomendaciones básicas.

1. El operador debe de encontrarse lo suficientemente protegido a fin de prevenir las quemaduras ocasionadas por falta de equipo de seguridad, este consiste de guantes, camisas o mangas y delantales de asbesto, zapatos dieléctricos y lentes de seguridad, además de contar con un extintor cercano.

2. No tocar con la mano descubierta la tubería o resistencias al finalizar un proceso de relevado de esfuerzos, ya que la temperatura final de estos elementos oscila entre 300° y 400°C.

3. No intentar enfriar con agua las resistencias colocadas en la tubería o recipiente, ya que se puede dañar el material y generar una descarga eléctrica.

4. Contar con un equipo de primeros auxilios.

## **5.6 OPERACION**

Para lograr una correcta operación de la máquina relevadora de esfuerzos es necesario familiarizarse con algunos conceptos básicos y conocer las características del diseño; con este fin, se describen a continuación los conceptos más importantes:

*Ciclo de trabajo:* En una máquina se define como la relación entre el tiempo que puede mantenerse en trabajo. P. e. en un periodo de diez minutos significa cuantos minutos de diez puede mantenerse trabajando una máquina dentro de sus límites de capacidad.

*Ciclo de trabajo ( relevado de esfuerzos 100%):* Un ciclo de relevado de esfuerzos actua intermitentemente, debido a que el controlador de temperatura tiene un ajuste de 32 segundos para un ciclo de calentamiento, por lo que automáticamente se le proporciona a la máquina intervalos de descanso y puede trabajarse al 100% un proceso de relevado de esfuerzos.

*Corriente a plena carga:* Es el valor en amperes de la corriente que circula en el circuito al que se conecta la máquina cuando esta se encuentra trabajando a su capacidad nominal.

*Potencia de entrada a plena carga:* Energía que consumen las máquinas cuando trabajan a su capacidad nominal.

Después de haber realizado todas las conexiones, tanto primarias como secundarias de acuerdo con las recomendaciones, se puede trabajar el equipo accionando el interruptor, una vez que se ha seleccionado el proceso: soldadura o relevado de esfuerzos con el interruptor la unidad está lista para iniciar el trabajo. Verificar en todo momento que el ventilador esté funcionando adecuadamente.

### **5.7 COLOCACION DEL TERMOPAR**

El termopar debe ser exclusivamente del tipo K ya que las conexiones internas de la máquina son de este tipo.

Existen dos tipos de termopar tipo K para relevar esfuerzos:

- a) Fibra de cerámica
- b) Tubular

El termopar de fibra de cerámica se fija en el cordón de soldadura y es el método más preciso que se tiene actualmente para monitorear la temperatura.

Al realizar un relevado de esfuerzos dejar un termopar extra, ya que en la práctica si se tiene problemas con el termopar de trabajo únicamente se cambia al termopar extra.

Para fijar el termopar se utiliza el fijador de termopares.

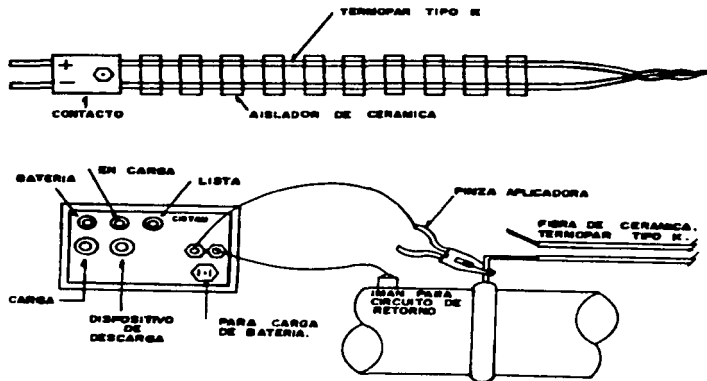


Figura 5.2

# CAPITULO 6

---

*SENSORES PARA RELEVADO DE ESFUERZOS*



## **6.1           MEDICIONES Y ERRORES**

### **6.1.1 GENERALIDADES**

Las mediciones involucran la utilización de un instrumento como un medio físico para determinar el valor o magnitud de una variable, este medidor sirve como extensión de las facultades humanas, así mismo a medida de que la tecnología evoluciona, el hombre demanda el desarrollo de instrumentos más exactos y precisos, esto nos indica que no se puede efectuar una medición en forma perfecta, y a la vez nos induce en errores provenientes de diferentes fuentes que normalmente se clasifican bajo tres categorías principales:

a) Errores Brutos: Comprenden errores humanos, como malas lecturas, ajuste incorrecto, errores de cálculo, etc.

b) Errores Sistemáticos: Son generados por los instrumentos, tal como mal funcionamiento, desgaste de elementos o defecto de ellos.

c) Errores al Azar: Causados directamente por variaciones al azar en el parámetro o en el sistema de medición.

A medida de que estos errores sean minimizados, las lecturas tomadas serán más confiables.

## **6.2 Transductores, elementos de entrada a los sistemas de instrumentación**

### **6.2.1 TRANSDUCTORES Y SU CLASIFICACIÓN**

Un sistema de instrumentación electrónico consiste de un número de componentes los cuales se usan para realizar una medición y registrar el resultado, este sistema consiste generalmente de 3 elementos principales:

Dispositivo de entrada. Este recibe la cantidad bajo medición y la entrega al acondicionador de señal en forma de onda eléctrica proporcional a la entrada.

Acondicionador de la Señal; Aquí se amplifica, filtra o modifica la señal para que sea aceptada por el dispositivo de salida.

Dispositivo de Salida. Este puede ser un medidor indicador, un registrador, etc. para tener despliegue visual, así

mismo se puede conectar a una computadora digital para el monitoreo, análisis y manipulación de datos o el proceso de control.



Figura 6.1

La cantidad de entrada de la mayoría de los sistemas de instrumentación generalmente no es eléctrica, para poder realizar una medición, esta debe de convertirse a una señal eléctrica por medio de un dispositivo llamado transductor. Un transductor es un dispositivo que actuado por energía en un sistema de transmisión, suministra energía en la misma o en diferente forma a un segundo sistema de transmisión, en donde la energía puede ser eléctrica, mecánica, química, óptica o térmica.

Tomando en cuenta lo anterior, existen varias clasificaciones de transductores, algunas de ellas son:

- aplicación
- método de conversión de energía
- naturaleza de la señal de salida

**sensores pasivos**  
**sensores activos**

Sin embargo el transductor que a nosotros nos interesa debido a la naturaleza del proceso, es el termopar, este genera una fem cuando la unión de dos metales o semiconductores diferentes se calientan, así el termopar encuentra su aplicación en la medición de temperatura, flujo de calor y radiación.

### **6.2.2 SELECCION DEL TRANSDUCTOR**

La selección del transductor apropiado, es el paso más importante en la obtención de resultados exactos, así, existen varios factores o características que deben de considerarse para la selección, a continuación se mencionan algunos de ellos.

a) Parámetros fundamentales: Tipo y rango de la medición, sensibilidad, resolución, excitación, entre otros.

b) Condiciones físicas: Conexiones eléctricas y mecánicas, condiciones de montaje y resistencia a la corrosión .

c) Condiciones operacionales: Efectos de no linealidad, de histéresis, respuesta en frecuencia, etc.

d) Medio ambiente: Efectos de la temperatura, vibraciones, choques, humedad, altura, corrosión, etc.

e) Compatibilidad: Con el equipo que se está usando, condiciones de balance nulo, tolerancias de sensibilidad, acople de impedancias y resistencia de aislamiento entre otros.

### **6.3 EL TERMOPAR**

#### **6.3.1 GENERALIDADES**

El termopar consiste de un par de alambres metálicos disímiles unidos en un extremo (comunmente llamado unión sensora o caliente) y terminados en el otro extremo (unión fría) la cual se mantiene en una temperatura constante (temperatura de referencia). Cuando existe una diferencia de temperaturas entre la unión sensora y la referencia, se produce una fuerza electromotriz (fem) que origina una corriente eléctrica en el circuito.

Quando la unión de referencia termina en un medidor o instrumento registrador (figura 6.2), la indicación del medidor será proporcional a la diferencia de temperaturas.

La magnitud de la fem térmica depende de la combinación de los materiales usados en los alambres. la figura 6.3 muestra las fem térmicas para materiales comunes en termopares. La combinación de hierro y constantan es conveniente utilizarla para temperturas de hasta 900°C, La de cromel y alumel ( aleación de níquel y cromo + aluminio y níquel ) para temperaturas no mayores de 1,150°C, la de platino y rodio-platino es adecuada para operar hasta 1,600°C.

Cabe mencionar que la salida de la terminal fria es de pocos milivolts, y requiere un dispositivo altamente sensible para medir el voltaje; como lo es un voltmetro digital o un potenciómetro de precisión. El termopar no responde rápidamente a los cambios instantaneos de temperatura con respecto al tiempo.

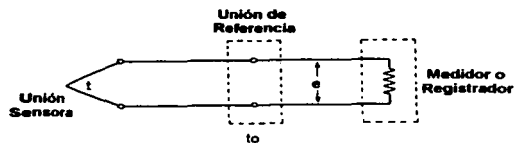


Figura 6.2

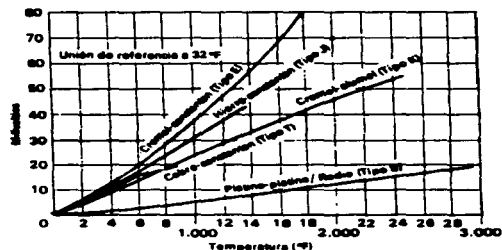


Figura 6.3

### 6.3.2 SENSADO DE TEMPERATURAS

El sensado y la transducción de temperatura por medios termoelectrónicos se basa en el efecto de Seebeck ( Thomas J. Seebeck, 1770 - 1831, físico Germano ): cuando dos conductores diferentes A y B ( ver figura 6.4 ) conforman un circuito unidos por sus extremos, una corriente fluirá en ese circuito a lo largo de los conductores según sea la diferencia de sus temperaturas, uno se encuentra a temperatura T y el otro se encuentra a temperatura mayor  $T+\Delta T$ , la corriente fluirá desde A hasta B en la unión fría cuando el conductor A es positivo con respecto a B. Dos efectos están relacionados al

efecto de Seebeck. (1) Cuando una corriente fluye a través de la unión de dos conductores diferentes, se libera o se absorbe calor en la unión, dependiendo de la unión de la corriente ( efecto Peltier ). (2) Cuando una corriente fluye a través de un conductor en donde existe un gradiente de temperatura, se libera o se absorbe calor a lo largo del alambre ( efecto Thomson ).

El circuito termopar se basa en el efecto de Seebeck. Dos conductores diferentes se unen en donde se mide la temperatura ( unión sensora ) y ambas terminales se unen a un punto de misma temperatura, el cual se conoce su valor ( punto de referencia ). A pesar que la referencia del termopar puede ser cualquiera, usualmente se mantiene a la temperatura del hielo (  $0^{\circ}\text{C}$  ). Las curvas de calibración de termopares normalmente se basan en lo anterior para tener una unión de referencia de temperatura, y los conductores son designados como positivos ( P ) y negativos ( N ) cuando la temperatura medida  $T$  es mayor que la temperatura de referencia  $T_{\text{ref}}$  ( figura 6.5 ). La conexión entre el punto de referencia y la carga  $R_L$  ( a través del cual se obtiene un voltaje en función a la temperatura sensada ) puede ser un alambre de cobre.

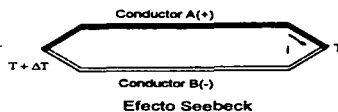


Figura 6.4



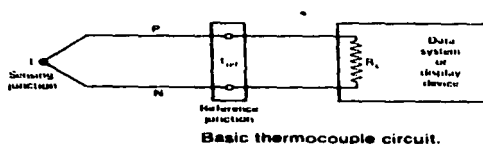


Figura 6.5

Cuando la carga ( medidor o sistema de datos ) se encuentra a distancia considerable de la unión sensora, es económico y funcional usar extensiones de termopares. Este tipo de alambre se fabrica de materiales que marcan las características muy aproximadas de  $fem$  vs temperatura y también transfiere la referencia de la unión del lado termopar al lado de la carga de los alambres de extensión. ( figura 6.6 ) Como dato adicional se puede decir que la extensión de un termopar se aplica a una disatnacia en donde la temperatura no exceda los  $400^{\circ}F$ , aunque existen excepciones.

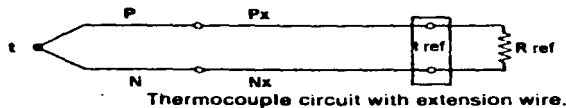


Figura 6.6

Existe más teoría al respecto como lo son las leyes de temperaturas intermedias y las de metales intermedios, los cuales describen la forma de compensar los deslizamientos de los puntos de referencia ( punto frío ), pero no se van a tocar debido a que no son el tema principal de esta tesis y además con los nuevos termopares, estos ya tienen un sentido muy exacto y en su fabricación se contempla que debe existir un sistema de compensación para todo el rango de funcionamiento que se especifica.

La magnitud del potencial térmico ( fem Térmico ) producido por un termopar depende del material y de la diferencia de temperatura de la unión. La tabla 6.1 muestra diferentes valores en mV teniendo como referencia el otro material de platino y la temperatura de 0°C. Se puede ver en esta tabla que la polaridad de algunos materiales es negativa arriba de 0°C, debido a las características físicas y químicas y el costo de los materiales, es más indicado usar aleaciones que cumplan con las especificaciones para este tipo de uso. El potencial termoeléctrico producido por el termopar es la diferencia algebraica de los dos potenciales; si cada material fuera combinado con platino, por ejemplo el fem producido por la combinación de Cromel y Constantan ( tipo K ) a 500°C es  $+16.21 - (-4.43) = 20.64$  mV.

**Fem térmico (mV) de conductores relativos al platino,  $t_{ref}$  0°C**

Material Conductor	Temperatura de unión $t$ (°C)					
	- 200	0	+ 200	+ 500	+1000	+1400
<b>Metales puros</b>						
Aluminio (Al)	+ 0.45	0	+ 1.06	+ 3.93		
Antimonio (Sb)		0	+ 10.14	+ 25.10		
Bismuto (Bi)	+ 12.93	0	- 13.57			
Cadmio (Cd)	- 0.04	0	+ 2.35			
Cobalto (Co)		0	- 3.08	- 9.35	- 14.21	
Cobre (Cu)	- 0.19	0	+ 1.83	+ 6.41	+ 18.16	
Germanio (Ge)	- 46.0	0	+ 72.4	+ 63.5		
Oro (Au)	- 0.21	0	+ 1.84	+ 6.29	+ 17.05	
Iridio (Ir)	- 0.25	0	+ 1.49	+ 4.78	+ 12.57	+ 20.47
Hierro (Fe)	- 2.92	0	+ 3.54	+ 6.79	+ 14.28	
Molibdeno (Mo)		0	+ 3.19	+ 10.20	+ 27.74	
Nickel (Ni)	+ 2.28	0	- 3.10	- 6.16	- 12.11	
Paladio (Pd)	+ 0.81	0	- 1.23	- 3.84	- 11.61	- 20.40
Rodio (Rh)	- 0.20	0	+ 1.61	+ 5.28	+ 14.02	+ 22.99
Silicio (Si)	+ 63.13	0	- 80.57			
Plata (Ag)	- 0.21	0	+ 1.77	+ 6.36		
Tantalo (Ta)	+ 0.21	0	+ 0.93	+ 4.30	+ 15.15	
Tungsteno (W)	+ 0.43	0	+ 2.62	+ 9.30	+ 27.73	

**Aleaciones de Termopares  
Estandar**

Cromel(KP, EP)	- 3.36	0	+ 5.96	+ 16.21	+ 32.47	+ 44.04
Alumel (KN)	+ 2.39	0	- 2.17	- 4.43	- 8.78	- 11.77
Constantan (JN, EN, TN)	+ 5.35	0	- 7.45	- 20.79	- 43.85	
Pt-13% Rh (RP)		0	+ 1.47	+ 4.47	+ 10.50	+ 16.04
Pt-10% Rh (SP)		0	+ 4.23	+ 4.23	+ 9.58	+ 14.37

Tabla 6.1

Los termopares más usados y disponibles han sido estandarizados en los EUA por la ANSI, bajo el standar MC96.1 revisada en 1982, esta incluye los códigos de color, tipo de designación, terminología, medidas, límites de error, apéndices, fabricación de recubrimientos, procedimientos de chequeo, selección e instalación.

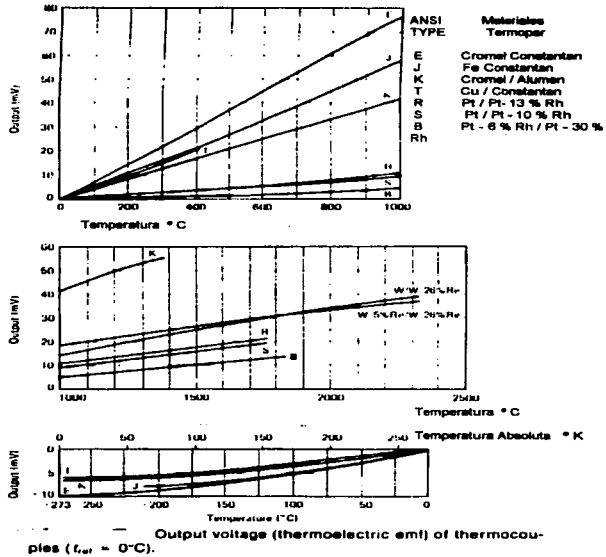


Figura 6.7

Las curvas de fem vs temperatura se muestran en la figura 6.7 para algunos de los termopares más usados, las aleaciones más comunes de termopares son: Cromel ( 90% Ni10% Cr ), Constantan ( 55% Cu, 45% Ni ), y el Alumen ( 95% Ni, 2% Al, 2% Mn, 1% Si ). La aleación de Tungsteno-Rhenium actualmente se utilizan para mediciones de altas temperaturas. Generalmente un termopar comercial genera una salida de entre 20 a 50 mV a lo largo de su intervalo de operación.

Cabe mencionar que los materiales con los que son fabricados los termopares fueron seleccionados de manera que el efecto de Thomson pueda ser disminuido, así la salida generada por el termopar es la suma de las dos generadas por el efecto Peltier.

El termopar de interés para nosotros es el tipo K, ya que cubre con un intervalo de temperaturas adecuado para el relevado de esfuerzos, este alcanza un valor nominal de 650°C. En la actualidad existen varios fabricantes de termopares los cuales varían un poco su rango de operación para cada tipo, por ejemplo, en termopar tipo K de Honeywell encuentra sus límites dentro de -200°C a 1,370°C, basándose en el standar IEC84.1: 197.

### **6.3.3 TIPOS DE TERMOPAR**

Existen comercialmente varios tipos de termopares dependiendo de su aleación y rango de operación, en esta parte sólo se mencionan algunos.

Cualquier tipo de combinación de 2 metales conductores sirven como termopar, sin embargo, estas combinaciones poseen una relación razonablemente lineal entre fem y temperatura, estas deben generar una fem por grado de cambio de temperatura, el cual es sentido con un equipo electrónico. En muchas ocasiones deben ser físicamente capaz de soportar altas temperaturas, rápidos cambios de temperatura y los efectos del ambiente corrosivo, apartir de lo anteriormente expuesto, estos requerimientos son especificados, así que no cualquier combinación de metales sirve satisfactoriamente para todo tipo de condiciones.

**Tipo J** ( hierro - constantan ). Estos termopares se deben usar para propósito general, pero a temperaturas superiores a 1,400°F. en atmósfera de oxidación ( exceso de oxígeno libre ) o de reducción ( falta de oxígeno libre ) tienen una alta sensibilidad de milivolt/cambio de temperatura, son de los más económicos.

**Tipo K** ( níquel, cromo-níquel, aluminio ). Su uso se especifica cuando se requiere de un sensor para mediciones de temperatura en donde el costo es moderado, este se aplica en

atmósferas de oxidación ya que en la completa ausencia de oxígeno ( atmósfera de reducción ) tiene tendencia a alterar las características termoelectricas de los alambres termopares causando pérdida de exactitud, el número 8 AWG se recomienda para usos de 2,100°F.

**Tipo E** ( nickel, cromo-constantan ). Este tipo provee la mayor relación de millivolts/cambio de temperatura, esta relación lo hace especial en donde se requiere una sensibilidad muy alta para rangos cortos o medir diferenciales de temperatura, se usa arriba de 1,600°F.

**Tipo T** ( cobre-constantan ). Se aplica en atmósferas de reducción y oxidación, la ventaja sobre los otros es que miden rangos de temperaturas bajos ( -300° a +600°F ) abajo de los 0°F, su estabilidad y precisión es muy alta.

**Tipo N** ( nicrosil nisol ). Provee una estabilidad térmica superior, es de mayor y mejor exactitud para largos periodos de tiempo que el de tipo K, es más resistente a los ambientes de corrosión y de reducción, su rango es de 32° a 2,300°F.

Para seleccionar el tamaño del alambre del termopar no hay una regla en general que pueda ser aplicada. Cuando se requiere sensibilidad los más delgados son los adecuados; así, cuando se requiere larga vida para ser usadas con altas temperaturas los más recomendables son los gruesos.

# CAPITULO 7

*SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS*



## **7.1 DEFINICION**

Un Sistema de Adquisición de Datos o Data Acquisition System ( DAS ) se puede definir a groso modo como un método utilizado para la obtención o adquisición de cualquier tipo de datos, usualmente un DAS denota un grupo de dispositivos electrónicos que están interconectados para realizar medidas y cuantizar las señales analógicas eléctricas para ser procesadas en forma digital, dicho de otra manera el DAS es una interface electrónica entre señales analógicas y digitales. Estas señales digitales pueden ser procesadas por cualquier dispositivo que maneje la lógica binaria, como un controlador numérico, un PLA, una computadora digital, etc.

## **7.2 DESCRIPCION DE UN SISTEMA TIPICO**

Basados en la definición anterior, pueden existir diferentes tipos de DAS, desde el más sencillo ( como lo es un voltmetro digital, que visualiza una salida en forma de valor numérico ) hasta los más complejo, basados en microcontroladores y microprocesadores.

En la figura 7.1 se muestra un sistema típico basado en una microcomputadora y describiendo las partes que lo conforman.

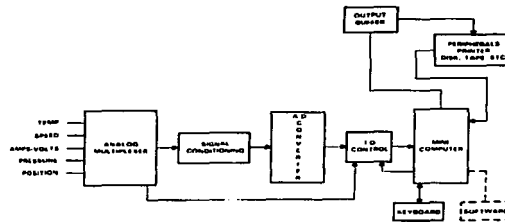


Figura 7.1

**Transductor o Sensor.** ( no ilustrado ) Convierte las acciones físicas como temperatura en señales eléctricas.

**Acondicionamiento de Señal.** Filtra, modifica y amplifica la señal, usualmente siempre prosigue al Multiplexor, pero puede existir uno por cada señal que llega al sistema.

**Mux Analógico.** Su función es la de seleccionar una de las señales que llegan al sistema; se puede fijar una de ellas o se puede monitorear todas pero en tiempos diferidos.

**Convertidor A/D.** Convierte las señales analógicas a formato digital.

**Control I/O.** Genera el sistema de interrupción ( excepción ) y el de reloj, controla las funciones de READ/WRITE de la memoria.

**PC.** Sistema digital basado en microprocesadores que contienen: unidad de memoria, unidad de salida y entrada, y unidad de CPU; el cual está controlado mediante un software específico.

**Buffer de Salida.** Usualmente llamado controlador de periféricos. Combina los datos generados por la PC con la señal del periférico de salida.

**Periféricos.** Impresoras, floppy disk, cintas magnéticas, discos ópticos, modems, displays, etc.

En el sistema anteriormente descrito, si se sigue la secuencia en forma inversa desde la pc hasta el mux, se pueden conectar actuadores, convirtiendolo en un sistema totalmente automatizado.

### **7.3 USOS BASICOS DEL DAS**

Existen cuatro usos básicos del DAS, en donde encuentra su potencial pleno, estos son:

1. **transportación de datos**
2. **análisis de señales**
3. **pruebas automatizadas**
4. **control de procesos**

Siendo el último el de interés para el relevado de esfuerzos, en donde hay que controlar el proceso de calentamiento del producto y sus parámetros asociados.

El tratamiento térmico por muchos años se ha controlado por medios manuales en donde la intervención del hombre es constante, hoy en día, los procesos pueden ser monitoreados, se pueden realizar lecturas, cálculos y proveer una retroalimentación en forma instantánea al operador o supervisor.

A medida de que las computadoras sean más complejas, mayor número de desiciones serán hechas por estas. La figura 7.2

ilustra un sistema tipico de control de procesos automatizados por computadora.

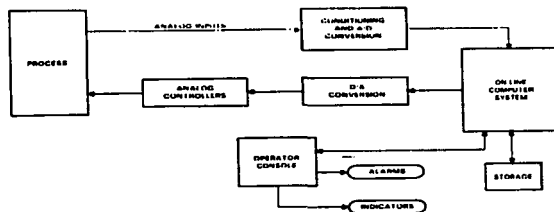


Figura 7.2

#### **7.4 DAS DEL SISTEMA DE RELEVADO DE ESFUERZOS**

La teoría correspondiente al DAS es muy extensa e interesante, sin embargo sólo se han mencionado las ideas principales de su funcionamiento. En realidad para el objetivo que se persigue el DAS es únicamente el medio por el cual los diferentes dispositivos relacionados directamente con el proceso interactúan entre sí.

**Por otra parte y en relación a lo ya descrito, se pueden identificar 4 partes fundamentales del DAS para el relevado de esfuerzos.**

**A) Etapa Sensora. (Termopar tipo K )**

**B) Etapa de Acondicionamiento de la Señal.  
Máquina relevadora de esfuerzos**

**C) Sistema de Control.  
Monitoreo, manipulación, corrección y  
visualización del proceso por medios electrónicos**

**D) Dispositivos periféricos.  
Comunicación con impresoras, graficadores, plotters, etc.**

**La figura 7.3 muestra el DAS del relevado de esfuerzos.**

CHAMPION ROBERT S.A. DE C.V.  
CONEXIÓN TÍPICA PARA RELEVADO DE ESFUERZOS, ACCESORIOS Y EQUIPO

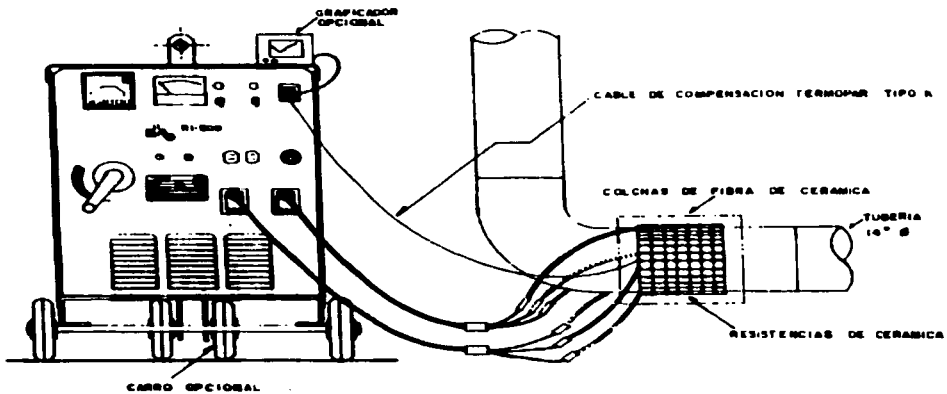


Figura 7.3

# CAPITULO 8

---

COMUNICACIONES ENTRE PC'S



## **8.1 GENERALIDADES**

La transmisión de datos es el proceso de comunicar información en formato binario desde un punto a otro. La transmisión de datos es también llamada comunicación entre computadoras debido a que la mayor parte de la información que se intercambia son hechos entre computadoras o entre computadoras y sus terminales, tal como impresoras y dispositivos periféricos. Así la transmisión de datos tiene gran significado hoy en día, ya que se usa en la industria, en el comercio y en el hogar.

## **8.2 DESCRIPCION GENERAL DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES**

Un sistema de comunicaciones puede ser descrito en término de 3 componentes:

El transmisor ( llamado fuente ); El medio de transmisión ( llamado canal ); El receptor ( llamado receptor ). La mayor parte de las veces un equipo de comunicación, puede transmitir y recibir información al mismo tiempo.

### **MENSAJES Y CANALES DE TRANSMISION**

Existen 4 elementos para comunicar cualquier cosa:

1. El mensaje o información
2. Un emisor del mensaje
3. Un medio o canal por el cual se envia el mensaje
4. Un receptor

El medio de transmisión debe ser adecuado al tipo de mensaje que se envia.

Existen varias metodologias de comunicación entre sistemas digitales, siendo el enlace serie RS 232-C es el más conocido y utilizado entre sistemas de cómputo que se pueden considerar como pequeños por la cantidad de información que manejan, este método de enlace define la interfase entre dos equipos que utilizan la transferencia tipo binario-serie.



Bit format used for sending asynchronous serial data.

Figura 8.1

**Para intercomunicar una microcomputadora con una línea de serie de datos deben de convertirse a una forma paralela, ya que el CPU trabaja con datos en paralelo. Un registro de corrimiento puede realizar esta conversión ya sea entrada paralela salida serial ó entrada serial salida paralela. Y como siempre debe de tomarse en cuenta de no transmitir a una velocidad mayor a la del receptor ya que la información no se leerá correctamente.**

**En ocasiones para enviar datos en serie a lo largo de grandes distancias el camino más conveniente es usar las líneas telefónicas ya que la infraestructura junto con las conexiones ya están instaladas, estas líneas telefónicas tienen un ancho de banda desde los 300 hasta los 3.000 Hz, por tanto las señales digitales de la forma de la figura 8.1 no pueden ser directamente transmitidas por el standar telefónico, así que la solución a este problema es de convertir la señal digital a tonos de audio-frecuencia, los cuales se encuentran dentro del rango en que las líneas telefónicas puedan transmitir. El dispositivo usado para realizar esta conversión y regenerar la información digital es el Modem ( Modulador - Demodulador ).**

**Existen situaciones en que los equipos a enlazar están muy próximos entre si, en este caso, el empleo del modem no es necesario, el enlace en este caso es mediante conexión directa de un cable, llamado modem nulo, entre los dos equipos. Es necesario considerar que el RS 232-C se dedica a emitir y recibir datos de una cara a un**

modem, por tanto es necesario emular cada una de las líneas proporcionadas originalmente para el modem.

Por otro lado también existe la comunicación serie por medio del enlace RS 422-A, este standar se define para transmisión de velocidades más grandes que las usadas en el RS 232-C, es decir mientras el RS 232-C se recomienda para distancias cortas de 50 ft ( sin repetidor ) y velocidad de transmisión de 4,800 bauds ( normalmente ), el RS 422-A es utilizado para distancias sumamente mayores que el anterior, así mismo la velocidad de transmisión puede variar desde 300 Kbps a 10,000 Mbps, además que puede actuar con varios receptores que a diferencia del RS 232-C sólo actúa con uno,

## **8.2 COMUNICACION SINCRONA Y ASINCRONA**

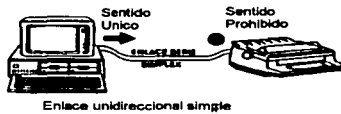
Existen 3 modos principales de transmisión de datos en un enlace tipo serie estos son: simple, semiduplex y duplex.

**El modo simple** transmite datos sólo en un sentido, basta con disponer para este enlace de un par de hilos ( la señal y la referencia ).

**El modo Semiduplex** indica que la transmisión puede ser en cualquier dirección del sistema pero sólo en forma alternada y en un sentido a la vez.

**En el modo duplex** cada sistema puede tener y enviar datos al mismo tiempo, en este caso es necesario disponer de dos pares de hilos para el transporte de datos. figuras 8.2, 8.3 y 8.4

Los datos pueden ser enviados en forma sincrónica o asincrónica. Para la **transmisión sincrónica** los datos son enviados en blocks a una tasa constante de tiempo; es necesario que el receptor detecte el principio y el fin de cada dato, así como bits de paridad para evitar la alteración de la información debido a parásitos eléctricos en la línea de transmisión.



Enlace unidireccional simple

Figura 8.2



Enlace unidireccional alternado semiduplex

Figura 8.3



Enlace bidireccional duplex total

Figura 8.4

**En la transmisión asíncrona cada carácter de datos tiene un bit que identifica el inicio y 1 ó 2 que marcan el fin, debido a que cada carácter es enviado en forma individual en cualquier momento se le llama transmisión asíncrona. La figura 8.1 muestra el formato de los bits utilizados para transmisión asíncrona serie.**

**Figura 8.5**

# CAPITULO 9

---

*RELEVADO DE ESFUERZOS ASISTIDO POR COMPUTADORA*

## **9.1 INTRODUCCION**

En estos tiempos de cambios vertiginosos, de avances científicos y tecnológicos cada vez más acelerados suena un nuevo término, automatización. Este término significa que las computadoras están siendo integradas en la industria, comercio y hogar, teniendo más aplicación en la industria, debido a que todos los procesos de fabricación tienden a ser automáticos, algunos de los objetivos principales de la automatización son:

1. Búsqueda de costos más bajos para el producto, por medio de la reducción de los gastos de mano de obra, economía de material, energía, tiempo, etc.
2. La supresión de los trabajos peligrosos para el hombre.
3. Búsqueda de una mejor calidad del producto terminado.
4. Controlar operaciones no posibles manualmente.
5. Control de procesos desde diferentes puntos de ubicación.

Los objetivos anteriores pueden ser controlados y monitoreados por un software desarrollado para cada una de las



diferentes actividades, através de una o varias computadoras a las cuales se les puede conectar interfases de propósito general o específico. Así la industria puede tener un mainframe o varias supermicrocomputadoras que sirven a grupos de usuarios, estaciones de trabajo individuales, computadoras portátiles, etc., de manera que todas estas computadoras se comuniquen en forma ordenada entre sí, definiendo señales, equipos, standars y sistemas de comunicación entre computadoras.

Este capítulo conjunta la teoría para el desarrollo de un sistema de programación asistido por computadora (software). Su principal objetivo es ayudar a cualquier usuario relacionado con la industria metal-mecánica en el cálculo de los parámetros de un proceso cualquiera. Estos parámetros facilitarán la estimación de presupuestos y el control paso a paso.

### 9.3 ALCANCE DEL SOFTWARE

El software del relevado de los esfuerzos está enfocado a proporcionar los parámetros necesarios para efectuar un proceso apegado a la teoría, cabe recordar que muchas son las variantes que pueden influir para seguir un criterio diferente al propuesto por el

diferentes actividades, a través de una o varias computadoras a las cuales se les puede conectar interfases de propósito general o específico. Así la industria puede tener un mainframe o varias supermicrocomputadoras que sirven a grupos de usuarios, estaciones de trabajo individuales, computadoras portátiles, etc., de manera que todas estas computadoras se comuniquen en forma ordenada entre sí, definiendo señales, equipos, standards y sistemas de comunicación entre computadoras.

Este capítulo conjunta la teoría para el desarrollo de un sistema de programación asistido por computadora (software). Su principal objetivo es ayudar a cualquier usuario relacionado con la industria metal-mecánica en el cálculo de los parámetros de un proceso cualquiera. Estos parámetros facilitarán la estimación de presupuestos y el control paso a paso.

## **9.2 ALCANCE DEL SOFTWARE**

El software del relevado de los esfuerzos está enfocado a proporcionar los parámetros necesarios para efectuar un proceso apegado a la teoría, cabe recordar que muchas son las variantes que pueden influir para seguir un criterio diferente al propuesto por el

software, sin embargo, cualquiera de los métodos seguidos debe cumplir con las normas de dureza y calidad requeridas por la industria.

El Relevado de Esfuerzos Asistido por Computadora, se basa en los elementos básicos de capítulos anteriores, así como en las Normas ASME, las cuales marcan los parámetros prácticos que se utilizan en la industria.

Destacan como parámetros importantes: **1.** El tipo de servicio que presta el material ( Calderas, Recipientes a presión o Tuberías a presión ). **2.** El tipo de material que se utiliza ( de los diferentes códigos que se utilizan en la industria, ASME proporciona un equivalente ). **3.** El espesor del material. **4.** Los tiempos y las temperaturas de sostenido. **5.** Velocidades de calentamiento y enfriamiento. **6.** Notas que nos marcan algunas consideraciones y excepciones.

El programa tiene la capacidad de generar una tabla teórica tiempo-temperatura la cual puede ser graficada posteriormente por medio de cualquier software con manejador de gráficos, tal como los paquetes Lotus, Excel o Harvard Graphics.

El usuario puede seleccionar los siguientes datos que le proporciona el software:

- A) Tipo de servicio del recipiente o tubería.  
Define la sección de las Normas ASME a ser utilizadas.
- B) Tipo de material.  
Material debe estar contenido dentro de ASME sección IX.
- C) Espesor de la pieza.
- D) Diámetro externo.
- E) Velocidad de inicio.
- F) Velocidad de calentamiento.
- G) Velocidad de enfriamiento
- H) Características eléctricas del resistor
- I) Termopares requeridos
- J) Potencia requerida
- K) Amperaje de salida
- L) Resistores requeridos

M) Temperatura de sostenido

N) Tiempo de sostenido

O) Tiempo total de relevado

P) Valores que generan una tabla tiempo-temperatura para ser graficada

Los incisos A) a H) son datos que necesitan ser especificados al software, el resto son resultado de diferentes cálculos. Todos estos valores son mostrados en una pantalla de resultados.

## **9.3 ESTRUCTURA GENERAL DEL SOFTWARE**

### **9.3.1 INTRODUCCION.**

El desarrollo del software se realizó tomando en cuenta los principios y técnicas de la programación estructurada, las cuales facilitan el desarrollo y el mantenimiento del código, así como conservar la consistencia y la modularidad. Específicamente el

diseño topdown, nos indica la manera de como identificar el problema y aislarlo en subprogramas para poder resolver cada uno de ellos en forma individual, la suma de la solución de cada módulo, conformará una solución sencilla y efectiva.

### **9.3.2. DESARROLLO**

El objetivo del software es de aumentar la productividad del usuario. La computadora debe de automatizar las tareas que consumen más tiempo y proporcionar resultados.

El desarrollo del software se realizó bajo los puntos que se indican, así como la observación constituyó un refuerzo de los conocimientos del proceso.

1. Se realizó un estudio que determinó la estructura de la aplicación.

Para determinar los requisitos de este proyecto, se entrevistaron a varios profesionales de la industria metal-mecánica. Mismos que aportaron sus conocimientos y comentarios a este tipo de actividad, tanto prácticos, como referente a las normas que rigen este proceso. Se conjuntaron los datos prácticos con los teóricos.

**para crear un software flexible capaz de satisfacer los requisitos básicos.**

**2. A la programación se le dedicó tiempo para generar un código que fuera claro, robusto, mantenible, modular y transportable.**

**3. El mantenimiento del software es el proceso de ajuste de los programas. Esto puede significar arreglar programas que no funcionen correctamente; para que se ejecuten en forma más amigable o proporcionar funciones que antes no existían.**

**4. El diseño descendente consiste en comenzar por la estructura general para ir detallando cada vez más, a medida que se va desarrollando el diseño.**

**En primer lugar se debe identificar las principales funciones que vamos a llevar a cabo. Una vez identificadas, cada una de ellas se divide en funciones menores. Este proceso se puede repetir varias veces hasta que lleguen a un nivel codificable.**

**5. La programación modular es el proceso de dividir las secciones de código en pequeños módulos, idealmente estos módulos deben de ser independientes entre sí, con paso de información entre ellos como parámetros y que regresen un valor o valores de una función.**

**6. La ventaja de la modularidad es que facilita la localización y corrección de errores. Basta con realizar la corrección en un único programa, en lugar de tener que buscar y modificar en todos aquellos programas en los que se realiza un proceso similar, tal como ocurre en el enfoque no modular.**

**Como ya se mencionó el diseñar es una actividad dinámica en donde se proponen soluciones sencillas y efectivas a cualquier tipo de problemas. Para asegurar el buen funcionamiento, los principios del diseño que rigen este software se basan en:**

- 1. Modularidad. Partir el problema en módulos funcionales, ya que cada problema tiene una solución específica.**
- 2. Homogenidad. Desarrollar módulos lo más semejantes entre si.**
- 3. Conectividad. Comunicación de datos entre los diferentes módulos sin perder información.**
- 4. Mantenimiento. Establece la documentación y los elementos de programación necesarios para facilitar las referencias y actualizaciones.**
- 5. Confiabilidad. Proporciona resultados reales.**



**6. Transportabilidad. Que pueda ser transportado e instalado en una o varias máquinas.**

**La Metodología del diseño descendente o Topdown se sugiere principalmente para problemas o sistemas específicos o puntuales.**

**Los 10 puntos del diseño Topdown son:**

- 1. Planteamiento del problema**
- 2. Delimitación de los aspectos del diseño a considerar.**
- 3. Selección de la familia lógica que interviene en el diseño, que en este caso se refiere al software a utilizar.**
- 4. Planteamiento general de la estructura interna del sistema.**
- 5. Planteamiento de la solución específica de cada módulo.**
- 6. Pruebas de cada módulo.**
- 7. Integración de módulos.**
- 8. Pruebas generales.**

**6. Trasportabilidad. Que pueda ser transportado e instalado en una o varias máquinas.**

**La Metodología del diseño descendente o Topdown se sugiere principalmente para problemas o sistemas específicos o puntuales.**

**Los 10 puntos del diseño Topdown son:**

- 1. Planteamiento del problema**
- 2. Delimitación de los aspectos del diseño a considerar.**
- 3. Selección de la familia lógica que interviene en el diseño, que en este caso se refiere al software a utilizar.**
- 4. Planteamiento general de la estructura interna del sistema.**
- 5. Planteamiento de la solución específica de cada módulo.**
- 6. Pruebas de cada módulo.**
- 7. Integración de módulos.**
- 8. Pruebas generales.**

**9. Características operativas del software.**

**10. Documentación del proyecto.**

**Teniendo en cuenta los conceptos anteriores se muestran los diagramas generales del sistema.**

#### **9.4 DOCUMENTACION**

Se proporciona la documentación necesaria para el manejo de REAC. La información presentada está organizada como sigue:

1. Descripción del REAC
2. Tutorial del REAC
3. Soporte técnico

1. REAC le ofrece la potencia y la facilidad con gran facilidad de uso. REAC le ahorrará tiempo de trabajo en cada documento que necesite procesar.

Requerimientos del sistema:

Para utilizar REAC se necesita:

- Un IBM PC.
- Procesador 286 o mayor.
- Monitor VGA o mayor.

- **Disco duro con 5MB de espacio libre.**
- **Un mínimo de memoria de 4 MB en RAM.**
- **Plataforma MSDOS ver. 3.3 o superior.**
- **Plataforma Windows 3.0 ó superior con mouse. ( opcional )**
- **Paquete Excel, Lotus o Harvard Graphics cualquier versión.**  
Estos paquetes son opcionales para la ilustración de la gráfica,  
el usuario puede decidir si requiere la gráfica o no.

## **2. Tutorial**

**Este programa es relativamente sencillo y no requiere de conocimientos profundos de la materia para poder operarlo, así como tampoco requiere de conocimientos extensos de cómputo.**

**A continuación se presenta una rápida explicación y la ilustración de algunas pantallas.**

**Desde el sistema operativo MSDOS, teclear REAC ó desde Windows, seleccionar el icono MSDOS, precione ALT + ENTER y teclera REAC.**

El Programa comienza con la presentación de un menú principal. Este menú despliega diferentes opciones:

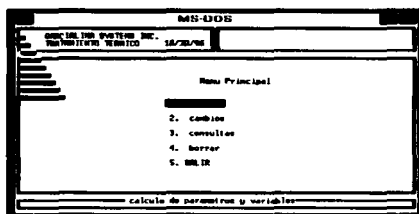


Figura 9.1

En la parte inferior se presenta una ventana de diálogo, que indica al usuario que es lo que realiza cada módulo.

Para iniciar el REAC, seleccione la opción **INICIO** con el cursor.

A continuación REAC preguntará al usuario el nombre del proceso. REAC consulta en la base de datos si existe algún proceso con el mismo nombre. Si ya existe, este desplegará un mensaje pidiéndole al usuario que proporcione otro nombre, en caso de no existir, abre un registro en la base de datos. Figura 9.1.a

Después aparecerá la pantalla 9.2 en la que se muestran los 3 tipos de servicio: 1. Recipientes a presión. 2. Tuberías a presión. 3. Calderas.

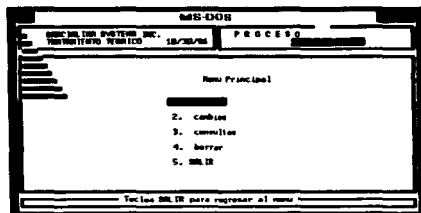


Figura 9.1a

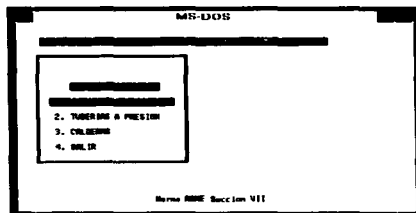


Figura 9.2

Cualquiera de estas opciones desplegará otros 2 submenús en donde se deben de especificar el número P y el GR de cada material, según figuras 9.3 y 9.4.

La figura 9.5 presenta la pantalla de captura de datos, en donde se deben especificar: espesor, diámetro, velocidad de inicio con sus dos opciones (la máxima posible o la que indique el usuario), figura 9.6, velocidad del proceso con sus tres opciones ( la sugerida,

la que marca ASME o la definida por el usuario ), figura 9.7 y el resistor a usar con sus características eléctricas, figura 9.8.

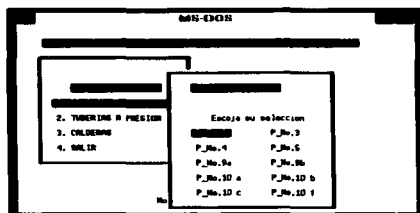


Figura 9.3

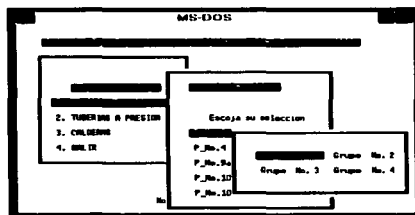


Figura 9.4

Al término de la captura se despliega un mensaje que pregunta por la autenticidad de los datos, en caso de ser los correctos, continúa con el cálculo, de no ser así, comienza nuevamente con la captura de los datos.



Al término de varias decisiones y cálculos, REAC despliega una pantalla a la cual se le denomina "pantalla de resultados", esta guarda los cálculos en los campos del nuevo registro. Los datos proporcionados por la pantalla de resultados son :

Espesor del material, diámetro del mismo, amperaje y voltaje del resistor, termopares requeridos, velocidad de inicio, velocidad de calentamiento, velocidad de enfriamiento, potencia y amperaje requeridos, resistores a utilizar, tiempo total del proceso, tiempos de los diferentes puntos de la gráfica, tiempo y temperatura de sostenido. Figura 9.9

MS-DOS

nombre del proceso REACTOR\_TUBA

espesor del recipiente o tubería : [input field] pulgadas

diámetro del recipiente o tubería : [input field] pulgadas

Velocidad de inicio [input field] %/hr

Velocidad de proceso según : [input field]

Usuario

Escriba la memoria posible para una máquina Comos

Figura 9.5

MS-DOS

nombre del proceso REACTOR\_TUBA

espesor del recipiente o tubería : [input field] pulgadas

diámetro del recipiente o tubería : [input field] pulgadas

Velocidad de proceso según : [input field]

Velocidad de inicio : [input field]

Definido por el cliente

Figura 9.6

MS-DOS

nombre del proceso REACTOR\_TUBA

espesor del recipiente o tubería :  pulgadas  
 diametro del recipiente o tubería :  pulgadas  
 Velocidad de inicio  User:ra/rh  
 Velocidad de proceso según :

Suprido  HNE

Especificado por el cliente

Figura 9.7

MS-DOS

nombre del proceso REACTOR\_TUBA

espesor del recipiente o tubería :  pulgadas  
 diametro del recipiente o tubería :  pulgadas  
 Velocidad de inicio  User:ra/rh  
 Velocidad de proceso según :

5

modelo marca espesor velloja  
 80000 HLL TECHNICAL 45.00 65.05  
 siguiente anterior

SHAW-WALKER SYSTEMS, INC. MS-DOS 3.31/315  
 TRANSLUCENT TERMINAL 11/20/76 PROCESO 0

Los parámetros bajo forma HNE seccion No. 4111

Elaborar :	1.25	pulgadas	Diametro :	9.00	pulgadas
Reparado :	45.00	5	Temperatura :	5	gras. agua
Velloja :	60.00	5	Vel. de inicio :	200.00	°F/hr
Vel. de calent :	400.00	°F/hr	Velocidades calculadas según : Usuario :	200.00	°F/hr
Polaco requerido :	10.00	mm	Reparado requerido :	546.67	h
resistores requeridos :	4		TIEMPO TOTAL :	421	MINUTOS
Tiempo acumulado :	145	190	285	325	421
Tiempo de Sesionado :	1.25	horas	Tarea de sesionado :	1100.00	°F

En la zona de control se debe de haber verificado segun de 25 °F  
 bajo RELEVAR para continuar

Figura 9.9

Figura 9.8

Ya desplegados los resultados, REAC ha generado un conjunto de valores que conforman la tabla tiempo-temperatura del proceso. para ser graficados posteriormente. Estos valores se almacenan en otra base de datos.

La tabla de valores se genera sólo una vez por proceso de manera que sí, en una sección REAC realiza varios cálculos de

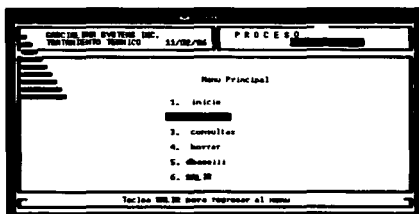


Figura 9.10

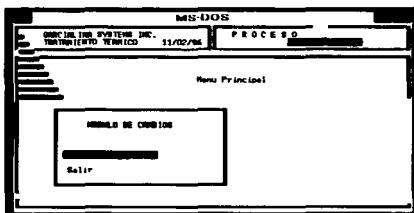


Figura 9.11

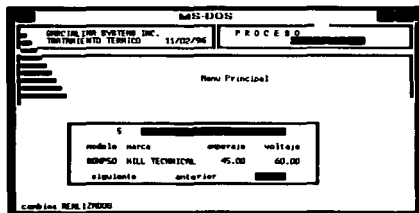


Figura 9.12

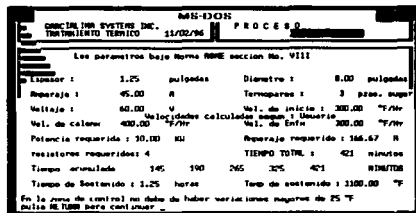


Figura 9.13

Relevado de esfuerzos, sólo el último es el que se mantendrá en la base. Lo anterior obedece a que cualquier base de datos está limitada a una número de registros, además de que las gráficas son muy semejantes entre si, lo que cambia son los datos, pero la forma de la curva es la misma.

Para seleccionar el módulo de **CAMBIOS**, posicione el cursor en esta opción. Figura 9.10.

Al igual que en el módulo de inicio, el módulo **CAMBIOS**, pregunta por el nombre del proceso. Este proceso será buscado dentro de la base de datos. Si no existe, REAC desplegará un mensaje. Si lo encuentra, este presentará la opción de realizar cambios únicamente en el equipo, haciendo los nuevos cálculos y sustituyendolos en el registro marcado. Figuras 9.11, 9.12 y 9.13.

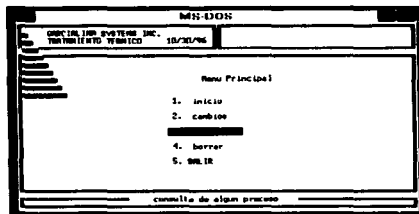


Figura 9.14

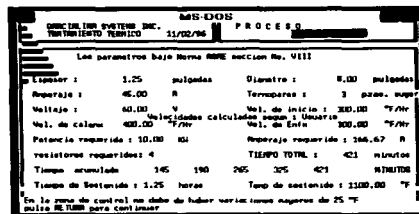


Figura 9.15

El módulo de **CONSULTAS**, proporciona al usuario sólo la pantalla de resultados. Figuras 9.14 y 9.15.

La opción **SALIR** del menú principal dará por terminado la sección y regresará de vuelta al lugar de donde se llamó a REAC.

### 3. Soporte Técnico

Para mayores informes con relacion al funcionamiento del software, o soporte técnico favor de contactar a:

**GARCIALIMA GRUPO CORPORATIVO.**

División Ingeniería

att. **Jorge Garcialima S.**

Navarra 10-A Col. Alamos 03400 México, D.F.

(915) 519 74 07 ó al

(915) 629 98 00 clave 19010



# CAPITULO 10

---

*CONCLUSIONES*

### **CONCLUSIONES**

El relevado de esfuerzos es un proceso industrial en donde la teoría no es exacta, sino sólo proporciona un acercamiento de lo que puede obtenerse, al conjuntar las experiencias empíricas con la teoría, nos acercamos de manera significativa al comportamiento que más se apega a la realidad.

El software REAC ayuda a calcular los parámetros necesarios que se requieren controlar en un proceso. La ventaja de REAC es que puede ser utilizado además como un simulador en donde se pueden realizar diferentes combinaciones de los parámetros para su estudio.

REAC puede integrarse a un sistema de interfase computadora-máquina relevadora para realizar las tareas de monitoreo y control del proceso de manera automática y obedeciendo a un programa de relevado previamente especificado; mismo que puede modificarse según las eventualidades en cualquier punto del proceso.

### **CONCLUSIONES**

El relevado de esfuerzos es un proceso industrial en donde la teoría no es exacta, sino sólo proporciona un acercamiento de lo que puede obtenerse, al conjuntar las experiencias empíricas con la teoría, nos acercamos de manera significativa al comportamiento que más se apega a la realidad.

El software REAC ayuda a calcular los parámetros necesarios que se requieren controlar en un proceso. La ventaja de REAC es que puede ser utilizado además como un simulador en donde se pueden realizar diferentes combinaciones de los parámetros para su estudio.

REAC puede integrarse a un sistema de interfase computadora-máquina relevadora para realizar las tareas de monitoreo y control del proceso de manera automática y obedeciendo a un programa de relevado previamente especificado; mismo que puede modificarse según las eventualidades en cualquier punto del proceso.





# APENDICE A

---

*RS 232-C*

**A.1      RS 232-C**

La EIA ( Electronic Industries Association ) desarrolló el standar RS 232-C. Este standar describe las funciones de los 25 pines, las señales y las señales de handshake para la transmisión de datos serie, además describe los niveles de voltaje, niveles de impedancia, tiempos de subida y de caída de la señal, máxima relación entre bits y la máxima capacitancia para las líneas de señal.

El equipo que transmite generalmente es un controlador al que se le conoce como DCE (Data Communication Equipment ) y el que recibe se le conoce como DTE (Data Terminal Equipment ) que puede ser también un puerto de E/S de una computadora.

El RS 232-C especifica 25 pines de señal y especifica que el conector DTE debe ser macho, y el DCE debe ser hembra. Un conector específico no es dado, pero el más usado es el DB-25P macho y el DB-25S hembra, en la figura A.1 se muestra un conector DB-25P.

El nivel de voltaje para todas las señales del RS 232-C son;

Un nivel alto es un voltaje entre -3 y -15 V ( bajo carga ) y de -25 V sin carga.

Un nivel bajo es un voltaje entre +3 y +15 V ( bajo carga )  
y de +25 V sin carga.

Los voltajes tales como +\_12 V son los definidos

## **A.2 SEÑALES PRIMORDIALES DEL RS 232-C**

La figura A.2 muestra los nombres y sentidos de las señales y una pequeña descripción de cada uno de los 25 pins. Para la mayoría de las aplicaciones sólo se ocupan unos cuantos. Ahora se darán unas pequeñas notas adicionales acerca de estas señales.

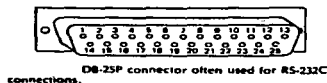
El sentido de las direcciones es especificado con respecto al DCE, esta convención es parte del standar.

El pin 1 es una tierra común de chasis. El pin 7 es una señal de tierra, para evitar grandes inductancias producidas por la corriente ac, en la señal, estas dos tierras deben conectarse juntas a una sola fuente de poder, esta puede ser a la de la computadora.

Las Señales de TxD, RxD y las señales de handshake son las más usadas para un sistema simple y aparecen en la figura B.2

con nombres comunes. Estas señales controlan lo que se llama el canal de comunicación primaria o hacia adelante del modem. Algunos modems permiten la comunicación secundaria o hacia atrás.

Los pines 15, 17, 21, 24 son usados para la comunicación sincrona.



DB-25P connector often used for RS-232C connections.

Figura A.1

PIN NUMBER	COMMON NAME	RS-232-C NAME	DESCRIPTION	SIGNAL DIRECTION ON DCE
1		AA	PROTECTIVE GROUND	—
2	TXD	BA	TRANSMITTED DATA	IN
3	RXD	BB	RECEIVED DATA	OUT
4	RTS	CA	REQUEST TO SEND	IN
5	CTS	CB	CLEAR TO SEND	OUT
6	DSR	CC	DATA SET READY	—
7	DND	AB	SIGNAL GROUND (COMMON RETURN)	—
8	CD	CF	RECEIVED LINE SIGNAL DETECTOR (RESERVED FOR DATA SET TESTING)	OUT
9		—	(RESERVED FOR DATA SET TESTING)	—
10		—	(RESERVED FOR DATA SET TESTING)	—
11			UNASSIGNED	—
12		SCF	SECONDARY REC'D. LINE SIG. DETECTOR	OUT
13		SCB	SECONDARY CLEAR TO SEND	OUT
14		SBA	SECONDARY TRANSMITTED DATA	IN
15		DB	TRANSMISSION SIGNAL ELEMENT TIMING (DCE SOURCE)	OUT
16		SBB	SECONDARY RECEIVED DATA	—
17		DD	RECEIVER SIGNAL ELEMENT TIMING (DCE SOURCE)	OUT
18		—	UNASSIGNED	—
19		SCA	SECONDARY REQUEST TO SEND	IN
20	DTR	CD	DATA TERMINAL READY	IN
21		CC	SIGNAL QUALITY DETECTOR	OUT
22		CE	RING INDICATOR	OUT
23		CHCI	DATA SIGNAL RATE SELECTOR (DTE/DCE SOURCE)	IN/OUT
24		DA	TRANSMIT SIGNAL ELEMENT TIMING (DTE SOURCE)	IN
25			UNASSIGNED	—

Figura A.2

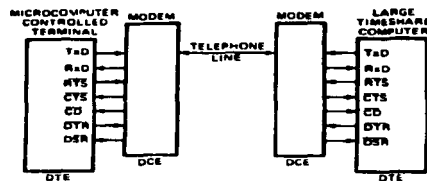
### **A.3 ALGUNAS FORMAS DE CONECTAR DOS EQUIPOS RS 232-C**

Quando se conectan 2 piezas de un equipo manufacturado como el RS 232-C compatible, rara vez funciona al primer intento. Hay varias razones para esto, una de ellas es que si se tratan de conectar en forma directa el controlador y la terminal probablemente ambos sean conectores DB-25 macho o hembra.

Es Común pensar que se pueden conectar directamente dos computadoras p.e. en la figura A.3, vemos que las señales tienen mismos sentidos, osea que ambas tratan de mandar señal através de sus pins 2, así mismo tratan de leer datos por medio de sus pins 3.

El mismo problema existe con las señales de handshake. El RS 232-C tiene drivers que están diseñados para protegerlo de este tipo de conexiones, la solución para este problema es la de cruzar las señales tal como se ve en la figura A.4, este cruzamiento se le llama modem nulo, como ya se había anticipado, la señal TxD se conecta a la terminal RxD, las señales de handshake también deberán cruzarse.

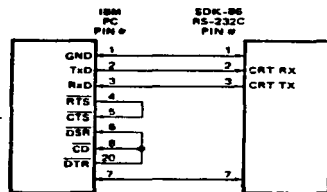
Una Segunda razón por la cual no se puede conectar directamente el RS 232-C es que es utilizado para comunicar impresoras, plotters, y otros periféricos, estos deben de configurarse como DTE o DCE y pueden usar todas o ninguna señal de handshake.



DTE = DATA TERMINAL EQUIPMENT  
DCE = DATA COMMUNICATION EQUIPMENT

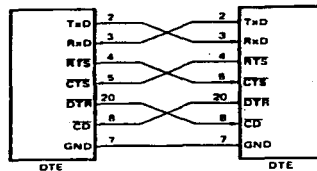
Digital data transmission using modems  
and standard phone lines.

Figura A.3



(a)

Nonmodem RS-232C connections. (a) Null  
modem for connecting two RS-232C data-terminal-type  
devices. (b) IBM PC serial port to SDK-86 RS-232C  
connection.



(b)

Figura A.4

Quando se usan las líneas de sincronización es necesario disponer de una señal de sincronización. La situación más sencilla es cuando al menos uno de los equipos dispone de esta función. Entonces se tendrá una señal de sincronización en el pin 24, la cual podrá ser utilizada por los 2 equipos, tanto en el emisor como el receptor.

Las Líneas 15, 17 y 24 se conectan juntas al que suministra la señal de sincronización y sólo las 15 y 17 del otro lado son usadas. Hay que evitar una segunda fuente de sincronización. Figura A.5.

En el caso en que ninguno de los equipos disponga de la función de generador de señal de sincronización, es necesario conectar un generador de esta señal en la línea 24. Este dispositivo se llama supresor de modem síncrono en la figura A.6.

Uno de los mayores problemas con el RS 232-C es que solamente puede transmitir datos sin necesidad de repetidor datos hasta 50 ft (16.4 m) a su relación de 20,000 Bd. Si se requiere líneas más largas, la relación máxima se reduce drásticamente. Esta limitación es causada por las líneas de señal que permanecen abiertas con una a tierra común.

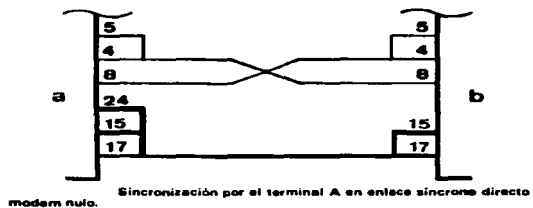


Figura A.5

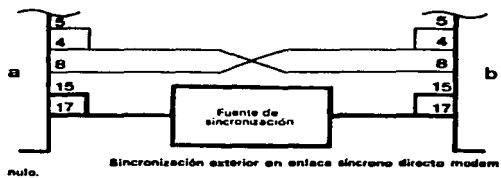


Figura A.6





---

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

**FALTA PAGINA**

No. 143 a la 144

**ANSI/ASME 1992**

Boiler and Pressure Vessel Code

**Apriz Barreiro, José**

Tratamiento Térmico de los Aceros  
Editorial Dossat, S.A.

**Apriz Barreiro, José**

Fabricación de Hierro, Aceros y Fundiciones Vols. 1 y 2  
Urmo, S.A. de Ediciones.

**Apruzzese, G. y Frauly, C.**

IBM PC del Laboratorio a la Industria  
Ediciones Técnicas Rede, S.A.

**Avner, Sydney H.**

Introducción a la Metalúrgica Física  
Mc-Graw Hill.

**Daniel Bouteille, Noel Bouteille, Serge Chantreuil,  
Rene Collot, Jean-Paul Franchet**

Los Automatismos Programables  
Ediciones Citef

**Burton, Malcom S.**

Applied Metallurgy for Engineers  
Mc-Graw Hill.

**Champion Hobart, S.A de C.V.**

Máquina Relevadora de Esfuerzos Trifásica C.D. R-I 500

**Control & Inspection Services Inc.**

Consola de Control 440 Volts para Tratamiento Térmico  
CIS, Inc.

**Control & Inspection Services Inc.**

Manuales de Operación de  
Máquinas Relevadoras de Esfuerzos  
CIS, Inc.

**Control & Inspection Services Inc.**

Programador de Tres Vías, Instalación y Operación  
CIS, Inc.

**Cooper Heat Inc.**

Catálogos y folletos varios

**Cooper, William David**

Instrumentación Electrónica y Mediciones  
Prentice Hall Hisponoamericana, S.A.

***Design Instruments, S.A.***

Captadores de Temperatura

***Fernández Flores, Guillermo***

Soldadura y Metalurgia.

***Friend, George E., Fike John L.***

Understanding Data Communications

SAMS

***Hall, Douglas***

Microprocessors & Interfacing Programming  
and Hardware

Mc-Graw Hill

***Hill Technical Services, Inc.***

Folleto varios

***Hill Technical Services, Inc.***

Industrial Controlled Heat

***Hills, John***

Weld Joints, Welding and Heat Treatment Manual  
Control & Inspection Systems, Inc.

**Higgins, Raymond A.**

Ingeniería Metalúrgica Tomos I y II  
Editorial CECSA.

**Hewlett Packard Ltd.**

HP 75000 Series B. Data Acquisition Systems

**Jones, Edward**

Applique el dBase III Plus  
Osborne McGraw Hill

**\*.Lancaster**

Tratado de Soldadura

**Leeds & Northrup**

L&N 3070-Series Straight and Angle-Type  
Base-Metal Thermocouple Assemblies in Metal Tubes

**Nantucket Corporation**

Clipper 5.0 Programing and Utilities

**\*.Northon**

Handbook of Transducers

**Oliver, Brett - Sheidom, Jim**

Programación en Clipper

Osborne McGraw Hill

**Pippenger, D.E. and Tobaben, E.J.**

Linear and Interface Circuits Applications

McGraw Hill

**Ramalho, José A.**

Clipper 5.01 Avanzado

McGraw Hill

**Schramm, Wanke**

Temple de los Aceros

**Stinchcomb, Criag**

Welding Technology Today

**Sommerville, Ian**

Ingeniería del software

**Van Vlack, Lawrence H.**

Materiales para Ingeniería

Editorial CECSA