

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN ELEMENTAL
EN BARRAS No. 3 DE ACERO GRADO 40
Y SU MÓDULO DE ELASTICIDAD**

TESIS

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
POR**

CARLOS ESTUARDO CABALLEROS GARCÍA

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

Guatemala, octubre de 1,997.

**PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central**

DB
T(4133)
C.A

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN ELEMENTAL EN BARRAS No. 3 DE ACERO GRADO 40 Y SU MÓDULO DE ELASTICIDAD

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 4 de junio de 1996.



Carlos Estuardo Caballeros García

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

Decano: Ing. Herbert René Miranda Barrios
Vocal 1o.: Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
Vocal 2o.: Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
Vocal 3o.: Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
Vocal 4o.: Br. Victor Manuel Lobos Aldana
Vocal 5o.: Br. Wagner Gustavo López Cáceres
Secretaria: Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PUBLICO

Decano: Ing. Julio Ismael González P.
Examinador: Ing. Manuel Tay Orozón
Examinador: Ing. Orlando Posadas Valdez
Examinador: Ing. César Alfonso García Guerra
Examinador: Ing. Francisco Javier González López

Guatemala, 26 de junio de 1997

Ing. Julio Chávez Montúfar
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Pte.

Señor Director:

Adjunto envío a usted el informe final de tesis intitulado: **RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN ELEMENTAL EN BARRAS No. 3 DE ACERO GRADO 40 Y SU MODULO DE ELASTICIDAD**, que fuera elaborado por el señor estudiante Carlos Estuardo Caballeros García, con carnet 8812122, el cual he asesorado y por este medio doy como satisfactorio, por lo que me permito remitirselo para que continúe con los tramites correspondientes para su aprobación.

Por la atención que la misma le merezca me suscribo de usted,

Atestamento,



Ing. Fernando Valladares

Ingeniero Químico

Colegiado No. 520

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 18 de julio de 1,997.

Ingeniero
Julio Chávez Montúfar
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Chávez.

Por medio de la presente me permito hacer de su conocimiento, que he
revisado el Informe Final de Tesis del estudiante **Carlos Estuardo Caballeros
García**, titulado: **RELACION ENTRE LA COMPOSICION ELEMENTAL EN BARRAS No. 3 DE
ACERO GRADO 40 Y SU MODULO DE ELASTICIDAD.**

Agradeciendo la atención que se sirva dar a la presente, le saluda.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Manuel Tay Oroxon
REVISOR

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



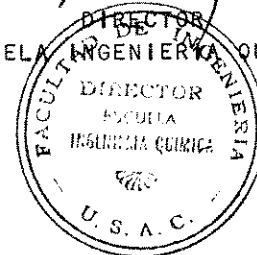
FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ing. Julio Chávez Montúfar, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante **Carlos Estuardo Caballeros García**, titulado: **RELACION ENTRE LA COMPOSICION ELEMENTAL EN BARRAS No. 3 DE ACERO GRADO 40 Y SU MODULO DE ELASTICIDAD**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Julio Chávez Montúfar
DIRECTOR
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 22 de septiembre de 1,997.



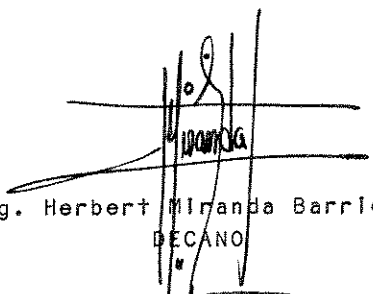
FACULTAD DE INGENIERIA

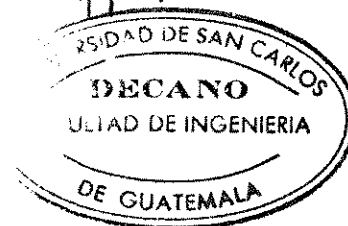
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

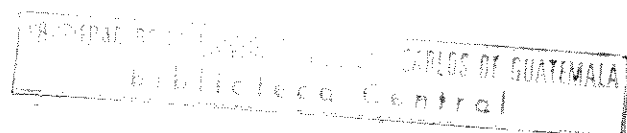
El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulada: **RELACION ENTRE LA COMPOSICION ELEMENTAL EN BARRAS No. 3 DE ACERO GRADO 40 Y SU MODULO DE ELASTICIDAD** del estudiante **Carlos Estuardo Caballeros García**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, 22 de septiembre de 1,997.



DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios, y a todas las personas que colaboraron y me brindaron el apoyo necesario para terminar esta investigación.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento a mi asesor, Ing. Fernando Valladares, quien me apoyo en la realización del trabajo de tesis, y a la corporación Aceros de Guatemala por darme la oportunidad de investigar sobre el tema desarrollado.

INDICE

INDICE	i
INDICE DE TABLAS	ii
GLOSARIO	iii
RESUMEN	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
1. ANTECEDENTES	1
2. EL HIERRO	4
3. DESARROLLO DE LA FABRICACIÓN DEL ACERO	6
4. ESTRUCTURA CRISTALINA	16
5. DIAGRAMA HIERRO-CARBONO	21
6. OBTENCIÓN DE LA PALANQUILLA DE ACERO	29
7. OBTENCIÓN DE LA BARRA DE REFUERZO PARA CONCRETO	34
8. DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN	38
9. PRUEBAS REALIZADAS A LA BARRA DE REFUERZO	40
10. NORMALIZACIÓN: ESPECIFICACION DE LA BARRA DE ACERO	42
11. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	43
12. RESULTADOS	45
13. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	54
CONCLUSIONES	xviii
RECOMENDACIONES	xiv
REFERENCIAS	xx
DATOS ORIGINALES	xxii
DATOS CALCULADOS	xxiv
NORMAS COGUANOR 36011	xxvi
NORMAS ASTM A615	xxviii

INDICE DE TABLAS

INVERSIÓN EN CONSTRUCCIÓN	xvii
LÍMITE DE FLUENCIA	47
ESFUERZO MÁXIMO	50
ALARGAMIENTO	53

GLOSARIO

Abrasión. Proceso de frotar, esmerilar o gastar por fricción

Abrasivo. Sustancia utilizada para esmerilar, bruñir, lampear, superar, pulir, chorros a presión o terminado por tratamiento en cilindros giratorios. Incluye materiales naturales, como gránate, esmeril, corindón, y diamante y productos de horno eléctrico, como óxido de aluminio, carburo de silicio y carburo de boro.

Acero. Aleación de base hierro, maleable en algún intervalo de la temperatura a que fue inicialmente fundida; contiene manganeso, generalmente carbono y a menudo otros elementos de aleación. En acero, el carbono y acero de baja aleación, el máximo contenido de carbono es de 2.0% aproximadamente, en acero de alta aleación, del 2.5% aproximadamente. La línea de separación entre aceros de baja aleación y aceros de alta aleación, se considera generalmente como 5% de elementos metálicos de aleación. El acero se debe diferenciar de dos tipos generales de hierros: los fundidos, en el lado de alto carbono, y los relativamente puros, como el hierro de lingote o dulce, el hierro carbonilla y el hierro electrolito, del lado de bajo carbono. En algunos aceros que contienen carbono extremadamente bajo, el contenido de manganeso es el principal factor de diferenciación, el acero con por lo menos 0.25%; el hierro dulce contiene considerablemente menos.

- **aleado.** Acero con grandes cantidades de elementos de aleación (distintos del carbono y de las cantidades comúnmente aceptadas de manganeso, silicio, azufre y fósforo), agregado para efectuar cambios en las propiedades mecánicas o físicas.

- **al carbono.** Acero que contiene hasta aproximadamente 2% de carbono y sólo cantidades residuales de otros elementos, excepto aquellos agregados para desoxidación, con silicio generalmente limitado a 0.60% y manganeso a aproximadamente 1.65%. También llamado acero ordinario.

- **grafítico.** Acero hecho de manera que parte del carbono esta presente como grafito.

Adherencia. Detención de una pieza en movimiento por una superficie de apareamiento como resultado de excesiva fricción producida al soldar las piezas en contacto.

Adhesión. Fuerza de atracción entre las moléculas (o átomos) de las fases diferentes como la que existe entre el latón de soldar líquido para relleno y cobre sólido, o entre un metal revestido y el metal base. Contrasta con la cohesión.

Agujeros en la superficie. Formación de pequeñas y agudas cavidades en la superficie de un metal por electrodeposición no uniforme o por corrosión.

- Alclad.** Lámina compuesta producida al enlazar ya sea una aleación al aluminio resistente a la corrosión o aluminio de alta pureza al metal base de una aleación estructuralmente mas fuerte.
- Aleación.** Sustancia con propiedades metálicas y compuesta por dos o mas elementos quimicos, de los cuales por lo menos uno es un metal elemental.
- binaria. Aleación que contiene dos elementos componentes.
 - elementos de. Elemento agregado a un metal para efectuar cambios en las propiedades y que permanece dentro del metal.
 - hipereutéctica. Cualquier aleación binaria cuya composición está a la derecha del eutéctico en un diagrama de equilibrio y que contiene alguna estructura eutéctica.
 - hipoeutéctica. Cualquier aleación binaria cuya composición está a la izquierda del eutéctico en un diagrama de equilibrio y que contiene alguna estructura eutéctica.
- Alotropia.** Fenómeno reversible mediante el cual ciertos metales pueden existir en más de una estructura cristalina. Si no es reversible, el fenómeno se llama polimorfismo.
- Aluminizado.** Formación de una recubierta de aluminio o de aleación al aluminio sobre un metal por sumersión en un baño caliente, rociado en caliente o difusión.
- Amorfo.** Que no tiene estructura cristalina; no cristalino.
- Análisis térmico.** Método para determinar transformaciones un metal señalando las temperaturas en que ocurren los arrestos térmicos. Estos arrestos se manifiestan mediante cambios de pendiente de las curvas de calentamiento y enfriamiento gratificadas o mecánicamente trazadas. Cuando tales datos se obtienen bajo condiciones de calentamiento y enfriamiento próximas al equilibrio, el método se emplea para determinar ciertas temperaturas criticas requeridas para construir diagramas de equilibrio.
- Angstrom (A, AU).** 10^{-8}
- Ánodo.** Electrodo en el que los electrones salen (la corriente entra) de un sistema de operación como una batería, una celda electrolítica, un tubo de rayos X o un tubo de vacío.
- Ataque químico.** El que sufre la superficie de un metal en virtud de la acción química o electrolítica preferencia a fin de revelar detalles estructurales.
- Profundo. Severo ataque químico de una superficie metálica para examinarla a una amplificación de diez diámetros o menos a fin de revelar rasgos burdos, como segregación, fisuras, porosidad, o flujo de grano.
- Austenita.** Solución sólida de uno o mas elementos den hierro cúbico centrado en la cara. En general, se supone que el carbono es soluble.

- Austenizado.** Templado de una aleación ferrosa desde una temperatura superior al intervalo de transformación en un medio que tiene una rapidez de abstracción de calor suficientemente alta para evitar la formación de productos de transformación a alta temperatura inferior a la de la formación perlitica u superior a la de la formación martensítica.
- Autodifusión.** Movimiento espontáneo de un átomo a un nuevo sitio en un cristal de su propia especie; por ejemplo, un átomo de cobre dentro de un cristal de cobre.
- Bainita.** Producto de descomposición de la austenita que consiste en un agregado de ferrita y carburo. En general, se forma a temperaturas inferiores a aquellas en que se forma perlita muy fina y superiores a aquellos en que la martensita se empieza a formar al enfriar. Su apariencia es plumosa si se forma en la parte superior del intervalo de temperatura acicular, pareciendo martensita revenida si se forma en la parte inferior.
- Bronce.** Aleación de cobre-estaño rica en cobre con o sin pequeñas porciones de otros elementos como zinc y fósforo; también ciertas aleaciones de base cobre esencialmente binarias sin contener estaño como bronce aluminico (cobre-aluminio), bronce al silicio (cobre-silicio) y bronce berilio (cobre-berilio)
- Calentamiento selectivo.** Calentar solo ciertas porciones de un objeto de manera que tengan las propiedades deseadas después de enfriar.
- Carbonitruración.** Introducción de carbono y nitrógeno dentro de una aleación sólida ferrosa manteniéndola por encima de A_{c1} en una atmósfera que contiene gases apropiados, como hidrocarburos, monóxido de carbono y amoníaco. La aleación carbonitrurada se endurece generalmente por temple.
- Carbono combinado.** Parte de la totalidad de carbono que está presente en el acero o hierro fundido que no existe como carbono libre.
- Carbono grafitico.** Carbono sin combinar en acero o hierro fundido.
- Carbono libre.** Parte del carbono sin combinar en acero o hierro fundido que está presente en la forma elemental como grafito o carbono revenido.
- Carbono total.** Suma del carbono sin combinar y combinado (incluyendo el carbono en solución) en una aleación ferrosa.
- Carburizar.** Introducir carbono en una aleación sólida ferrosa manteniéndola por arriba de A_{c1} en contacto con un material carbonoso adecuado, el cual puede ser sólido, un líquido o un gas. La aleación carburizada se endurece generalmente por temple.
- Carburo.** Compuesto de carbono con uno o más elementos metálicos.

- Cavitación.** Formación y colapso instantáneo de innumerables y pequeñísimos huecos o cavidades dentro de un líquido sometido a rápidos e intensos cambios de presión.
- Cedencia, punto de.** Primer esfuerzo en un material, generalmente menor que el máximo esfuerzo que se puede obtener, en el que ocurre un incremento de deformación sin aumento de esfuerzo. Solo ciertos metales exhiben un punto de cedencia. Si hay un decremento de esfuerzo después de la cedencia, se puede establecer la diferencia entre los puntos superior e inferior de cedencia.
- cementita.** Compuesto de hierro y carbono conocido químicamente como carburo de hierro, con la fórmula química aproximada Fe_3C . Se caracteriza por una estructura cristalina ortorrómbica.
- Coherencia.** Continuidad de la red de precipitado y fase matriz (solvente) mantenidas mediante deformación mutua y no separadas por un límite de fase.
- Cohesión.** Fuerza de atracción entre las moléculas (o átomos) dentro de una fase única. Contrasta con la adhesión.
- Corrosión.** Deterioración de un metal mediante reacción química o electroquímica con su ambiente.
- Cristal.** Sólido compuesto de átomos, iones o moléculas arreglados en un patrón que es repetitivo en tres dimensiones
- homopolar. Cristal caracterizado por enlazamiento covalente, el tipo de enlace atómico resultante del compartimiento de electrones por átomos vecinos.
 - iónico. Cristal en que el enlace atómico resulta de las fuerzas electrostáticas atractivas entre los iones positiva y negativamente cargados; por ejemplo, cloruro de sodio. Este tipo de enlazamiento atómico, también conocido como enlace polar, es característico de muchos compuestos.
- Cristalización.** Separación, generalmente desde una fase líquida al enfriar, de una fase sólida cristalina.
- Defecto.** Condición que daña la utilidad de un objeto o una pieza.
- Deformación.** Cualquier desviación de la forma o contorno deseado.
- Deformación.** Medida del cambio en la forma o tamaño de un cuerpo, referido a su forma o tamaño original. La deformación lineal es el cambio por unidad de longitud de una dimensión lineal, en tanto que la deformación convencional es la deformación lineal referida al cambio de longitud original calibrada. Cuando el término deformación se utiliza solo, generalmente se refiere a la deformación lineal en la dirección del esfuerzo aplicado.
- bandas de. Marcas elongadas que aparecen sobre la superficie de algunos materiales cuando se deforman apenas pasado el punto de cedencia. Estas marcas yacen aproximadamente paralelas a la

dirección del máximo esfuerzo cortante y son el resultado de cedencia localizada. Lo mismo que líneas Lüder.

Deformación crítica. Apenas suficiente para causar el crecimiento de granos muy grandes durante el calentamiento donde no tiene lugar transformación alguna.

-elástica. Cambio de dimensiones que acompaña al esfuerzo en el intervalo elástico; las dimensiones originales se restauran al suprimir esfuerzo.

-por endurecimiento. Incremento en dureza y resistencia causado por deformación plástica a temperaturas inferiores que las del intervalo de cristalización.

-permanente especificada. Distancia a lo largo de una coordenada de deformación, entre la porción inicial de una curva esfuerzo-deformación y una línea paralela que intersecta la curva esfuerzo-deformación en cierto valor de esfuerzo que se utiliza como medida de la resistencia de cedencia. Se emplea para materiales que no tienen punto de cedencia obvio. 0.2% es un valor comúnmente utilizado.

-plástica permanente. Deformación plástica que permanece al suprimir el esfuerzo que produce la deformación.

Dendrita. Cristal que tiene una configuración de tipo arborescente, más evidente en metales fundidos lentamente enfriados a través del intervalo de solidificación.

Densidad aparente. (Met. de polvos) peso de un volumen unitario de polvo, determinado por un método específico de aplicar una carga y generalmente expresado en gramos por centímetro cúbico.

Descarburización. Pérdida de carbono de la superficie de una aleación ferrosa como resultado de calentar en un medio que reacciona con el carbono presente en la superficie.

Desoxidador. Sustancia que puede agregarse al metal fundido para eliminar el oxígeno puro o el oxígeno combinado.

Diagrama de fase. Lo mismo que el diagrama de constitución o el diagrama de equilibrio.

Diagrama E-N. Gráfica que muestra la relación entre el esfuerzo SE y el número de ciclos N antes de que se reduzca la falla en la prueba de fatiga.

Dislocación. Defecto lineal en la estructura de un cristal. Se reconocen dos tipos básicos, pero las combinaciones y dislocaciones parciales predominan más. Una "dislocación de borde" corresponde a la fila de átomos dentro del cuerpo del cristal es decir, por un plano de área menor que cualquiera otra sección paralela en el cristal. Una "dislocación de tornillo" corresponde a la red altamente deformada adyacente al eje de una estructura espiral en un cristal, estando la estructura de espiral caracterizado por una distorsión que ha unido a

planos paralelos conjuntamente para construir una rampa continua en forma de hélice, envolviéndose respecto a la dislocación como un eje con un paso de una distancia interplanar.

Ductilidad. Capacidad de un material para deformarse plásticamente sin fracturarse, medida por la elongación o reducción de área en una prueba tensil.

- falta de. Forma de fragilidad en el metal; se designa como fría, caliente y roja para indicar el intervalo de temperatura en que ocurre la fragilidad

- en frío, falta de. Condición de fragilidad existente en algunos metales a temperaturas inferiores a la de recristalización

Dureza. Resistencia del metal a la deformación plástica generalmente por indentación; sin embargo, el término puede referirse también a la rigidez o temple o a la resistencia al rayado, la abrasión o al corte. La dureza a la indentación puede medirse por varias pruebas de dureza, como Brinell, Rockwell o microdureza.

Elasticidad. Propiedad de un material en virtud de la cual tiende a recuperar su tamaño y forma originales después de la deformación.

Elongación. En una prueba tensil, incremento en la longitud calibrada de la muestra, medida después de la fractura de la muestra en algún punto dentro de la longitud calibrada de la muestra, generalmente expresada como porcentaje de la longitud original de la muestra.

Energía de activación. Energía necesaria para iniciar una reacción metalúrgica; por ejemplo, flujo plástico, difusión, reacción química.

Enfriamiento, rapidez crítica de. Rapidez mínima de enfriamiento continuo apenas suficiente para evitar transformaciones indeseadas. Para el acero, la rapidez mínima a que puede enfriarse desde una temperatura superior a la crítica, para evitar la descomposición de austenita a cualquier temperatura superior a la M_s .

Enlace covalente. Enlace entre dos o más átomos resultante de completar capas mediante el reparto de electrones.

Escama. Formación de una capa de óxido de hierro sobre la superficie del acero cuando se calienta a alta temperatura en un horno.

Escoria. Producto no metálico resultante de la disolución mutua de fundente e impurezas no metálicas de fundición y refinación.

Esfuerzo. Fuerza por unidad de área, a menudo pensada como la fuerza que actúa en una pequeña área dentro de un plano. Puede dividirse en componentes, normal y paralela al plano, llamadas esfuerzo normal y esfuerzo cortante, respectivamente.

Estiramiento. a) formado de piezas escalonadas al forzar el flujo plástico de metal en dados. b) Reducir la sección transversal de alambre o tubo tirando de ella a través de un dado. c) (N/A).

-capacidad de, medida de la capacidad de trabajo de un metal sujeto a un proceso de estiramiento. Término que se utiliza para indicar la capacidad de un metal para ser estirado severamente.

Eutéctico. a) Reacción isotérmica reversible en la que una fase sólida (generalmente una solución sólida) se convierte en dos o más sólidos íntimamente mezclados al enfriar, cuyo número de sólidos formados es el mismo que el de componentes en el sistema. b) Aleación que tiene la composición indicada por el punto eutectoide en un diagrama de equilibrio. c) Estructura aleada de constituyentes intermezclados sólidos, formados por una reacción eutectoide.

Ferrita. Solución sólida de uno o más elementos en hierro cúbico centrado en el cuerpo. A menos que se designe lo contrario, en general se supone que el soluble es el carbono. En algunos diagramas de equilibrio hay dos regiones ferríticas, separadas por un área austenítica. El área inferior es ferrita alfa, en tanto que la superior es la ferrita delta. Si no hay designación, se supone que es ferrita alfa-pura. Ferrita que está estructuralmente separada u distinguible, como la que puede tener lugar sin la formación simultánea de carburo cuando se enfría austenita hipoeutectoide dentro del intervalo de temperatura crítico. También ferrita proeutectoide.

Ferríticas, bandas. Bandas paralelas de ferrita libre alineadas en la dirección de trabajado. Algunas veces se citan como fajas ferríticas.

Fluencia. Deformación dependiente del tiempo que ocurre bajo la aplicación de esfuerzo. La deformación por fluencia que ocurre a una rapidez disminuyente se llama fluencia primaria; la que sucede a una rapidez mínima y casi constante, fluencia secundaria; la que ocurre a una rapidez acelerante, fluencia terciaria.

- resistencia a la. a) Esfuerzo constante nominal que causará cierta cantidad de fluencia en un tiempo dado a la temperatura constante. b) Esfuerzo constante que causará una rapidez específica de fluencia a temperatura constante.

Grafitización. Formación de grafito en hierro o acero. Donde se forma grafito durante la solidificación, el fenómeno se llama grafitización primaria; donde se forma más tarde por tratamiento térmico, grafitización secundaria.

Hierro alfa. Hierro puro en forma cúbica centrada en el cuerpo, estable a temperaturas inferiores a 1670° F.

Hierro blanco fundido. Hierro fundido que da una fractura blanca porque el carbono está en forma combinada.

Hierro forjado. Hierro comercial que consta de fibras de escoria (silicato de hierro) introducidas en una matriz de ferrita.

Hierro fundido. Hierro que contiene carbono en exceso de la solubilidad en la austenita que existe en la aleación a la temperatura eutéctica. Para las diversas formas, como hierro gris fundido, hierro blanco fundido, hierro maleable fundido y hierro nodular fundido, la palabra fundido a menudo se omite.

Hierro fundido de grafito esferoidal. Lo mismo que el hierro nodular fundido.

Hierro gamma. Forma cúbica centrada en la cara del hierro puro, estable desde 1670 hasta 2250° F.

Hierro gris fundido. Hierro fundido que da una fractura gris, debido a la presencia de grafito en hojuelas. A menudo se llama hierro gris.

Hierro maleable fundido. Hierro fundido hecho mediante un recocido prolongado de hierro fundido blanco en el que tiene lugar la descarburización o la grafitización, o ambas, para eliminar alguna parte o toda la cementita. El grafito está en forma de carbono revenido. Si la descarburización es la reacción predominante, el producto tendrá una fractura clara, de ahí el nombre de maleable de corazón blanco; de otra manera, la fractura será oscura, de ahí el nombre de maleable de corazón negro. El maleable perlítico es una variedad de corazón negro con una matriz perlítica junto con algo de ferrita libre.

Hierro nodular fundido. Hierro fundido que se ha tratado mientras está fundido con una aleación maestra que contiene un elemento como magnesio o cerio para dar grafito primario en la forma esferulítica.

Inclusiones. Materiales no metálicos en una matriz sólida metálica.

Índices de planos Miller. Índices que identifican una serie de planos en la estructura cristalina. Las intersecciones m , n , y p para cualquier plano dentro de un cristal dan las recíprocas $1/m$, $1/n$ y $1/p$, las cuales se pueden cambiar a un denominador común, dando como resultado los numeradores h , k y l , respectivamente. Cuando se escriben estos numeradores (hkl) identifican la serie de planos a que pertenece el plano específico.

Laminación (rolado). Reducir el área de la sección transversal de una barra de metal o conformar productos de metal, mediante el empleo de rodillos en rotación.

Liquidus. En un diagrama de constitución o de equilibrio, el lugar geométrico de todos los puntos que representan las temperaturas a las que diversas composiciones en el sistema empiezan a congelar al enfriar o terminan de fundir al calentar.

Macroataque químico. Ataque químico de una superficie metálica para acentuar los defectos burdos y defectos estructurales para

observación a simple vista o a ampliaciones que no excedan diez diámetros.

Macroestructura. Estructura de metales revelada por un examen de la superficie atacada químicamente de una muestra pulida a una ampliación que no exceda diez diámetros.

Maleabilidad. Característica de los metales que permite una deformación plástica en compresión sin ruptura.

Metalurgia. Ciencia y tecnología de los metales. La metalurgia de proceso (química) tiene por objeto la extracción de metales de sus minerales y la refinación de metales; la Metalurgia física se ocupa de las propiedades físicas y mecánicas de metales como son afectadas por la composición, el trabajo mecánico y el tratamiento térmico.

-mecánica. Tecnología que se ocupa de la manera en que los metales reaccionan a sus ambientes mecánicos.

-de polvos. (Met. de polvos) arte de producir polvos de metal y de utilizar los polvos de metal para producir materiales masivos y objetos moldeados.

Modulo de elasticidad (Módulo de young). Medida de rigidez de un metal; razón del esfuerzo, dentro del límite proporcional, a una deformación correspondiente.

Perlita. Agregado laminar de ferrita y cementita que a menudo se presenta en acero y hierro fundido.

Pirómetro. Dispositivo para medir la temperatura de un material calentado comparando la intensidad de luz emitida con una intensidad conocida del filamento incandescente de una lámpara.

Porcentaje atómico. Número de átomos de un elemento dado en un total de 100 átomos representativos de una sustancia; a menudo se escribe como p/a (a/o).

Propiedades mecánicas. Propiedades de un material que revelan su comportamiento elástico e inelástico cuando se aplica una fuerza, indicando de este modo su adaptabilidad para las aplicaciones mecánicas; por ejemplo, modulo de elasticidad, resistencia tensil, elongación, dureza y límite de fatiga.

Recristalización. a) Cambio de una estructura cristalina a otra, como ocurre al calentar o al enfriar a través de una temperatura crítica. b) Formación de una estructura bajado en frío, generalmente llevada a efecto por calentamiento.

Reducción de área. a) Comúnmente, diferencia expresada como porcentaje del área original, entre el área de la sección transversal original de una muestra de ensayo tensil y la mínima área de sección transversal medida después de la separación completa. b) Diferencia expresada

como porcentaje del área original, entre el área de la sección transversal original y la que resulta después de deformar la muestra.

Resiliencia. a) cantidad de energía liberada, por unidad de volumen, al remover la carga. b) Capacidad de un metal, en virtud de la alta resistencia a la cedencia y al bajo módulo elástico, para exhibir considerable recuperación elástica al liberar la carga aplicada.

Resistencia tensil. En los ensayos tensiles, razón de carga máxima aplicada al área original de sección transversal. También se llama resistencia última.

Resistencia última. Máximo esfuerzo convencional -tensil, compresivo o de corte- que un material puede soportar.

Solidus. En un diagrama de constitución o de equilibrio, lugar geométrico de todos los puntos que representan las temperaturas a las cuales diversas composiciones terminan de congelar al enfriar o empiezan a fundir al calentar.

Temperatura de recristalización. Temperatura mínima aproximada en la que ocurre recristalización completa de un metal altamente trabajado en frío dentro de un tiempo especificado, generalmente una hora.

Temperatura de transformación. Temperatura a que ocurre un cambio de fase. El término de algunas veces se utiliza para denotar la temperatura límite de un intervalo de transformación. Los siguientes símbolos se emplean para hierro y aceros:

- Ac_{em} - En acero hipereutectoide, temperatura a la que la solución de cementita en austenita se completa durante el calentamiento.

- Ac_1 . Temperatura a la que se empieza a formar austenita durante el calentamiento

- Ac_3 . Temperatura a la que la transformación de ferrita en austenita se completa durante el calentamiento

- Ac_4 . Temperatura a la que la austenita se transforma en ferrita delta durante el calentamiento

- Ae_{em} , Ae_1 , Ae_3 y Ae_4 . Temperaturas de los cambios de fase en equilibrio.

- Ar_{em} . En acero hipereutectoide, temperatura a la que empieza la precipitación de la cementita durante el enfriamiento.

- Ar_1 . Temperatura a la que se completa la transformación de austenita en ferrita o en ferrita más cementita durante el enfriamiento.

- Ar_3 . Temperatura a la que la austenita se empieza a transformar en ferrita durante el enfriamiento.

- Ar_4 . Temperatura a la que la ferrita delta se transforma en austenita durante el enfriamiento.

- M_s (o Ar''). Temperatura a la que empieza la transformación de martensita durante el enfriamiento

- M_f . Temperatura a la que termina la formación de martensita durante el enfriamiento.

Nota: todos estos cambios, excepto la formación de martensita se presentan a temperaturas mas bajas durante el enfriamiento que durante el calentamiento y dependen de la rapidez de cambio de temperatura.

Temperatura de transición. a) temperatura arbitrariamente definida dentro del intervalo de temperatura en el que las características de fractura del metal, determinadas generalmente por ensayos muescados, cambian con rapidez: por ejemplo, desde fractura fibrosa principalmente (corte) hasta cristalina (clivaje). las definiciones que más se utilizan son temperatura de transición para fractura al 50% de clivaje, temperatura de transición a 10lb-pie y temperatura de transición para energía media máxima. b) Algunas veces también se emplea para denotar la temperatura arbitrariamente definida en un intervalo en el que la ductilidad cambia en forma raída con la temperatura.

Tenacidad. Capacidad de un metal para absorber energía y deformarse plásticamente antes de fracturarse. Generalmente, es medida por la energía absorbida en un ensayo de cargas aplicadas con impacto sobre una barra muescada, pero el área bajo la curva esfuerzo-deformación en el ensayo tensil también es una medida de tenacidad.

Trabajo en caliente. Acción de deformar plásticamente un metal a tal temperatura y rapidez que no ocurra el endurecimiento por deformación. El límite inferior de temperatura es la temperatura de recristalización.

Trabajo en frío. deformación plástica de un metal a una temperatura inferior a la de recristalización.

RESUMEN

Se analizó la correlación entre la composición química (% C, % Mn, % S, % P, % Cu) y los resultados de la prueba mecánica: límite de fluencia, esfuerzo máximo y alargamiento, utilizados para la clasificación de la barra de acero. Dicha correlación se realiza en la barra de acero para construcción No. 3 por ser esta la barra más comercial en nuestro mercado.

De 28 muestras de barras tomadas del proceso de laminación se obtuvo su análisis químico por medio del espectrómetro de absorción atómica perteneciente a la industria Siderúrgica de Guatemala, S. A. (SIDEGUA), y los resultados de la prueba mecánica en la máquina universal de ensayos de tensión en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.

Utilizando el programa de computadora de LOTUS para correlaciones múltiple lineales, se realizaron las operaciones correspondientes entre los resultados químicos y mecánicos.

De estas correlaciones se observa que el esfuerzo máximo es el que presenta la mejor correlación con respecto a la composición química siendo ésta de 0.95; que el azufre es inversamente proporcional con los resultados de esfuerzo máximo y límite de fluencia, y que el alargamiento no tiene una correlación lineal aceptable con la composición química, ya que es de 0.34.

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta el desarrollo que actualmente ha tenido la industria de la construcción, se hace necesario que la barra de acero, en sus propiedades físico mecánicas cumplan con los parámetros especificados en las normas guatemaltecas (COGUANOR). Es por esta necesidad y ya que el 90% del territorio nacional es considerado por los ingenieros estructurales como zona sísmica, o sea, con una alta probabilidad de producirse un movimiento telúrico, la importancia de una barra adecuada para soportar la energía de estos fenómenos, ya que esta es el alma de las estructuras.

En la producción del acero, el cual servirá como materia prima posteriormente para la fabricación de la barra de construcción, se utilizan como parámetros de calidad la composición química.

Para el acero limpio, aleación hierro-carbono, se sabe que al aumentar el porcentaje de carbono la aleación presenta más resistencia, pero menos plasticidad. Con los procesos modernos, y entre ellos se incluye el realizado en la industria Siderúrgica de Guatemala (SIDEGUA), a la aleación de hierro-carbono se han sumado otros elementos que afectan en distinta manera las características mecánicas del acero.

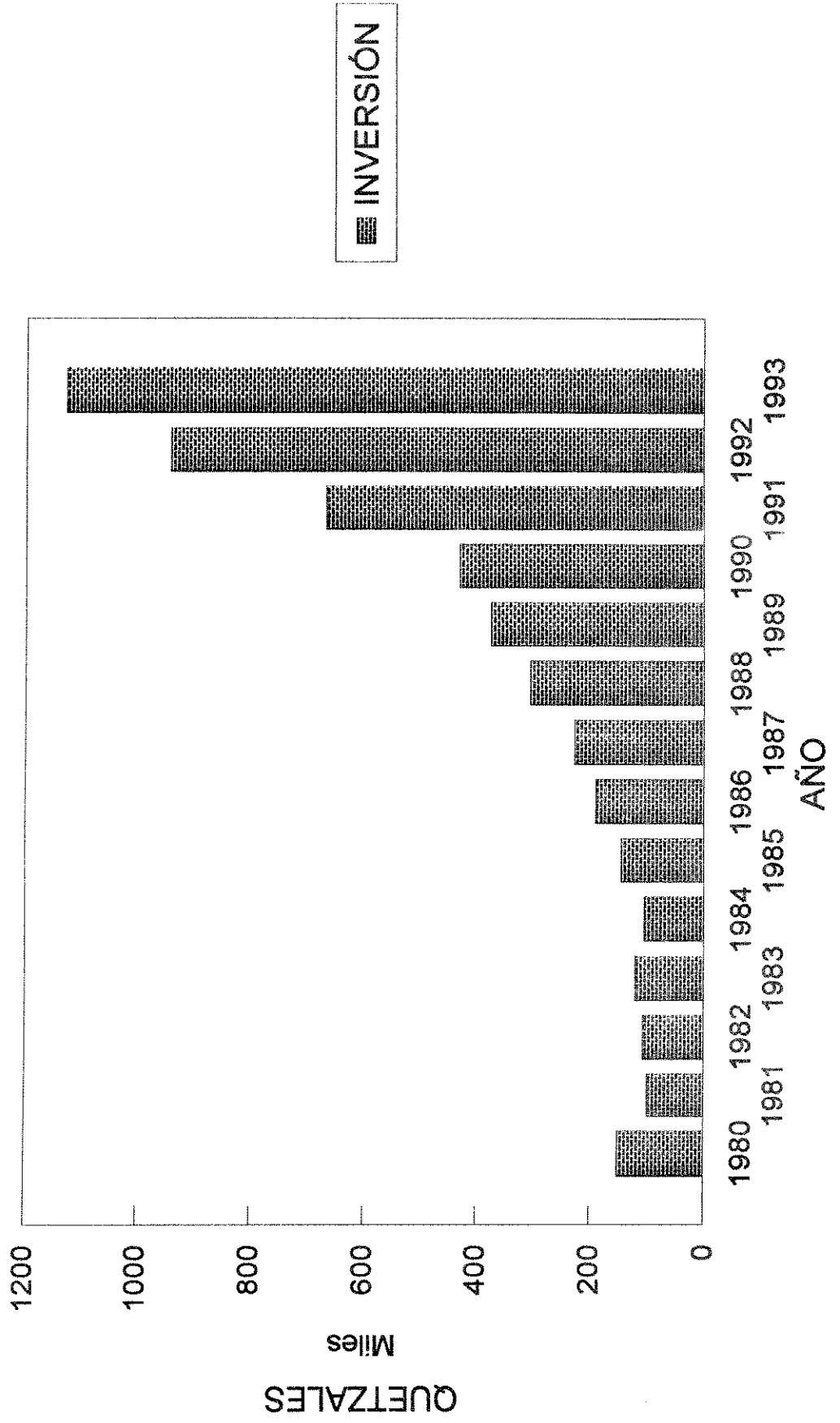
Con base en lo anterior, el presente trabajo de investigación desarrolla el estudio para verificar la siguiente hipótesis: "Existe relación entre la composición elemental en una barra No. 3 de acero grado 40 (COGUANOR NGO 3600) y su módulo de elasticidad".

Dicho estudio se llevará a cabo conjuntamente con el laboratorio de ensayos de metales del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Laboratorio de control de calidad de la Industria Siderúrgica de Guatemala.

Se elige la Barra No. 3 ya que esta se utiliza en mayor cantidad en la construcción de casas de 1 y 2 niveles, y estas son las construcciones de más demanda en nuestro país. Esta barra se convierte en la más comercial.

INVERSIÓN EN CONSTRUCCIÓN

DE 1980 A 1993



1. ANTECEDENTES

La industria del acero en Guatemala tiene más de 30 años de haberse iniciado. Esta se inicia con la producción de clavo y alambre en sus diversos tipos: de amarre, galvanizado, espigado.

Posteriormente, se inicia la fabricación de la barra de construcción a partir del lingote. Este último, es fabricado en el extranjero e importado al país.

En enero de 1974 ACERISA, a pesar de tener una serie de problemas técnicos, logra producir acero, sin embargo; más tarde, esta empresa cerraría debido a problemas administrativos.

En ese mismo año, en junio, arranca la siderúrgica HORNOS, S.A., con dos hornos eléctricos de arco con capacidad de 6 toneladas cada uno, los cuales después de dos horas de preparación, producen acero al carbón, el cual es colado en los moldes de hierro fundido, para obtener lingote, contribuyendo a reducir la cantidad de lingote de importación.

Después de un año de operaciones, por iniciativa del personal técnico y de ingeniería de la empresa, se diseña localmente una colada continua, que consiste un sistema moderno que proporcionaría mejoras realmente significativas en el proceso. Este proceso utiliza un molde de cobre y agua de enfriamiento con lo que el acero fundido solidifica continuamente y el producto se corta a las longitudes necesitadas, denominándose a estos segmentos de

acero "palanquillas", para diferenciarlas del lingote tradicional el cual se funde en moldes fijos.

En la búsqueda de mejoras del proceso tecnológico se decide comprar un equipo moderno de colada continua en sustitución de la de fabricación local. Este equipo moderno, de procedencia italiana, consistía de dos líneas de colado mientras la existente estaba constituida por una sola línea.

Después de 20 años exitosos de trabajo, en los cuales se tuvo un único paro de 6 meses por factores económicos, se decide comprar un horno eléctrico de 50 toneladas con sistemas de tecnología reciente y el cual vendrá a sustituir a los de 6 toneladas, que ya habían sido aumentadas en una unidad. Así se lograra evitar la importación de materia prima para la fabricación de barras para construcción y producir todo el acero necesario para este fin.

Además, junto con el horno de arco eléctrico se adquiere un horno de afinación y una colada continua con 4 lingoteras. Se decide establecer esta industria en el departamento de Escuintla debido al espacio requerido para la instalación de este equipo, además de considerar factores ecológicos ya que esta nueva adquisición esta implementada con equipo para tratamientos de los desechos emitidos por este tipo de industrias, además se contribuye al desarrollo de la zona.

Este horno empieza a funcionar en marzo de 1994, y en menos de un año se logra su objetivo, el cual es: "evitar la importación de palanquilla y

satisfacer el consumo de materia prima de las plantas laminadoras de barras de construcción y perfiles para la fabricación de balcones".

A través del proceso de análisis de los resultados en la máquina de tensión de las barras de acero para construcción, se ha observado que existe normalmente, variación en los resultados de un mismo lote de barras de un grado ya predefinido.

Lo anterior, supone que dicha variación se estaría dando por la variación del porcentaje de uno o varios elementos de los que está compuesta la aleación de acero. La resistencia mecánica de los aceros, depende de la proporción de sus componentes químicos, especialmente del porcentaje de carbón y manganeso, pero algunos componentes deben limitarse ya que la experiencia ha demostrado que, en pequeñas cantidades, las propiedades que aporta modifican significativamente el comportamiento del acero.

Es importante definir la influencia de los elemento constituyentes del acero sobre las pruebas mecánicas, ya que al pedir un grado de acero, ya sea importado o producido en el país, se especifica los rangos de los elementos. Sin embargo, puede ser que la combinación de algunos de tales elementos produzca resultados que no se esperan.

2. EL HIERRO

El hierro se encuentra en la naturaleza en grandes depósitos minerales, que consiste generalmente en un óxido de hierro. Para que el mineral de hierro tenga valor comercial, debe ser relativamente puro y disponible en grandes cantidades.

La mayoría de los minerales contienen de 20 a 50 % de hierro metálico, pero hay minerales que contienen hasta 60 % de hierro puro. Entre los minerales de hierro industriales se tienen:

- a. Magnetita: Es de color negro y contiene el hierro en forma de óxido ferroso-férrico (Fe_3O_4) (3). El contenido de hierro en estos minerales oscila, en la práctica, del 45 al 70 %. El mineral tiene propiedades magnéticas y gran densidad.
- b. Hematites:
 - b.1 Hematites roja (oligisto) es de color rojo ladrillo que contiene Fe_2O_3 . Este mineral contiene del 50 al 60 % de hierro. Se reduce con mayor facilidad que el imán natural (magnetita).
 - b.2 Hematites parda (limonita) es el óxido de hierro hidratado ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). El mineral contiene del 20 al 60 % de hierro y tiene color pardo con diferentes matices.

- c. Siderita (hierro espático) es la combinación del ácido carbónico con el hierro (FeCO_3). El contenido de hierro en este mineral oscila, en la práctica, entre 30 y 42 %. El mineral tiene un color gris con matices amarillos.

Para poder utilizar este hierro, se hace reaccionar con el carbón para eliminar los óxidos, siendo sustituidos éstos, por átomos de carbón así el carbón estará en aleación con el hierro. Las distintas concentraciones de esta aleación dependerán del uso que se le de al producto final ya que sus características mecánicas varían según su concentración.

Según la concentración de carbón, el hierro puede ser clasificado desde hierro puro (el que no contiene carbono), luego acero (hasta una concentración de 2 % de carbono) y por último, hierro fundido con una concentración de 2% de carbono.

3. DESARROLLO DE LA FABRICACIÓN DEL ACERO

3.1. La obtención directa de hierro mineral:

Es el método más antiguo, consiste en lo siguiente: al horno se carga el carbón de la leña y la mena de hierro, se incendia el carbón y se inicia el soplado, a medida que se quema y sedimenta el carbono, el mineral de hierro baja estando en contacto continuo con los gases reductores y el carbono incandescente, debido a lo que se reduce gradualmente.

A la humedad normal la temperatura calculada de la combustión del carbono en el aire frío es cerca de 1400 °C. Teniendo en cuenta las pérdidas inevitables de calor, se puede suponer que la temperatura del proceso constituía de 1300 °C a 1350 °C.

A tales temperaturas se forma la escoria líquida. Ya que la escoria constaba en lo fundamental de los óxidos de hierro, una parte considerable del hierro mineral pasaba a la escoria y se perdía, y tan solo 2/3 partes se reducían a hierro.

Como resultado del proceso se obtenía una bola caliente (la lupia) de hierro reducido (con ventillas de escoria) que se sacaba del horno y se trataba con martillos comprimiendo la lupia y extrusando de ella la escoria. La composición del metal dependía de la composición que tenía la roca estéril del

mineral, así como de la temperatura del proceso y el tiempo de la estancia de lupia en el horno.

3.2. La obtención de hierro en lupias del arrabio:

Para mejorar el proceso de obtención directa los hornos se construían más altos, se intensificaba el caudal de aire, lo que provocaba la elevación de la temperatura en el horno y aumentaba el tiempo que los materiales de carga permanecían en la zona de altas temperaturas. Como resultado, en una serie de casos tenía lugar la carburación notable del hierro, en este caso el producto del proceso no era el hierro esponjoso pobre de carbono, sino el rico en carbono, es decir, el arrabio. Puesto que este no posee propiedades dúctiles (no se forja ni es flexible), se consideraba un producto indeseable y se botaba. Más tarde fue notado que cargando al horno el arrabio en vez del mineral de hierro, también se obtenía la lupia de hierro pobre en carbono. Este proceso de dos etapas resultó más productivo. Así surgió el método más perfecto de la obtención del hierro, el llamado proceso en "lupias". Se desconoce la fecha de aparición del proceso en lupias, al igual que el de obtención directa, pero ya en los siglos XII-XIII el método en lupias estaba difundido.

La esencia del método en lupias de la transformación de arrabio en hierro y en acero consiste en que el horno se fusiona el arrabio con el carbono de leña y se oxida el carbono, el silicio, el manganeso y otras impurezas soplando el oxígeno y accionando con las escorias ricas en óxidos ferrosos.

El horno revestido con material refractarios o con placas de arrabio enfriadas por agua se llena de carbón de leña, se adiciona el arrabio y la escoria ferrosa rica en óxidos ferrosos.

El arrabio se funde y en gotas desciende hacia abajo. Al mismo tiempo bajo la acción del oxígeno soplado y los óxidos ferrosos de escoria, se oxidan las impurezas del arrabio.

A medida de la oxidación de las impurezas del arrabio aumenta la temperatura de su fusión (la del arrabio es de 1150 a 1200 °C; la del hierro bajo en carbono cerca de 1500 °C). La temperatura en el horno alcanza 1300 a 1400 °C, o sea, suficiente para la fusión del arrabio, pero no lo es para mantener en estado líquido la aleación baja en carbón que está formándose.

Mientras van quemándose las impurezas, el metal se hace cada vez más refractario y viscoso. Como resultado, en el fondo del horno se forma la masa ferrosa pastosa que se junta en una bola común o lupia, se saca del horno y se somete al martilleo con el fin de eliminar la escoria del metal y hacer una pieza de hierro lo más densa y homogénea posible.

La lupia acabada contiene de 0.03 a 0.05 % de C; de 0.01 a 0.02 % de Si; hasta 0.08 % de Mn; de 0.01 a 0.04 % de P; de 0.004 a 0.006 % de S. El método de fabricación en lupias tiene una serie de deficiencias: baja productividad, alta oxidación (pérdidas) de hierro, enorme consumo de combustible, grandes dificultades en realizar el proceso y otras.

En la mayoría de los países industriales, el proceso en lupias, como extremadamente improductivo y costoso, desapareció a finales del siglo XIX y comienzos del XX.

3.3. El surgimiento del método de fabricación del acero líquido:

El procedimiento al crisol es el más antiguo de todos los métodos existentes de la fabricación del acero líquido, es decir, del llamado "acero fundido". Según los datos existentes, este procedimiento surgió en Asia en la época de la Edad Media temprana. En Europa Occidental el comienzo de la producción de los lingotes de acero refundiendo el acero cementado (obtenido del hierro en lupias se refiere a 1740).

La fabricación de acero en los crisoles se realiza de la siguiente manera: en los crisoles (de capacidad más corriente de 25 a 35 kg.) se introduce la carga de metal cuya composición es próxima al acero, que es necesario obtener. Los materiales de carga deben contener la cantidad mínima de impurezas nocivas, puesto que el azufre y el fósforo durante el procedimiento al crisol prácticamente no se eliminan. Los crisoles tapados se colocan en los hornos o en los hornos regeneradores de reverbero. Después de derretirse la carga, a expensas de los óxidos de hierro contenidos en los materiales de carga, transcurren las reacciones de oxidación de carbón, manganeso, silicio, así como la formación de la escoria. Las escorias del procedimiento de crisol tienen carácter ácido y sus componentes fundamentales son silicatos de hierro y de manganeso. La escoria se forma a expensas de los productos de las reacciones de oxidación, que suben a la superficie en forma

de inclusiones no metálicas, de las impurezas introducidas casualmente junto con la carga en el crisol, así como del material escorificante del crisol. Con el aumento de la temperatura el carbono contenido en la carga empieza a reducir al Si, Mn y Fe de la escoria al metal. Como resultado del desarrollo de los procesos de reducción, las escorias de crisol se caracterizan por la concentración extraordinariamente baja de los óxidos de hierro. El acero al crisol se destaca por unas propiedades mecánicas exclusivamente buenas en cuanto a la forja y la laminación tanto longitudinal como transversal. La ausencia de la atmósfera oxidante y la acción desoxidante del material con que está hecho el crisol, así como la temperaturas relativamente bajas del procedimiento, las cuales no permiten que el metal se sobrecaliente, proporcionan la posibilidad de fabricar acero denso con el contenido bajo de inclusiones no metálicas y gases.

No obstante, el procedimiento al crisol también tiene una serie de deficiencias: el rendimiento bajo de la producción, las exigencias rigurosas a la pureza de los materiales iniciales, la resistencia pequeña de los crisoles, gran consumo de combustible.

3.4. La aparición de los procedimientos relativamente sencillos y baratos de la fabricación masiva del metal fundido

En 1855, el mecánico inglés Henri Bessemer propuso el método sencillo y barato para fabricar grandes cantidades de acero fundido con ayuda del soplado del arrabio líquido con aire. El soplado del arrabio se realizaba en un

dispositivo especial: el convertidor dotado de revestimiento ácido. Este procedimiento fue denominado el convertidor (Bessemer).

En 1878-1879, el inglés Thomas elaboró la variante del procedimiento al convertidor, la cual consistía en que el convertidor se revestía con dolomita, material que posee las propiedades básicas. Este método fue denominado procedimiento Thomas o al convertidor básico.

En 1865, en Francia, los hermanos Emilio y Pedro Martín realizaron exitosamente la fundición de acero a partir del arrabio y la chatarra de hierro en los hornos de regeneradores de reverbero. La obtención en estos hornos de la temperatura alta, suficiente para la fusión del acero, se hizo posible gracias a la alimentación del horno con gas y aire calentados. El principio de la aplicación de los gases de escape para calentar el combustible y el aire en los llamados recuperadores fue elaborado por Siemens. Por eso en una serie de países este procedimiento lleva el nombre de Martin-Siemens.

Los procedimientos Martin-Siemens y al convertidor sirvieron de base que aseguró el incremento impetuoso de la potencia industrial en los países industrialmente desarrollados. Menos que en 100 años la producción mundial del acero creció más que en mil veces de 330 mil toneladas en 1868 a 346 millones de toneladas en 1960.

3.5. Desarrollo de la electrometalurgia del acero

En la segunda mitad del siglo XIX aparecieron una serie de propuestas de aplicar la energía eléctrica en la fabricación de acero. A finales del siglo XIX y comienzos del XX fueron creados y empezaron a funcionar los hornos eléctricos de diferentes estructuras.

En los últimos decenios la fabricación de acero en los hornos eléctricos se desarrolla a unos ritmos particularmente vertiginosos. Aparecieron los hornos de arco eléctrico para fabricar el acero, los cuales tienen la capacidad de 200 a 350 toneladas. El aumento de la potencia específica de los transformadores de hasta 700 a 800 kW·Amperio/Tonelada permite fundir la mencionada masa del metal en 1.5 a 2 horas.

Un estímulo complementario para el desarrollo de la electrometalurgia es la posibilidad de refundir grandes cantidades de la carga tan barata como la chatarra de hierro. En el momento actual, ya la mayor parte de los países industrializados fabrican en los hornos de arco eléctrico. Con frecuencia, los hornos de arco eléctrico de alto rendimiento se instalan en sustitución de los hornos Martin-Siemens viejos que han cumplido su vida útil.

3.6. Intensificación de la fabricación de acero con oxígeno

Durante largo tiempo los metalúrgicos soñaban con sustituir el aire, utilizado en la fundición del acero para quemar el combustible o para oxidar las impurezas del arrabio, con oxígeno puro, ya que, realizada dicha sustitución,

cambiaba radicalmente el balance térmico de los procedimientos, así como se resolvían con mayor facilidad los problemas de la calidad del metal. Sin embargo, el alto precio del oxígeno durante largo tiempo obstaculizaba la puesta en práctica de dicho sueño.

Tan sólo terminada la segunda guerra mundial los métodos relativamente baratos de la obtención de oxígeno, que habían aparecido, permitieron iniciar en grande escala la confección de la tecnología correspondiente. Los primeros experimentos confirmaron los cálculos teóricos, pero habían pasado varios años antes que fueron perfeccionados los métodos óptimos del funcionamiento y las estructuras de las instalaciones de las toberas, de los quemadores, etc.. Hasta el final de la década del 50, el uso del oxígeno en la fabricación de acero fundido se convirtió en la práctica corriente que ejerció influencia esencial en el volumen de producción mundial del acero. Como resultado, tan solo en 10 años (de 1960 a 1970), la fabricación mundial del acero se incrementó de 346 a 603 millones de toneladas.

3.7. La aparición y la propagación de los procedimientos de refundición

En los procesos de la depuración del acero de las impurezas nocivas también influyen tales factores como la variación de la presión, el aumento de la superficie de contacto entre las fases en reacción, el aceleramiento del proceso de enfriamiento del metal, la aplicación de la tecnología plástica y de haz electrónico y otros. Como consecuencia, en los últimos años fueron creados y ampliamente utilizados tales métodos de la fabricación de acero como el procedimiento por inducción al vacío (PIV), el de arco eléctrico al vacío (PAEV),

el de escoria eléctrica (PEE), en los hornos de haz electrónico y de plasma, y otros. Puesto que con estos procedimientos se efectúa la refundición del acero previamente elaborado en las instalaciones "habituales" (en los convertidores, en los hornos Martin-Siemens o en los de arco eléctrico), dichos procedimientos se llaman de "refundición". Estos métodos aun son costosos y poco productivos, pero aseguran la fabricación de un acero de muy buena calidad y de propiedades especiales.

3.8. La aparición y el desarrollo de la metalurgia secundaria, o en cuchara, fuera del horno

Muchas operaciones tecnológicas realizadas con el objetivo de disminuir el contenido de las impurezas nocivas en el metal y mejorar su calidad, se pueden trasladar de la instalación de fundición a la cuchara (u otro dispositivo que la sustituya) especialmente equipado con unos dispositivos para el tratamiento correspondiente del metal líquido.

En este caso el rendimiento de la instalación de fundición se incrementa y al mismo tiempo se asegura el mejoramiento de la calidad del acero. Con el fin de eliminar las impurezas nocivas, variar la composición y regular su temperatura, el metal en la cuchara se somete al tratamiento por el vacío, se sopla con gases inertes, se trata con mezclas líquidas o en polvo, o con la aleación especial, se somete al mezclado electromagnético, etc..

Ya que en ciertos casos estas operaciones son bastante duraderas, y el metal paulatinamente se enfría y solidifica, apareciendo los dispositivos para

calentar el metal durante el proceso de su tratamiento, es decir, la cuchara se convirtió en un equipo separado y a veces bastante complejo.

Estos métodos fueron denominados metalurgia en cuchara (o secundaria), tratamiento fuera del horno, además del mejoramiento de la calidad, proporciona la estabilidad (de una colada a otra) de las propiedades del metal de la marcha dada, lo que tiene gran importancia para los consumidores, en un plazo de tiempo muy corto (en los años 70 de nuestro siglo), este procedimiento se difundió por todas partes.

Actualmente, millones de toneladas de acero fabricado en el mundo se someten a uno u otro tratamiento fuera del horno.

Por supuesto, el esquema aducido anteriormente del desarrollo de la fundición del acero es bastante convencional. La aparición de unos u otros procedimientos nuevos de la fabricación de acero y de los métodos que aseguran el mejoramiento de su calidad, transcurre en el tiempo y muchos métodos existen simultáneamente.

4. ESTRUCTURA CRISTALINA

Como se sabe, los átomos de todos los cuerpos están constituidos por electrones, protones y neutrones, estando concentrada casi toda su masa en el núcleo, el cual contiene los protones y los neutrones. Cuando dos átomos metálicos se aproximan, la energía interna varía bajo la acción de dos fuerzas opuestas, una de atracción entre los electrones y ambos núcleos positivos, y la otra de repulsión entre los núcleos así como también entre los electrones.

Los cuerpos en los cuales los átomos están agrupados de una manera desordenada, sin ningún sistema, se llama amorfos, tales como el vidrio, la cera, la resina, etc.. Sustancias amorfas son aquellas cuya estructura no está definida, es isotrópica, es decir, que sus propiedades físicas son iguales en todas direcciones.

Los metales derretidos poseen un conjunto de propiedades las cuales, por un parte, son semejantes a las de los líquidos y, por la otra; a las de los metales sólidos. Los rasgos característicos por los que los líquidos metálicos se distinguen de los demás líquidos son las propiedades eléctricas y galvanomagnéticas, con la particularidad de que el volumen específico del líquido metálico en el punto de fusión no supera al de un cristal más que el 2...6 %, es decir, durante la fusión del cristal las distancias entre sus partículas integrantes quedan aproximadamente las mismas.

En el estado sólido los átomos tienden a cierta permanencia de posición que da lugar a la formación de cristales, estos átomos al guardar cierto

orden es obtenida una red tridimensional, obtenida al unir todos los átomos entre sí mediante rectas imaginarias y que el cristal está formado por una serie de celdillas iguales, de simetría igual a la del cristal, la menor de estas celdillas que posea los mismo elementos de simetría se denomina celda unitaria. Y mientras un gas ideal se caracterizan por la estructura completamente desordenada y un cuerpo sólido ideal se destaca por la ordenación completa en la disposición de las partículas y por el carácter invariable de esta respecto al espacio y el tiempo, para un líquido todavía no existe un modelo tan ideal.

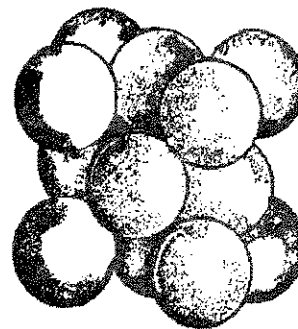
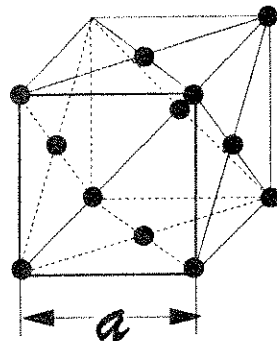
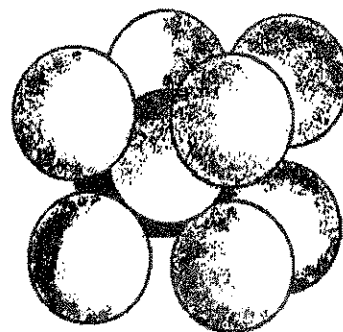
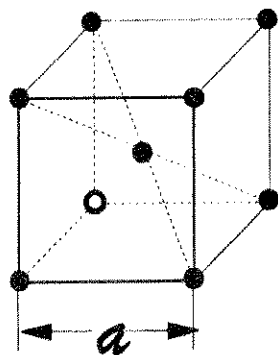
Más aún, cada líquido dispone de una serie de estructuras que se pueden transformar libremente una en otra. Los estados de la materia se pueden clasificar de la manera siguiente: Los cristales, poseen estructura ideal y enlazada; los líquidos no regular y ligada, y los gases, no regular y no ligada.

En el cuerpo cristalino, donde los átomos están agrupados en un orden definido, se puede encontrar propiedades físicas muy distintas en diversas direcciones, es decir, el cuerpo cristalino es anisótropo.

Las propiedades características de los metales son: el brillo típico, la opacidad, la conductividad térmica y eléctrica. Todos los metales y aleaciones, independientemente del modo de obtenerlos y de trabajarlos, poseen en estado sólido una estructura cristalina bien definida. En los metales se encuentran diferentes tipos de redes cristalinas.

La red espacial cúbica centrada: es un cubo centrado, compuesto de nueve átomos, ocho de los cuales se hallan en los vértices y uno en el centro.

La red cúbica centrada en las caras: el cristal elemental de esta red consta de 14 átomos; ocho de los cuales se hallan en los vértices del cubo y uno en el centro de cada cara del cubo.



El enlace entre los átomos en la red cristalina, tiene un carácter particular llamado carácter "metálico". Los átomos que se hallan en los nudos de la red cristalina, al perder con facilidad sus electrones de valencia, se convierten en iones cargados positivamente. De tal modo, en los nudos de la red cristalina del metal se sitúan los iones cargados positivamente y no los átomos neutros, el espacio entre los iones lo ocupan los electrones con carga negativa, "gas electrónico". Los electrones libres al ser atraídos simultáneamente por varios iones cargados positivamente crean el enlace entre

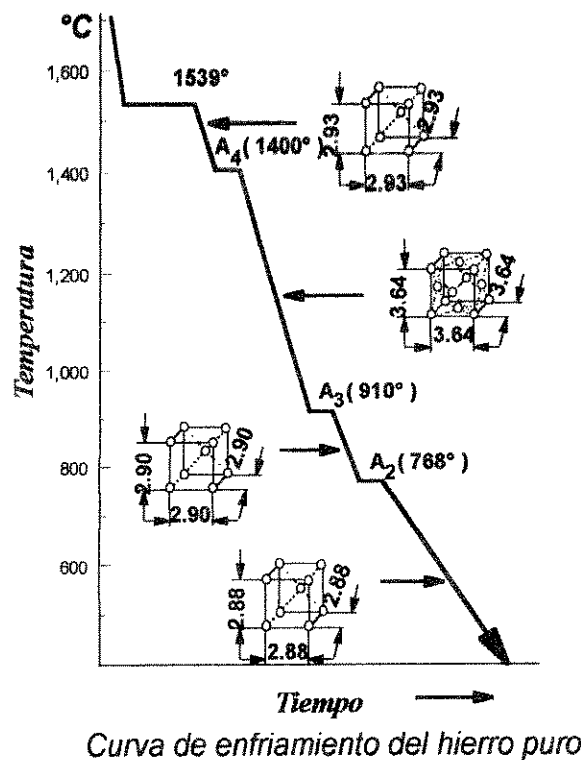
ellos. La ordenación geométrica de los átomos en los cuerpos cristalinos da a las propiedades de estos ciertas particularidad que los diferencian de otros cuerpos no cristalinos o amorfos. Como se ha mencionado, la primera particularidad es la anisotropía, es decir, su vectorialidad, o sea, la variación de las propiedades físicas en distintas direcciones. Si tomamos un cristal grande del metal (monocristal) y cortamos de él en distintas direcciones con respecto al eje del cristal una muestras e investigamos sus propiedades mecánicas y físicas, podemos llegar a confirmar la presencia de la anisotropía. Algunos metales como el hierro, manganeso, cobalto, estaño, puede tener, según la temperatura de calentamiento, distintas estructuras en sus redes cristalinas y, por consiguiente, poseer propiedades diferentes. Este fenómeno se denomina alotropía o polimorfismo. Las formas alotrópicas suelen representarse por la letras del alfabeto griego: α , β , γ , etc. La transformación de una variedad alotrópica del metal en otra va acompañada de una absorción de calor al calentarse, o con el desprendimiento del calor latente al enfriarse, verificándose estos procesos a temperatura constante.

La transformación alotrópica representa en si una cristalización secundaria del metal, que es análoga al proceso de su cristalización primaria a partir del estado líquido. Para que empiece la transformación alotrópica se requiere un sobreenfriamiento, con el fin de que se formen de los núcleos de cristalización los granos nuevos, continuado luego el crecimiento de estos.

El hierro puro se presenta en dos tipos de celdas unitarias que dependen de la temperatura:

1.- La cúbica centrada en el cuerpo: que se presenta en dos intervalos de temperatura, uno de temperatura ambiente hasta los 910 °C y el otro de los 1390 °C hasta los 1538 °C.

2.- La cúbica centrada en las caras: que se presenta únicamente en el intervalo de 910 °C a 1390 °C.



A estas celdas cristalinas les quedan espacios entre sus átomos los cuales son llenados por los átomos de carbono en el caso de la aleación hierro-carbón (aceros). Y cuando el contenido de carbón es demasiado, como en el caso del hierro fundido, además de llenar estos espacios vacíos se depositan en los límites de la red.

5. DIAGRAMA HIERRO-CARBÓN (6)

El diagrama hierro-carbón, como su nombre lo indica, debe extenderse desde el hierro hasta el carbón. Sin embargo, para usos prácticos las referencias utilizan hasta un 6.67% de carbón donde forman el compuesto denominado cementita, Fe_3C .

La temperatura a que tiene lugar los cambios alotrópicos en el hierro está influida por elementos de aleación, de los cuales el más importante es el carbón. El diagrama muestra tres líneas horizontales que indican reacciones isotérmicas.

El carbón se puede encontrar en las aleaciones hierro-carbono, tanto en estado ligado (Fe_3C), como en estado libre (C, es decir, grafito), por eso, el diagrama comprende dos sistemas:

- a) Fe- Fe_3C (metaestable); comprende aceros y fundiciones blancas, o sea, las aleaciones con el carbono ligado, sin carbono libre (grafito)
- b) Fe-C (estable); Este sistema expone el esquema de formación de las estructuras en las fundiciones grises y atruchadas donde el carbono se encuentra total o parcialmente en estado libre (grafito)

A las estructuras que se forman entre el hierro y el carbono, se les asigna nombres, los cuales se definen a continuación:

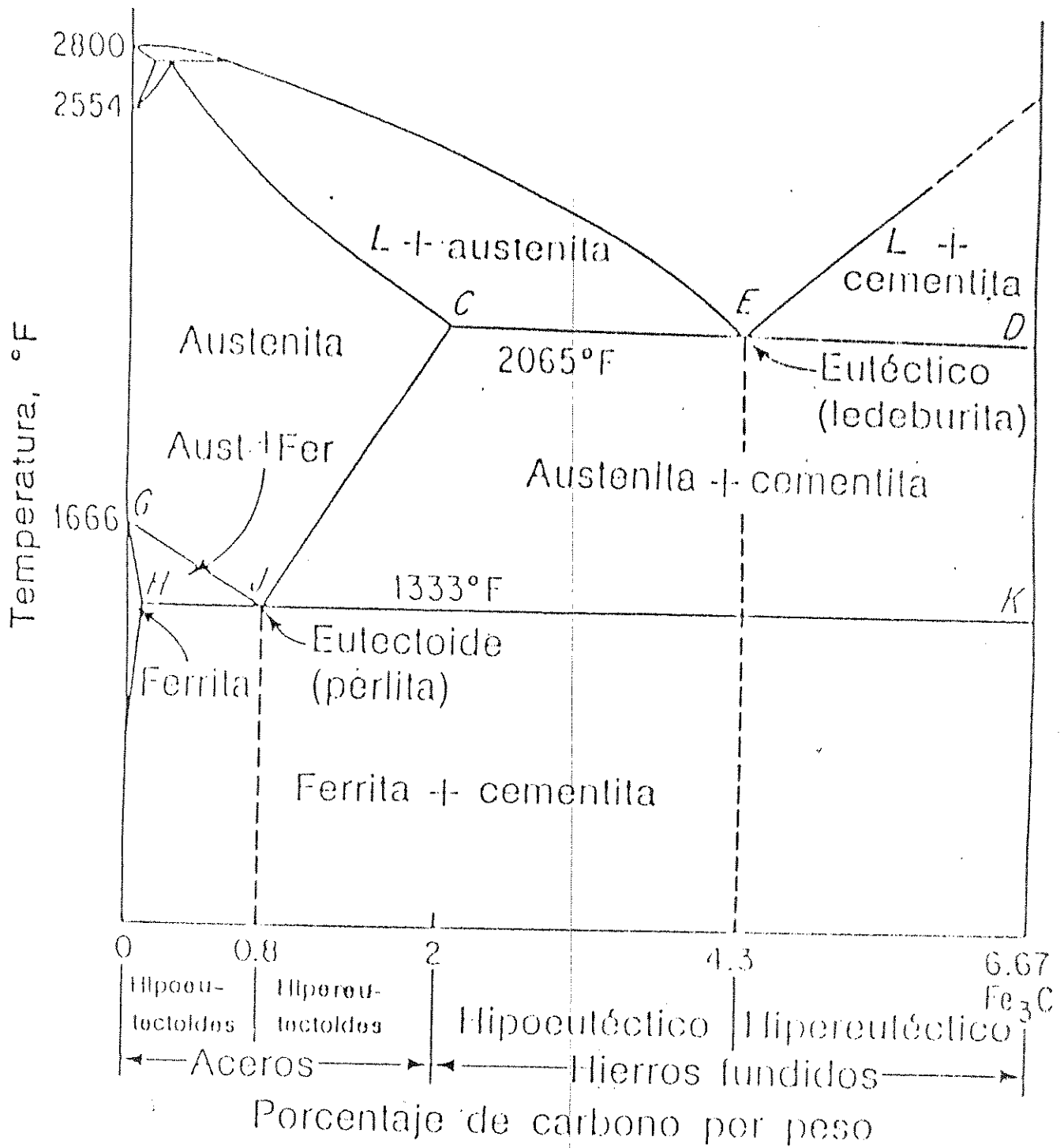


Diagrama de equilibrio hierro-carburo de hierro, marcado con los nombres comunes para las estructuras.

La cementita o carburo de hierro, fórmula química Fe_3C , contiene 6.67 % de C por peso. Es un compuesto intersticial típicamente duro y frágil de baja resistencia tensil (aprox. 5000 lb/pulg^2), pero de alta resistencia compresiva. La estructura más dura que aparece en el diagrama. Su estructura cristalina es ortorrómbica.

Austenita, es una solución sólida intersticial de carbón disuelto en hierro. La máxima solubilidad es del 2 % de c a $1129 \text{ }^\circ\text{C}$. Las propiedades promedio son: resistencia tensil, 150000 lb/pulg^2 ; elongacion, 10 por ciento en 2 pulg; dureza, Rockwell C 40, aproximadamente; y la tenacidad, alta. Generalmente no es estable a la temperatura ambiente, pero bajo ciertas condiciones, es posible obtener austenita a la temperatura ambiente.

Ledeburita, es la mezcla eutectica de austenita y cementita; contiene 4.3 % de C y se forma a $1129 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ferrita, es una solución sólida intersticial de una pequeña cantidad de carbón disuelto en hierro con estructura cúbica centrada en el cuerpo. La máxima solubilidad es de 0.025 % de C a $723 \text{ }^\circ\text{C}$, y disuelve solo 0.008 % de C a temperatura ambiente. Es la estructura más suave que aparece en el diagrama. Las propiedades promedio son: resistencia tensil, $40\ 000 \text{ lb/pulg}^2$; elongación, 40 por ciento en 2 pulga; dureza, menor que la Rockwell C 0 o que la Rockwell B 90.

Perlita, es la mezcla eutectoide que contiene 0.80 por ciento de C y se forma a $723 \text{ }^\circ\text{C}$ a un enfriamiento muy lento. Es una mezcla muy fina, tipo placa

o laminar de ferrita y cementita. La base o matriz ferrítica blanca que forma la mayoría de la mezcla eutectoide contiene delgadas placas de cementita. Las propiedades promedio son: resistencia tensil, 120000 lb/pulg²; elongación, 20 % en 2 pulg; dureza, Rockwell C 20, Rockwell B 95-100 o BHN 250-300.

5.1.- Ubicación del acero en el diagrama

El acero es una de las aleaciones más importantes del hierro. Se encuentra ubicado en el diagrama hierro-carbón de 0 a 2 % de carbón. En este sector del diagrama existen varias áreas, la más importante de ellas es la austenítica, denominada así por estar conformada de austenita, que no es más que el hierro conformado por celdas centradas en la cara, en cuyo centro se encuentra un átomo de carbón. La importancia en esta área es que se trabaja el acero más fácil mecánicamente, como por ejemplo en el proceso de laminación utilizado en industrias guatemaltecas, en el cual se utilizan aceros en el rango de 0.05% a 0.5% de contenido de carbón.

5.2.- Influencia de otros compuestos

La aleación de hierro carbón que se obtiene en la industria, no es una aleación pura, por lo tanto contiene otros elementos que en mayor o menor cantidad siempre están presentes en los tipos técnicos de acero. El contenido de estos elementos está limitado por los siguientes límites superiores, en %: 0.8 Mn, 0.5 Si, 0.05 P y 0.05 S (6). Si su contenido es mayor, el acero se considera un acero aleado o especial. Las influencias de estos elementos en el acero no aleado son las siguientes:

a) Manganese. Este elemento es utilizado para desoxidar el acero y eliminar compuestos sulfurosos. La función del manganese de contraponerse a los malos efectos del azufre ya se hizo notar. Cuando hay más manganese presente que la cantidad requerida para formar MnS , el exceso se combina con carbono para formar el compuesto Mn_3C que se asocia con el carburo de hierro, Fe_3C , en cementita. El manganese también promueve la solidez de las piezas fundidas de acero a través de su acción de desoxidación en acero líquido.

El manganese influye sensiblemente en las propiedades del acero, elevando su resistencia en las piezas laminadas en caliente y variando las propiedades plásticas y de tenacidad en el sentido transversal del laminado. Pero como en todos los aceros el contenido de manganese se mantiene constante, su influencia en el acero de distinta concentración de carbón no se siente. Este metal está presente en todos los aceros comerciales en el intervalo de 0.03 a 1.00 %. Encontrándose este rango de 0.4% a 0.8% de contenido de manganese, para aceros de bajo carbón.

b) Silicio. La influencia de las adiciones de silicio es análoga a la de manganese, con la diferencia que son menores sus concentraciones. La mayoría de los aceros comerciales contiene entre 0.05 a 0.3 % de silicio. Este metaloide se disuelve en ferrita, aumentando la resistencia del acero sin disminuir en mucho la ductilidad. Promueve la desoxidación del acero líquido a través de la formación de dióxido de silicio, SiO_2 , teniendo así a dar mayor solidez en la pieza fundida. El silicio forma óxidos (SiO_2), los cuales no logran salir a flote en la escoria y queda en el metal formando inclusiones silícicas las

cuales provocan fragilidad, presentando problemas a una concentración de silicio mayor de 0.5%.

c) Fósforo. Se encuentra en la materia prima del acero. Al disolverse el fósforo en la ferrita, el fósforo eleva bruscamente la temperatura de transición al estado frágil, es decir, provoca la fragilidad en frío del acero. El contenido de fósforo generalmente se mantiene por debajo del 0.04 %, cantidad que tiende a disolver en ferrita, aumentando ligeramente la resistencia y la dureza. En algunos aceros, del 0.07 al 0.12 % de fósforo parece mejorar las propiedades de corte. En mayores cantidades, el fósforo reduce la ductilidad, aumentando con ello la tenacidad del acero a agrietarse cuando se trabaja en frío.

d) Azufre. Al igual que el fósforo se obtiene de la materia prima. El azufre no es soluble en el hierro; sin embargo, forma el compuesto sulfuro ferroso, se sitúa por lo general en los límites de grano, hace que el acero sea frágil a 800°C y temperaturas superiores. En los aceros comerciales, el azufre generalmente se mantiene por debajo del 0.05 %.

Este no metal se combina con el hierro para formar sulfuro de hierro (FeS), el cual forma, a su vez, una aleación eutéctica de bajo punto de fusión, con hierro que tiende a concentrarse en las fronteras de grano. Cuando el acero se forja o lamina a altas temperaturas, se hace frágil, debido a la fusión del eutéctico sulfuro de hierro que destruye la cohesión entre los granos, permitiendo que se desarrollen grietas.

En presencia de manganeso, el azufre tiende a formar sulfuro de manganeso (MnS) en vez de sulfuro de hierro. El sulfuro de manganeso puede salir en la escoria o permanecer como inclusión bien distribuidas por toda la estructura. Se recomienda que la cantidad de manganeso sea de dos a ocho veces la cantidad de azufre.

En los aceros de maquinado libre, el contenido de azufre aumenta entre 0.08 y 0.35 %. El mejoramiento en maquinabilidad se debe a la presencia de inclusiones sulfurosas mas numerosas que hacen pedazos las rebabas, reduciendo de esta manera el desgaste de la herramienta.

5.3.- Clasificación de los aceros al carbón

Según su aplicación, los aceros al carbón se dividen en: aceros de construcción y aceros de herramientas.

Los aceros de construcción por su destinación se dividen en:

a) aceros al carbón comunes, que se utilizan corrientemente tal como los suministran, sin tratamiento térmico ulterior.

b) aceros al carbón nobles de construcción, que se emplean para piezas que se someten al tratamiento térmico y químico-térmico.

Los aceros comunes se dividen a su vez en dos grupos:

a) Los que se clasifican por sus propiedades mecánicas. Para cada tipo de acero se prevén los límites de resistencia a la rotura, de fluencia y del alargamiento relativo.

b) Y, los que se marcan según su composición química.

Los aceros comunes se usan en gran escala para laminar chapas y viguetas con perfil especial para construcciones, estructuras de puentes y piezas no importantes de máquinas.

Cualquier acero utilizado como herramienta puede clasificarse técnicamente como acero para herramientas; sin embargo, el término suele limitarse a aceros especiales de alta calidad utilizados para corte o formado.

Hay varios métodos para clasificar los aceros para herramientas. Uno es según los medios de templado que se usen, como aceros templados en agua, aceros templados en aceite y aceros templados en aire. El contenido de la aleación es otro medio de clasificación, como aceros al carbón para herramientas, aceros de baja aleación para herramientas y aceros de mediana aleación para herramientas. Un último método de agrupación es el basado en el empleo del acero para herramienta, como aceros para trabajo en caliente, aceros resistentes al impacto, aceros de alta velocidad y acero para trabajo en frío.

6.OBTENCIÓN DE LA PALANQUILLA DE ACERO^(2,6)

Los aceros se pueden obtener por distintos procedimientos de fabricación, los cuales son: convertidor Bessemer, hornos Martin-Siemens, horno eléctrico, horno básico de oxígeno; como se mencionó anteriormente. Cada uno de estos puede tener un revestimiento refractario ácido (a base de silicio) o básico (a base de dolomita). La obtención del acero en Guatemala se lleva a cabo por medio del horno de arco eléctrico.

La aplicación de los hornos eléctricos en la fundición del hierro ha desplazado a muchos de los tipos antiguos de hornos de combustión, de modo que en las fundiciones modernas se cuenta casi siempre con la instalación de algún horno eléctrico.

Esta preferencia que se ha dado a los hornos eléctricos en los últimos años, es debida a importantes ventajas que ellos ofrecen, tanto con respecto a la calidad del material fundido, como al trabajo mismo y al manipuleo del horno. A continuación se enumeran brevemente algunas de estas ventajas:

- ① Limpieza y homogeneidad del metal, que durante la fusión no entra en reacciones químicas con otras sustancias, como en el caso de los hornos de combustión, en los cuales el metal puede estar en contacto con las escorias.

- ☞ Disminución de la oxidación del metal fundido y con ello una economía en la producción.
- ☞ Una buena regulación de la temperatura durante la fusión.
- ☞ Manejo fácil de controlar por personal no especializado.
- ☞ Buena conservación de los revestimientos refractarios.
- ☞ Poco lugar para la instalación.

Se usan generalmente dos tipos de hornos eléctricos para la fundición del hierro: de inducción magnética y el de arco voltaico.

En el horno de inducción magnética el calentamiento se produce por una corriente de mucha intensidad y de muy baja tensión. Dicha corriente circula directamente por el metal que se quiere fundir y es introducida por un bobinado primario, que es conectado a la red eléctrica de alta o baja tensión. En realidad, el metal que se funde representa la bobina secundaria compuesta de una sola espira de un transformador de potencia.

El flujo magnético que produce el bobinado primario del transformador, acopla la espira formada por el metal e induce en el mismo una corriente grande que lo funde.

En el horno eléctrico, el arco se forma entre los electrodos de grafito amorfo y el metal. La carga está compuesta por chatarra de acero de composición conocida la cual tiene de base el hierro. Al acercarse los electrodos al metal forma un arco voltaico aumentando la intensidad de corriente en ese momento, como en el caso de la soldadura eléctrica, y elevando la temperatura del medio donde circula la corriente eléctrica, de esta forma se funde el hierro. Cuando el metal ya se encuentra fundido el arco se sigue produciendo entre los electrodos y el baño líquido del metal, por lo que el metal es inducido a circular en el sentido de la corriente entre los electrodos. Este es el tipo de horno utilizado en Guatemala.

Para obtener productos de alta calidad se requiere formar dos tipos de escorias. La primera, es fuertemente oxidante con lo se adiciona cal y oxígeno en estado gaseoso. La segunda, es escoria reductora para lo cual se agrega cal y coque en polvo. Además se adicionan elementos de aleación para obtener composiciones requeridas. Cuando el acero líquido está listo se traslada a la máquina de colada continua, el proceso es pasar el acero por moldes de cobres enfriados por el exterior con agua dando así forma a la parte externa del acero, posteriormente sigue un enfriamiento lento con agua hasta llegar a formar lo que se conoce como palanquilla la cual después será procesada para obtener productos finales como varillas, clavos, alambre, etc.

6.1 Descripción del proceso de fundición

La materia prima para el proceso a continuación descrito es la chatarra de acero, la cual se clasifica sacando materiales que posean elementos no

deseados para la fabricación de acero (gaucho, cobre, estaño, etc.). Luego de esta clasificación, se realiza otra por su tamaño y peso, clasificándola en alta densidad (masas fundidas, molinos, etc.), media densidad (pacas, rollos, etc.) y baja densidad (lámina, carcaza de auto, etc.); se clasifica de esta forma ya que tiene un orden para introducirlo al proceso.

La chatarra es introducida en el horno de fusión eléctrico de arco voltaico acompañada de una cantidad de Coke y cal, los cuales se utilizan para crear escoria y poder eliminar el azufre y el fósforo. En el horno de fusión, se transforma la chatarra sólida en acero líquido, es llevada a 1650°C y es vaciado en un crisol el cual se denomina horno de afino.

En el horno de afino, se le agrega al acero grafito, manganeso, silicio y desulfurantes para poder obtener el análisis requerido. Se mantiene la temperatura constante y se homogeniza química y térmicamente por medio de una inyección de nitrógeno el cual mueve todo el acero líquido.

Luego, el crisol es transportado a la máquina de colado continuo, donde se solidifica el acero a 1490°C, y es cortado en palanquilla, las cuales son trasladadas a la planta de laminación para ser transformadas en barras de construcción.

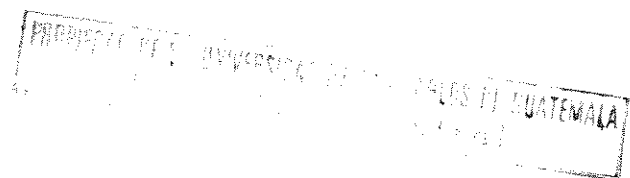
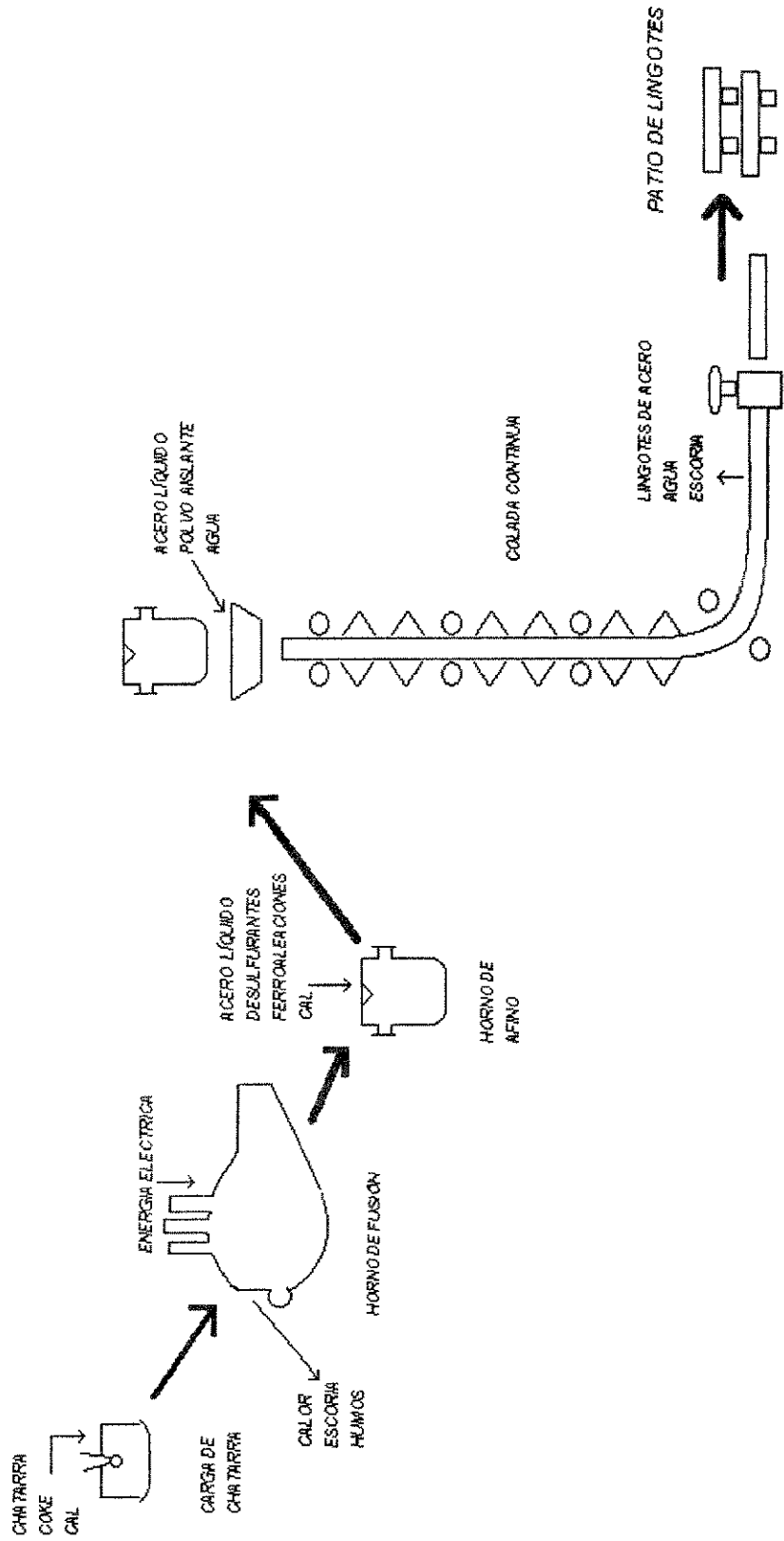


DIAGRAMA No. 1

DIAGRAMA DE FLUJO PRODUCCIÓN DE ACERO



7. OBTENCIÓN DE LA BARRA DE REFUERZO PARA CONCRETO^(1,2)

Para obtener la barra de refuerzo para concreto se utiliza el proceso llamado laminación, que es un trabajo en caliente. El trabajo en caliente se define como la deformación plástica de la palanquilla de acero a una temperatura superior a la de recristalización. Durante el trabajo en caliente, el metal cambia de forma continuamente.

Una placa gruesa de metal puede reducirse a un grosor pequeño en una serie continua de operaciones, es así como se obtiene la barra, se calienta la palanquilla a una temperatura aproximada a los 1200 °C en un horno, luego es pasada por una serie de rodillos que ejercen presión y le dan forma a la barra, ya que estos rodillos están labrados, este labrado se va reduciendo conforme se reduce el tamaño de la palanquilla hasta el diámetro deseado.

El laminador está compuesto del motor reductor caja de engranaje y una o varias cajas de trabajo. Las partes del laminador se unen con ayuda de los ejes de transmisión y los manguitos de acoplamiento. La parte fundamental del laminador es la caja de trabajo que representa un juego de rodillos de trabajo montados en un puente. Los rodillos laminadores se fabrican de fundición blanqueada o acero y, según el perfil de la pieza a obtener, pueden ser lisos, escalonados, con surco o especiales.

Los rodillos perfilados, a diferencia de los lisos, llevan en su superficie de trabajo unas escotaduras especiales, las cuales se denominan surcos; el

espacio entre los surcos contiguos de dos rodillos se denominan calibre. Cada par de rodillos con surcos posee varios calibres que, según su destino, se dividen en calibres recaladores preliminares de desbaste y de acabado.

Los laminadores desbastadores sirven para reducir lingotes de acero, convirtiéndolos en grandes piezas brutas. La barra laminada que sale del último calibre se envía por la mesa de rodillos a una guillotina, donde se efectúa el corte de los extremos. Luego es pasada por los rodillos en serie los cuales llevarán la barra a las dimensiones requeridas.

No ocurre endurecimiento durante la deformación por trabajo en caliente, por lo que la cantidad de deformación plástica es ilimitada. Finalmente, en el último rodillo la barra obtendrá su forma, marca y dimensiones para la venta y sale con una temperatura de 980 °C y se deja enfriar lentamente hasta alcanzar la temperatura ambiente.

7.1. Descripción del proceso de laminación

La palanquilla de acero es introducida a un horno rectangular con quemadores de gas, en donde es calentada a 1200 °C aproximadamente, la cual es llamada temperatura de recristalización. Al salir de este es trasladada al desbaste, en donde se reduce su área en aproximadamente un 75%.

Esta reducción se realiza modificando el área de cada lingote, ya que inicialmente tiene una forma geométrica cuadrada y luego es convertida a rectangular, regresando a la forma cuadrada con dimensiones menores.

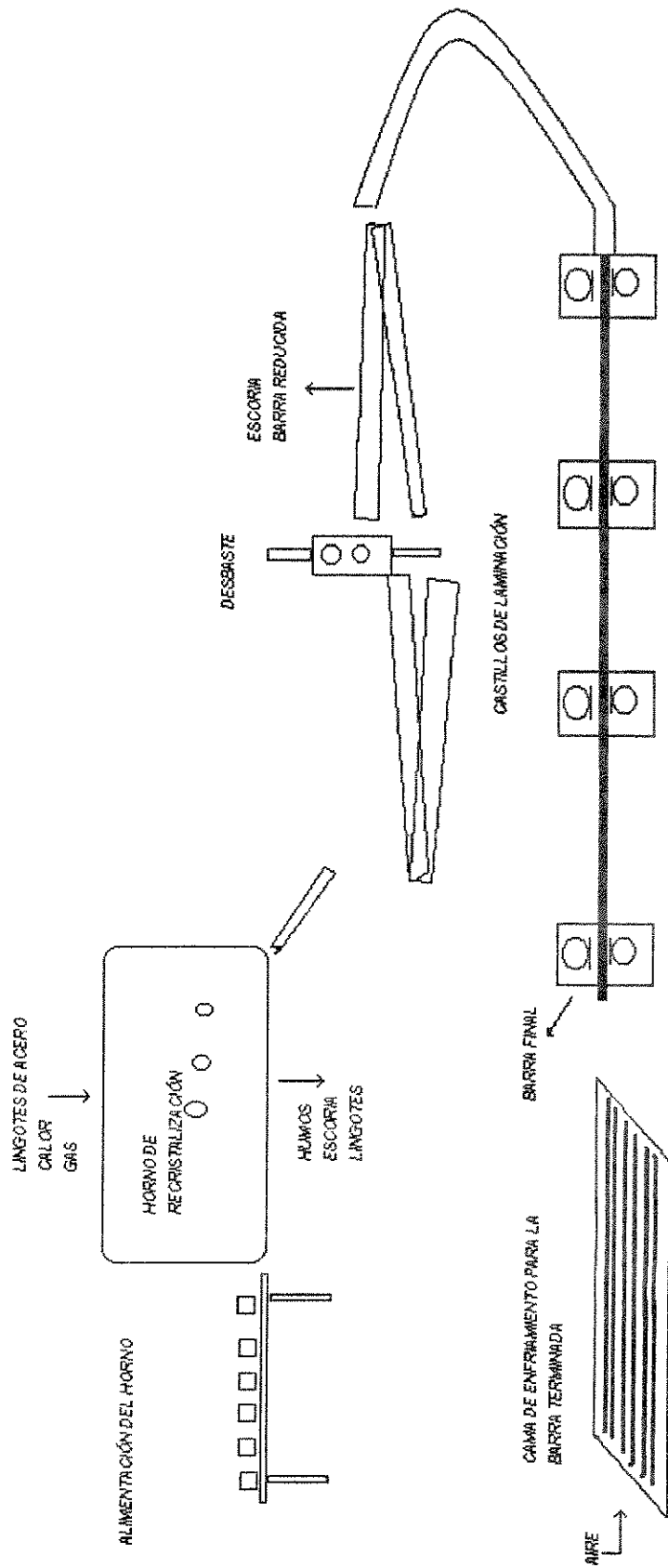
Finalmente, se obtiene una forma oval la cual al pasar al siguiente paso del proceso le dará una forma circular con su presentación final. Al salir de esta parte del proceso se corta la punta y la cola.

Luego, hay una serie de castillos (aproximadamente 12), los cuales están formados de rodillos que se encargan de reducir el área y le colocan las marcas y corrugas que la barra terminada requiere. El número de estos depende del área final de la barra.

Al salir de la serie de castillos, es cortada en las longitudes especificadas para la barra de construcción, las cuales salen a una temperatura de 300 °C y son enfriadas por corrientes de aire sobre una parrilla a la cual se le denomina cama de enfriamiento. De esta forma se obtiene la barra de refuerzo para construcción.

DIAGRAMA No. 2

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE LAMINACIÓN



8. DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN⁽⁵⁾

El esfuerzo y la deformación de uso en ingeniería se define mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Esfuerzo} = F/A_0$$

$$\text{Deformación} = (\ell_1 - \ell_0)/\ell_0$$

Donde A_0 es el área original de la sección transversal de la muestra antes de iniciar la prueba, ℓ_0 es la distancia original entre las marcas de calibración y ℓ_1 es la distancia entre las marcas después de aplicar la fuerza F .

La curva esfuerzo deformación se utiliza normalmente para registrar los resultados de un ensayo de tensión.

8.1 Límite de fluencia:

Cuando se aplica una fuerza a una probeta, el material se comporta elásticamente, o sea, cuando la fuerza deja de actuar sobre la probeta, esta vuelve a su longitud original. Cuando la fuerza es mayor a un límite, el comportamiento del material es plástico, o sea, cuando la fuerza deja de actuar la probeta a aumentado su longitud. En este límite entre el comportamiento elástico y el plástico es a lo que se denomina límite de fluencia.

8.2 Esfuerzo máximo:

Al irse estirando la probeta, el área transversal al eje va disminuyendo; sin embargo, cuando la probeta tiene el comportamiento plástico y a una fuerza determinada esta área deja de ser uniforme y se empieza a reducir más en una región que en otra, a esta región se le denomina garganta o estricción. El esfuerzo máximo es el esfuerzo en el que se inicia la estricción. El esfuerzo máximo es relativamente poco importante para la selección de los materiales o para la fabricación. El esfuerzo de fluencia determina si el metal se deforma o no, y por ello es más importante.

8.3 Esfuerzo a la ruptura:

Después de formada la estricción el área en ese punto empieza a disminuir aun con una menor fuerza, comparada con las fuerzas aplicadas antes de que empiece la estricción.

Esto se debe a que el área en la sección de estricción es menor y por ende resiste menos que con el área original. El área disminuye hasta que la probeta se rompe, el último esfuerzo realizado el momento de la ruptura es lo que se denomina esfuerzo a la ruptura. El esfuerzo de ingeniería toma el área original de la probeta, no importando la reducción en el punto de estricción, debido a ello después del esfuerzo máximo el esfuerzo empieza a decrecer.

9. PRUEBAS REALIZADAS A LA BARRA DE REFUERZO^(1,5)

9.1.- Prueba de tensión

El ensayo de tensión mide la resistencia de un material a la aplicación gradual de una fuerza tensora, hasta que ocurra la falla. Se utiliza una probeta de diámetro conocido y se le aplica una fuerza llamada carga.

Al presentar los resultados del ensayo en esta forma, se describe solamente el comportamiento de un material que tiene ese diámetro en particular. " La fuerza necesaria para producir un cierto grado de deformación es mayor si el diámetro de la muestra es mayor" (1).

En un ensayo de tensión, la operación se realiza sujetando los extremos opuestos de la pieza del material y separándolos, la probeta se alarga en una dirección paralela al acarga aplicada.

Los ensayos de tensión deben utilizarse con cautela como medios indicadores de niveles de calidad, los metales generalmente exhiben una tenacidad relativamente alta y son, por lo tanto, más adecuados y eficientes para resistir cargas tensivas, es por ello comúnmente empleado y resulta apropiado para uso general en el caso de la mayoría de los metales. Los materiales quebradizos, tales como el mortero, el concreto, y los productos de cerámica, cuyas resistencias a la tensión son bajas son más eficientes para resistir compresiones.

9.2.- Prueba de dureza

Es fácil comprender el concepto general de la dureza como una cualidad de la materia que se relaciona con la solidez y la firmeza de contorno. El ensayo de dureza puede ser utilizado para:

- El nivel de calidad de los materiales o productos puede comprobarse o controlarse mediante los ensayos de dureza. Estos pueden aplicarse para determinar la uniformidad de las muestras de un metal.

- Al establecer una correlación entre la dureza y alguna otra propiedad deseada, por ejemplo, la resistencia a la tensión, los ensayos simples de dureza pueden servir para controlar la uniformidad de la resistencia a la tensión e indicar rápidamente si son necesarios ensayos más completos. Las correlaciones son aplicables solamente en un rango de materiales en los cuales se hayan realizado ensayos previamente.

Las pruebas de dureza más comunes son la Brinell y la Rockwell. En el ensayo de dureza Brinell una esfera o bola de acero duro, normalmente de 10 mm de diámetro. El ensayo de dureza Rockwell utiliza una bola de acero de diámetro pequeño para materiales suaves, y cono de diamante para materiales más duros.

10. NORMALIZACIÓN: ESPECIFICACIÓN DE LA BARRA DE ACERO

10.1.- Normas Nacionales

Las normas nacionales son las del COGUANOR NGO. 36011, y son basadas en las normas ASTM y SI. Esto es debido a la importancia que tiene en la construcción el límite de fluencia en las barras, además normaliza las dimensiones de cada barra de refuerzo. Sin embargo, es de importancia obtener una relación entre la composición química y estas normas no solo para mejorar la calidad sino para producir una barra a bajo costo.

10.2.- Normas Internacionales

Existen varias normas internacionales que clasifican el acero en base a su composición química y algunas en función de sus características mecánicas. El American Iron and Steel Institute (AISI) ha publicado intervalos de composición estándares para los aceros al carbón simple. La clasificación la realiza por medio de un sistema numérico, el cual consta de 4 o 5 números. Las normas AISI y SAE utilizan el método de clasificar el acero por su composición química se diferencia en que las normas AISI identifican el proceso por el que se obtuvo el acero. Las normas ASTM y SI utilizan la clasificación por medio del límite de fluencia, la diferencia entre esta dos normas es el de las dimensionales utilizadas, y ambas son utilizadas como referencia en el ensayo de tensión.

11. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

El acero se procesa en un horno eléctrico en la región de Escuintla, controlando la composición química de la palanquilla formada. Después la palanquilla es laminada en la planta de ACEROS en Guatemala, de donde se toma una muestra de diámetro establecido.

Esta muestra es analizada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC aplicándosele la prueba de tensión. La prueba de tensión consiste en que a cada barra a analizar es sometida a dos fuerzas de igual magnitud, pero en dirección contraria, estas fuerzas son aplicadas de forma tal que la barra queda sometida a tensión, la fuerza es aplicada hasta que la barra se fractura obteniendo una serie de datos de las propiedades mecánicas de la barra.

La barra fracturada será enviada al laboratorio de SIDEGUA donde se analizara para conocer su composición química. Esta composición es determinada por medio del espectómetro, en el cual se le suministra energía eléctrica a la muestra de acero excitando los átomos, y los electrones cambian de una órbita a otra, cuando a cesado la excitación el electrón regresa a su órbita liberando energía la cual es captada por un sistema de espejos que están conectados a una terminal computarizada en donde puede leerse las concentraciones de elementos.

Con una población mínima de 15 muestras se evaluará estadísticamente la relación adecuada entre la composición elemental del acero

con respecto a las propiedades físico-mecánicas de la barra de refuerzo para concreto.

Los cálculos se realizarán en una computadora personal APTIVA de IBM en el programa estadístico para correlaciones múltiples lineales de LOTUS 123. Esta correlación se basa en realizar un sistema de ecuaciones formando una matriz cuadrada, y con el cual al encontrar la solución se encuentra la ecuación que sirve para calcular los resultados (en este caso las respuesta mecánicas), a partir de las series de datos (en este caso los análisis químicos).

El sistema de ecuaciones se compone de la siguiente forma:

$$SY = aN + bSX_1 + cSX_2 + \dots + zSX_n$$

$$SYX_1 = aSX_1 + bSX_1^2 + cSX_1X_3 + \dots + zSX_1X_n$$

$$SYX_n = aSX_n + bSX_nX_1 + cSX_nX_2 + \dots + zSX_n^2$$

Donde la letra Y representa las diferentes respuestas mecánicas y las literales X con subíndice los distintos porcentajes de los elementos químicos que componen el acero.

La correlación de esta ecuación se encuentra como la correlación de mínimos cuadrados, utilizando la desviación típica de la variable respuesta y el error típico de estima de la población.

12. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas, éstos se presentan en gráficas acompañados de los datos que se obtuvieron de la ecuación de correlación de los mismos con los elementos químicos, o sea, que fueron calculados, para cada colada, las respuestas mecánicas a partir de su composición elemental.

Gráfica No. 1 :

Esta gráfica presenta en el eje horizontal la identificación de las barras analizadas y en el eje vertical el intervalo en megapascales en los que se presentaron los datos, esta dimensión es la utilizada en el sistema internacional para definir la fuerza por unidad de área. Con rombos se identifica los resultados de el límite de fluencia obtenidos en la prueba de tensión efectuada a cada barra. Con cuadrados se identifican los resultados obtenidos a partir del análisis químico elemental de cada una de las barras, a partir del modelo estadístico:

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + eX_4 + fX_5$$

La cual con sus factores se define con una correlación de 0.908568 y de la siguiente manera:

$$LF = 300.16 + 230.84 * C + 10.78 * Mn - 664.29 * S + 650.86 * P + 52.96 * Cu$$

Donde:

LF = límite de fluencia de la barra

C = porcentaje de Carbono en la barra

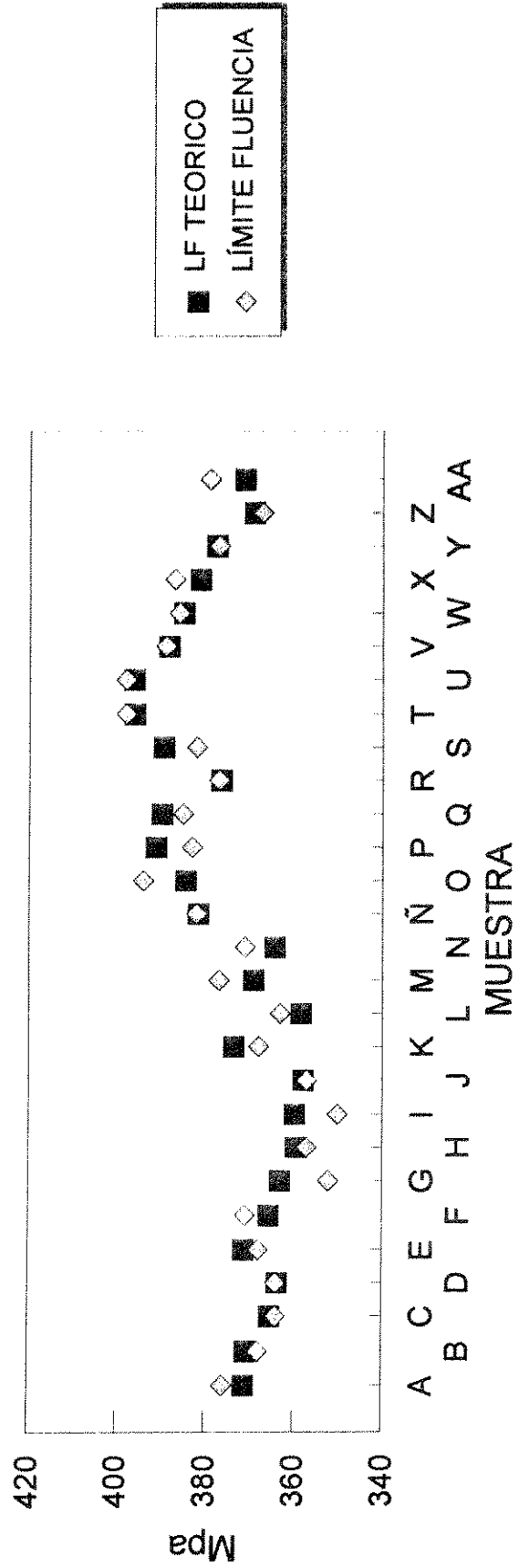
Mn = porcentaje de Manganeso en la barra

S = porcentaje de Azufre en la barra

P = porcentaje de Fósforo en la barra

Cu = porcentaje de Cobre en la barra

LÍMITE DE FLUENCIA
 CORRELACIÓN CON COMPOSICIÓN QUÍMICA



$LF=300.16+230.84*C+10.78*Mn-664.29*S+650.86*P+52.96*Cv$
 CORRELACIÓN=0.908568

Gráfica No. 2 :

Esta gráfica presenta en el eje horizontal la identificación de las barras analizadas y en el eje vertical el intervalo en megapascales en los que se presentaron los datos, esta dimensión es la utilizada en el sistema internacional para definir la fuerza por unidad de área.

Con rombos se identifica los resultados de el esfuerzo máximo obtenidos en la prueba de tensión efectuada a cada barra.

Con cuadrados se identifican los resultados obtenidos a partir del análisis químico elemental de cada una de las barras, a partir del modelo estadístico:

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + eX_4 + fX_5$$

La cual con sus factores se define con una correlación de 0.953489 y de la siguiente manera:

$$EM = 326.25 + 658.38 * C + 88.76 * Mn - 1384.04 * S + 924.32 * P + 73.74 * Cu$$

Donde:

EM = esfuerzo máximo de la barra

C = porcentaje de Carbono en la barra

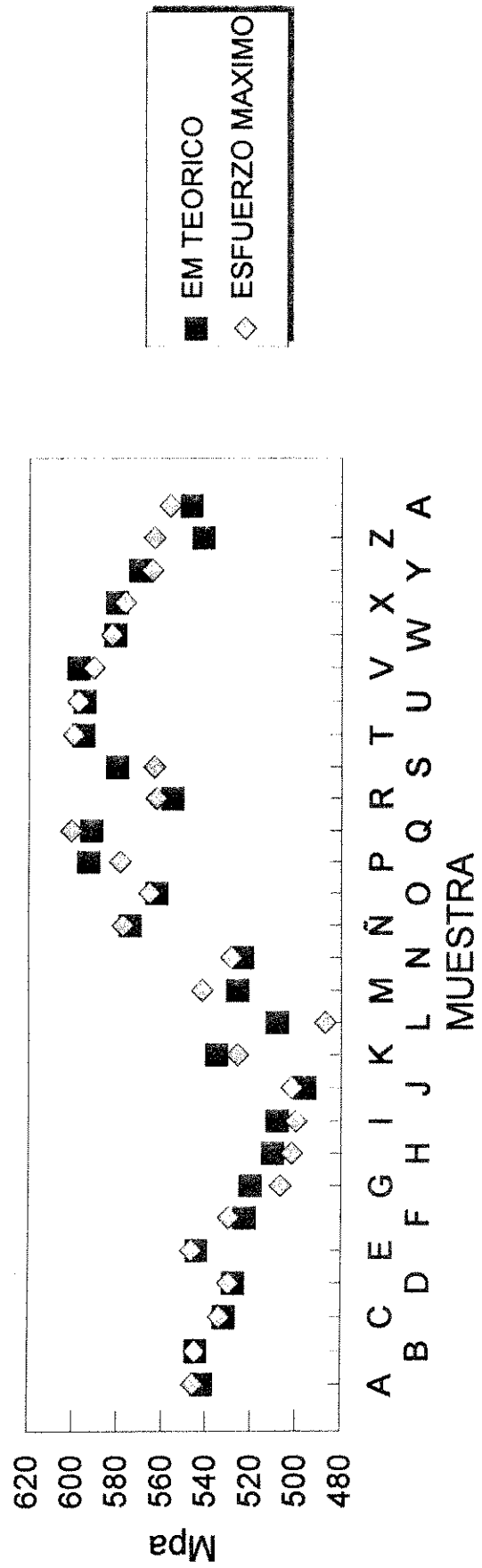
Mn = porcentaje de Manganeso en la barra

S = porcentaje de Azufre en la barra

P = porcentaje de Fósforo en la barra

Cu = porcentaje de Cobre en la barra

ESFUERZO MÁXIMO
CORRELACIÓN CON LA COMPOSICIÓN QUÍMICA



$EM = 326.25 + 658.38 * C + 88.76 * Mn - 1384.04 * S + 924.32 * P + 73.74 * Cu$
CORRELACIÓN = 0.953489

Gráfica No. 3 :

Esta gráfica presenta en el eje horizontal la identificación de las barras analizadas y en el eje vertical el intervalo en porcentaje en los que se presentaron los datos, esta dimensión es la utilizada en el sistema internacional para definir al alargamiento obtenido en la barra.

Con rombos se identifica los resultados de el alargamiento obtenidos en la prueba de tensión efectuada a cada barra.

Con cuadrados se identifican los resultados obtenidos a partir del análisis químico elemental de cada una de las barras, a partir del modelo estadístico:

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + eX_4 + fX_5$$

La cual con sus factores se define con una correlación de 0.34158 y de la siguiente manera:

$$\text{ALAR.} = 21.68 + 22.03 * C + 8.09 * \text{Mn} - 60.05 * \text{S} - 94.8 * \text{P} + 4.02 * \text{Cu}$$

Donde:

ALAR. = alargamiento de la barra

C = porcentaje de Carbono en la barra

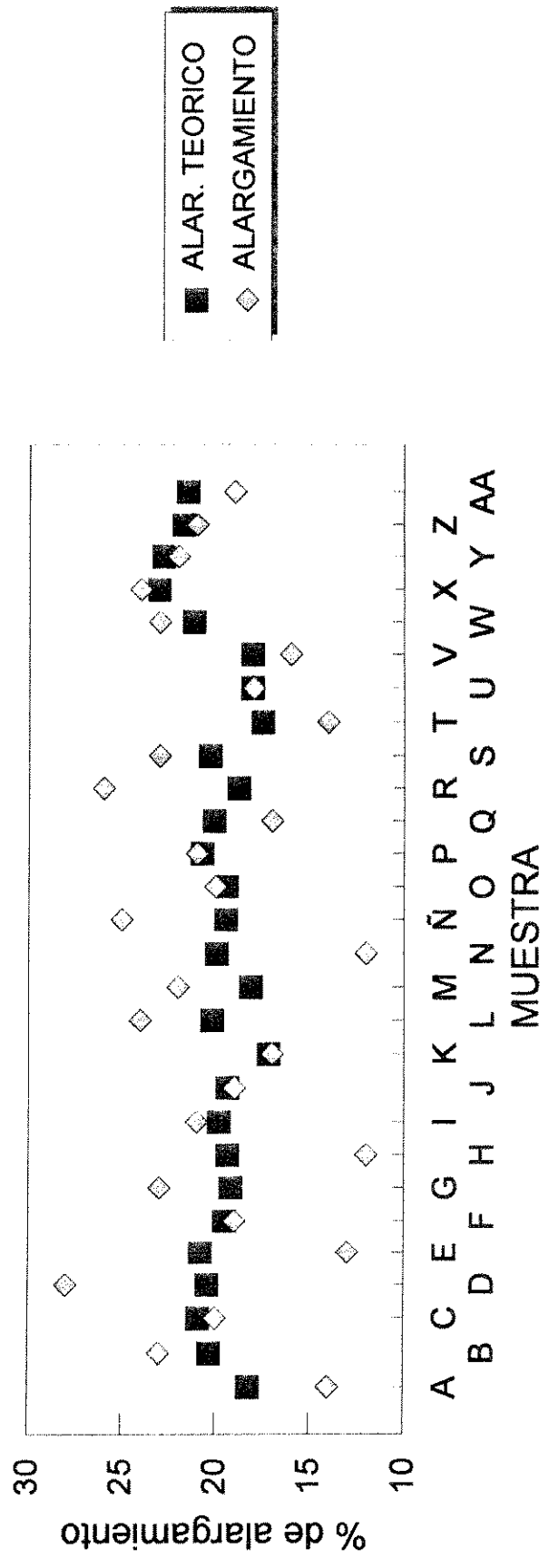
Mn = porcentaje de Manganeso en la barra

S = porcentaje de Azufre en la barra

P = porcentaje de Fósforo en la barra

Cu = porcentaje de Cobre en la barra

ALARGAMIENTO
CORRELACIÓN CON LA COMPOSICIÓN QUÍMICA



ALAR.=21.68+22.03*C-8.09*Mn-60.05*S-94.8*P+4.02*Cu
 CORRELACIÓN=0.34158

13. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como objetivo fundamental de esta investigación, se intenta obtener una relación entre la composición química de la barra de refuerzo para concreto y sus propiedades mecánicas; ya que cada elemento individualmente afecta estas propiedades (ref. 2, 3), se quiere encontrar cómo en conjunto, éstas propiedades varían.

En el presente trabajo se tomaron muestras de acero procesado en la planta de SIDEGUA en la región de Escuintla, estas muestras, considerando su análisis químico se trabajaron para obtener barra de acero para refuerzo de concreto No. 3 Grado 40 en la planta de Aceros de Guatemala, y luego, para realizarles la prueba físico-mecánica son enviadas al Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, y poder determinar el grado de cada barra según las especificaciones de la norma COGUANOR 36011. Posteriormente, para realizar un control cruzado, a uno de los extremos de las barras ensayadas se le realiza nuevamente el análisis químico por medio del espectrometro, para confirmar que el análisis obtenido fuera el que se esperaba ya que por los métodos utilizados en el proceso, algunos elementos son modificados en su porcentaje y otros quedan con el mismo del análisis final de la colada cuando se obtiene el acero en palanquilla. Dicha variación representa uno de los datos confidenciales en donde se realiza el estudio por lo que para ésta investigación se utilizaran los parámetros obtenidos de las barras ensayadas.

De los 28 resultados que se enviaron al Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos se obtuvo como resultado que el 50 % de las muestras enviadas al centro de investigaciones fueron clasificadas como grado 40 y el resto como grado 50.

De las muestras analizadas, los resultados de los límites de fluencia y esfuerzo máximo se encontraron por arriba del valor mínimo especificado en la norma COGUANOR 36011 para el grado 40 (límite de fluencia 276 Mpa, esfuerzo máximo 483 Mpa), sin embargo, 14 de éstas se encontraron por arriba de las especificaciones del Grado 50 (límite de Fluencia 345 Mpa, Esfuerzo Máximo 552 MPa) por lo que el Centro de Investigaciones de Ingeniería los identifica con dicho grado. Las barras clasificadas como grado 50 también pueden ser consideradas como grado 40 ya que en la norma COGUANOR 36011 especifica que para clasificar en algún grado la barra debe cumplir con sobre pasar los límites establecidos para el grado, proporcionando de esta forma un límite inferior y no proporciona ninguna especificación sobre el límite superior,, es así que si las características mecánicas cumplen con pasar del límite de grado 40 aunque una de ellas sobrepase el límite del grado 50 e incluso el del 60 ésta barra será considerada como grado 40.

De las muestras que se identifican como Grado 40, en lo que corresponde a su límite de fluencia todas se encuentran arriba del valor mínimo del Grado 50, mientras que el esfuerzo máximo está por debajo del valor mínimo del mismo grado, por ese motivo es que se clasifica como Grado 40, ya que la norma coguanor especifica que: "Las barras de acero para hormigón

armado, deberán cumplir con los requisitos mínimos de la máxima resistencia a la tensión indicados en la tabla No. 2 de la norma” .

De las muestras que se identifican como Grado 50, en ambas características mecánicas se encuentran por arriba del valor mínimo especificado para éste grado en la norma COGUANOR 36011.

Con lo que respecta al porcentaje de elongación en las 28 muestras que se analizaron cumplieron con el valor mínimo (11%).

Con lo que respecta al análisis químico según las especificaciones de SIDEGUA para el Grado 40, las muestras que obtuvieron este grado, de todos los elementos analizados el que mayor porcentaje fuera de especificación presenta es el Carbón con 64.29%, mientras que las que se identificaron como Grado 50, siempre con respecto a las mismas especificaciones del análisis químico, los que mayor porcentaje fuera de especificación presentan son el Carbón con 100%, Manganeso con 64.3%.

Con base en estas observaciones se puede determinar que el límite de fluencia en ésta población se encuentra arriba de la especificación para el Grado 50, debido a que el mayor porcentaje de los análisis de Carbón se encuentran por encima del límite superior de las especificaciones de SIDEGUA para el Grado 40.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

El esfuerzo máximo en las muestras que sobrepasaron el límite mínimo para el Grado 50, se observó que fueron las que mayor porcentaje

sobrepasaron el límite máximo con lo que respecta a los elementos de Mn y Cu, en ambos casos el resto de elementos en su mayoría, se encontraron dentro de las especificaciones.

Para el caso de la elongación se tuvo un rango entre 12 y 20 y no se pudo determinar ninguna relación con lo que respecta a los análisis químicos. Con esto se puede decir que, para estas 28 muestras el límite de fluencia depende del porcentaje de Carbón, para el esfuerzo máximo estará relacionado con los porcentajes de Manganeso y Cobre y para el porcentaje de elongación no hay relación alguna con el análisis químico, todo esto sí y sólo si los demás elementos químicos se encuentran dentro de las especificaciones de SIDEGUA.

Se correlacionaron las distintas características mecánicas con su correspondiente análisis obteniéndose lo siguiente:

La correlación múltiple lineal del límite de fluencia con respecto al carbón, manganeso, azufre, fósforo y cobre dio 0.908568 que está próximo a la unidad por lo que indica que si existe la probabilidad de dicha correlación y como se puede observar en la gráfica No. 1 los datos teóricos calculados con esta relación se aproximan a los valores reales con un error de estima de 6.03 MPa. Tomando en cuenta esta correlación se observa que de los elementos químicos el que tiene el mayor coeficiente positivo en la ecuación es el fósforo por lo que este elemento influye en el aumento del límite de fluencia en mayor porcentaje, debido al costo del proceso para mantener un fósforo en porcentajes cercanos a 0.00 %, es necesario disminuir 3 veces el porcentaje del fósforo al valor máximo de carbón en las especificaciones de Sidegua, esto sí y

solo sí los otros elementos se mantienen homogéneos en las coladas; también se observa que el azufre tiene un coeficiente negativo de similar magnitud que el coeficiente del fósforo, por lo que también se puede contrarrestar el aumento del límite de fluencia con el porcentaje de azufre tratando que este sea igual o mayor que el porcentaje de fósforo, hay que tomar en cuenta que estos valores estarán sujetos independientemente a parámetros del proceso de maquinado, así por ejemplo un porcentaje de azufre que según la ecuación de límite de fluencia se encuentre dentro de las especificaciones, para el proceso de lingote a barra de construcción puede que produzca problemas y entonces la barra final ya no se pueda obtener.

La correlación múltiple lineal del esfuerzo máximo con respecto al carbón, manganeso, azufre, fósforo y cobre dió 0.953489 que es un valor cercano a la unidad por lo que indica la probabilidad de esta correlación, probabilidad aun mayor que la del límite de fluencia y como se puede observar en la gráfica No. 2 los datos teóricos calculados con esta relación se aproximan a los valores reales con un error de estima de 10.89 MPa, este es mejor que en el caso del límite de fluencia si se considera que los valores para el esfuerzo máximo deben superar en 207 MPa. Tomando en cuenta esta correlación se observa que de los elementos químicos el que tiene el mayor coeficiente positivo en la ecuación es el fósforo por lo que este elemento influye en el aumento del esfuerzo máximo en mayor porcentaje, debido al costo del proceso para mantener un fósforo en porcentajes cercanos a 0.00% es necesario disminuir 1.4 veces el porcentaje del fósforo al valor máximo de carbón en las especificaciones de Sidegua, esto si los otros elementos se mantienen homogéneos en las coladas, también se observa que el azufre tiene un

coeficiente negativo de mayor magnitud que el coeficiente del fósforo por lo que también se puede contrarrestar el aumento del esfuerzo máximo con el porcentaje de azufre.

Con lo que respecta a la correlación múltiple lineal del alargamiento la correlación es 0.34158 valor que tiene tendencia a 0 por lo que indica que no se puede tomar en cuenta para el cálculo teórico de las muestras como lo muestra la gráfica correspondiente, por lo que no se define ninguna relación lineal entre la composición química y esta característica mecánica.

Como se observó, el límite de fluencia es el que tuvo aumento mayor quedando el esfuerzo mecánico dentro del parámetro de grado 40, al comparar las ecuaciones de estas dos características, se observa que el azufre es el que tiene un porcentaje negativo y que es mayor en el esfuerzo máximo que en el límite de fluencia, al igual que todos los demás componentes solo que positivos, por lo que esto sugiere que el hecho de que el límite de fluencia tenga datos superiores sea debido a que el porcentaje de azufre contrarrestara el aumento que debería de tener también el esfuerzo máximo.

Hay que tomar en cuenta que las características mecánicas no dependen exclusivamente de la composición química, también dependen del tamaño de grano y la estructura de sus cristales, sin embargo como se pudo observar en este estudio para el límite de fluencia y el esfuerzo máximo si se puede calcular los resultados, con una probabilidad alta de acertar, a partir de su composición química y esto trae grandes beneficios en la práctica ya que de esta manera se puede aumentar o disminuir un compuesto para poder obtener

los resultados deseados si en caso, algún otro elemento se salió de las especificaciones, y así los resultados en la barra de construcción siempre estará en norma.

También hay que hacer notar que ambas características deben de cumplir con un mínimo y ambas están afectadas en distinta magnitud por los compuestos por lo que en el momento de querer estar en norma con una característica mecánica hay que revisar si la otra también está en norma.

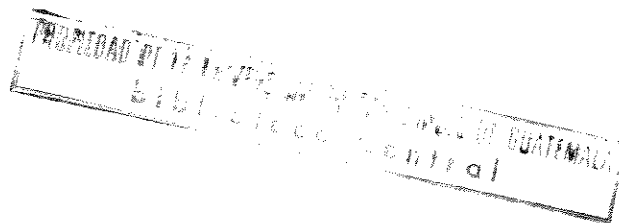
CONCLUSIONES

1.- Existe correlación múltiple lineal entre la composición química y el límite de fluencia, de la barra de acero No. 3 grado 40.

2.- Existe correlación múltiple lineal entre la composición química y el esfuerzo máximo, de la barra de acero No. 3 grado 40.

3.- La correlación múltiple lineal entre la composición química y el alargamiento, de la barra No. 3 grado 40, es insignificante.

4.- El azufre afecta inversamente proporcional al límite de fluencia y al esfuerzo mecánico, de la barra No. 3 grado 40.



RECOMENDACIONES

1.- Se recomienda continuar el análisis con los distintos diámetros comerciales de barras de construcción, para determinar si son afectados de igual manera por la composición química.

2.- Se recomienda analizar las barras de acero del grado 60, para observar la variación en las características mecánicas a partir de su composición química.

3.- Se recomienda realizar estudios sobre el efecto del tamaño de grano y la estructura cristalina, sobre las características mecánicas, sobre todo sobre el alargamiento.

REFERENCIAS

- 1.- Aguilar, Roberto "Fabricación del acero e interpretación de las normas de control de calidad aplicables al medio guatemalteco " V congreso nacional de la industria de la construcción (5) : 4-34. 1980
- 2.- Askeland, Donald La ciencia e ingeniería de los materiales México: Grupo editorial Iberoamericana, 1987, p. 150-190
- 3.- Avner, Sydney Introducción a la metalografía física 2da edición; México: McGraw-Hill, 1980, p. 246-251,348-349
- 4.- Biedermann, Hassekieff Fundición del hierro y del acero 2da edición; Argentina: talleres graficos Macagno, Landa y Cía., 1957, p. 150-153
- 5.- Copian, Gregory; Jaffe, Bernard Química ciencia de la materia, la energía y el cambio 3ra. edición; México: Publicaciones Cultura, S.A., 1968, pp. 284-291
- 6.- Enciclopedia de la mecánica, ingeniería y técnica Barcelona España: Océano/Cetrum, 1982, p.129-133
- 7.- David, Armero E. Ensaye e inspección de los materiales en ingeniería 7ma. edición; México: CECSA, 1979, p. 58-67
- 8.- Kudrin, Víctor Alexandrovich Metalurgia del acero Moscú : Mir, 1989, p.13-24

9.- Manual "**Technical descripcion quantometer**" Fisiones instrumentas ARL,
Abril 1986 USA

10.- Manual "**Testar Rockwell hardenes**" Wilson instrumenta, USA 1968

11.- Mendenhall, William Estadistica para administradores 2da. edición;
México: Grupo Editorial Iberoamérica S.A., 1990, p. 497-509

ANEXO "A"

DATOS ORIGINALES

DATOS ORIGINALES

MUESTRA	C	Mn	S	P	Cu	LÍMITE		
						ESFUERZO FLUENCIA MÁXIMO	ALARGAMIENTO	
A	0.242	0.702	0.037	0.023	0.325	376	546	14
B	0.244	0.645	0.022	0.013	0.254	368	545	23
C	0.217	0.655	0.014	0.005	0.263	364	534	20
D	0.218	0.659	0.019	0.007	0.264	364	530	28
E	0.24	0.644	0.02	0.01	0.293	368	547	13
F	0.203	0.611	0.018	0.017	0.244	371	530	19
G	0.216	0.608	0.025	0.018	0.215	352	507	23
H	0.199	0.628	0.026	0.013	0.291	357	502	12
I	0.204	0.593	0.029	0.012	0.331	350	500	21
J	0.196	0.537	0.035	0.017	0.354	357	502	19
K	0.201	0.699	0.028	0.031	0.339	368	526	17
L	0.194	0.611	0.02	0.008	0.28	363	487	24
M	0.214	0.638	0.034	0.026	0.346	377	542	22
N	0.212	0.631	0.021	0.012	0.272	371	529	12
N	0.264	0.775	0.025	0.017	0.333	382	578	25
O	0.24	0.647	0.022	0.026	0.37	394	566	20
P	0.298	0.683	0.024	0.02	0.336	383	579	21
Q	0.273	0.771	0.018	0.018	0.35	385	601	17
R	0.23	0.758	0.023	0.019	0.339	377	563	26
S	0.26	0.701	0.021	0.02	0.428	382	564	23
T	0.273	0.774	0.03	0.038	0.372	398	600	14
U	0.265	0.766	0.024	0.035	0.373	398	598	18
V	0.254	0.988	0.021	0.017	0.411	389	591	16
W	0.294	0.687	0.028	0.013	0.372	386	583	23
X	0.306	0.627	0.017	0.003	0.246	387	577	24
Y	0.288	0.628	0.015	0.002	0.24	377	565	22
Z	0.235	0.637	0.014	0.003	0.283	367	564	21
AA	0.248	0.647	0.02	0.005	0.318	379	557	19

ANEXO "B"

DATOS CALCULADOS

DATOS CALCULADOS

MUESTRA	LÍMITE TEÓRICO	ESFUERZO MÁXIMO, TEÓRICO	ALARGAMIENTO TEÓRICO
A	371.19683115	541.90074619	18.23648
B	370.73957285	544.4401437	20.30506
C	365.1987125	531.8929601	20.90435
D	363.50596245	527.9085607	20.40817
E	371.24675235	544.5887722	20.78632
F	365.63959585	522.9249319	19.49758
G	363.0733325	520.3151862	19.17651
H	359.47086115	510.4964248	19.35967
I	359.7223043	508.5547798	19.82841
J	357.75848085	496.3305467	19.36327
K	373.6268819	535.5243027	17.19574
L	358.28222515	508.5671278	20.17715
M	369.1008532	526.2591402	18.11746
N	364.16844855	523.9164548	19.94051
Ñ	381.5521664	574.516969	19.45228
O	384.44200225	562.5539634	19.4346
P	391.18451275	593.1140578	20.73329
Q	389.78766805	591.953466	20.07683
R	376.46838765	555.6823985	18.79533
S	389.4716225	580.6294512	20.30046
T	396.0309201	595.7199569	17.52426
U	396.18400775	595.3478735	18.06147
V	388.32801455	598.1268436	18.0627
W	384.99762305	581.4837422	21.18095
X	381.24664015	580.7488732	23.03281
Y	377.4622796	570.3881854	22.81894
Z	368.91717	541.7721694	21.71654
AA	371.19544375	547.3439017	21.51284

ANEXO "C"

TABLA DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

NORMAS COGUANOR 36011

Tabla 2 - Requisitos de tensión y elongación de las barras de acero lisa y
corrugadas para hormigón armado

Características		Grado del acero, Sistema Internacional (sistema inglés)				
		228 (33)	276 (40)	345 (50)	414 (60)	
		Fabricadas a partir de lingote o planquilla	Fabricadas a partir de lingote o planquilla	Fabricadas a partir de riel de ferrocarril de sección T	Fabricadas a partir de lingote o planquilla	Fabricadas a partir de riel de ferrocarril de sección T
Límite de fluencia, mínimo	en MPa	228	276	345	414	414
	en libras por pulgada cuadrada	33 000	40 000	50 000	60 000	60 000
Máxima resistencia a la tensión, valor mínimo	en MPa	379	483	552	621	621
	en libras por pulgada cuadrada	55 000	70 000	80 000	90 000	90 000
Elongación, en 203mm (8 pulgadas), mínimo, en porcentajes para las siguientes designaciones:						
	3	20	11	6	9	6
	4, 5, 6	20	12	7	9	6
	7	20	11	6	8	5
	8	20	10	5	8	4,5
	9	20	9	5	7	4,5
	10	20	8	5	7	4,5
	11	20	7	5	7	4,5
	14, 18	20	-	-	7	-

Tabla 3 - Prueba de doblado a 180°

Número de designación de la barra	Diámetro del mandril para los siguientes grados del acero, Sistema Internacional (sistema inglés)				
	228 (33)	276 (40)	345 (50)	414 (60)	
	Fabricadas a partir de lingote o planquilla	Fabricadas a partir de lingote o planquilla	Fabricadas a partir de riel de ferrocarril de sección T	Fabricadas a partir de lingote o planquilla	Fabricadas a partir de riel de ferrocarril de sección T
3, 4, 5	4d	4d	6d	4d	6d
6	5d	5d	6d	5d	6d
7, 8	5d	5d	6d	6d	6d
9, 10	5d	5d	8d	8d	8d
11	5d	5d	8d (1)	8d	8d (1)

d = diámetro nominal de la barra

(1) esta prueba se realiza a 90° en vez de 180°

Continúa

ANEXO "D"

TABLA DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

NORMA ASTM A 615


 A 615

TABLE 1 Deformed Bar Designation Numbers, Nominal Weights, Nominal Dimensions, and Deformation Requirements

Bar Designation No. ^a	Nominal Weight, lb/ft	Nominal Dimensions ^a			Deformation Requirements, in.		
		Diameter, in.	Cross-Sectional Area, in. ²	Perimeter, in.	Maximum Average Spacing	Minimum Average Height	Maximum Gap (Chord of 12½ % of Nominal Perimeter)
3	0.376	0.375	0.11	1.178	0.262	0.015	0.143
4	0.666	0.500	0.20	1.571	0.350	0.020	0.191
5	1.043	0.625	0.31	1.963	0.437	0.028	0.239
6	1.502	0.750	0.44	2.356	0.525	0.038	0.286
7	2.044	0.875	0.60	2.749	0.612	0.044	0.334
8	2.670	1.000	0.79	3.142	0.700	0.050	0.383
9	3.400	1.128	1.00	3.544	0.790	0.056	0.431
10	4.303	1.270	1.27	3.990	0.889	0.064	0.487
11	5.313	1.410	1.56	4.430	0.987	0.071	0.540
14	7.65	1.693	2.25	5.32	1.185	0.085	0.648
18	13.60	2.257	4.00	7.09	1.58	0.102	0.864

^a The nominal dimensions of a deformed bar are equivalent to those of a plain round bar having the same weight per foot as the deformed bar.

^b Bar numbers are based on the number of eighths of an inch included in the nominal diameter of the bars.

5.3 An analysis may be made by the purchaser from finished bars. The phosphorus content thus determined shall not exceed that specified in 5.1 by more than 25 %.

6. Requirements for Deformations

6.1 Deformations shall be spaced along the bar at substantially uniform distances. The deformations on opposite sides of the bar shall be similar in size and shape.

6.2 The deformations shall be placed with respect to the axis of the bar so that the included angle is not less than 45°. Where the line of deformations forms an included angle with the axis of the bar of from 45 to 70° inclusive, the deformations shall alternately reverse in direction on each side, or those on one side shall be reversed in direction from those on the opposite side. Where the line of deformation is over 70°, a reversal in direction is not required.

6.3 The average spacing or distance between deformations on each side of the bar shall not exceed seven tenths of the nominal diameter of the bar.

6.4 The overall length of deformations shall be such that the gap between the ends of the deformations on opposite sides of the bar shall not exceed 12½ % of the nominal perimeter of the bar. Where the ends terminate in a longitudinal rib, the width of the longitudinal rib shall be considered the gap. Where more than two longitudinal ribs are involved, the total width of all longitudinal ribs shall not exceed 25 % of the nominal perimeter of the bar; furthermore, the summation of gaps shall not exceed 25 % of the nominal perimeter of the bar. The nominal perimeter of the bar shall be 3.14 times the nominal diameter.

6.5 The spacing, height, and gap of deformations shall conform to the requirements prescribed in Table 1.

7. Measurements of Deformations

7.1 The average spacing of deformations shall be determined by dividing a measured length of the bar specimen by the number of individual deformations and fractional parts of deformations on any one side of the bar specimen. A measured length of the bar specimen shall be considered the distance from a point on a deformation to a corresponding point on any other deformation on the same side of the bar. Spacing measurements shall not be made over a bar area containing bar marking symbols involving letters or numbers.

7.2 The average height of deformations shall be determined from measurements made on not less than two typical deformations. Determinations shall be based on three measurements per deformation, one at the center of the overall length and the other two at the quarter points of the overall length.

7.3 Insufficient height, insufficient circumferential coverage, or excessive spacing of deformations shall not constitute cause for rejection unless it has been clearly established by determinations on each lot (Note 5) tested that typical deformation height, gap, or spacing do not conform to the minimum requirements prescribed in Section 6. No rejection may be made on the basis of measurements if fewer than ten adjacent deformations on each side of the bar are measured.

NOTE 5—A lot is defined as all the bars of one bar number and pattern of deformation contained in an individual shipping release or shipping order.

8. Tensile Requirements

8.1 The material, as represented by the test specimens, shall conform to the requirements for tensile properties prescribed in Table 2.

8.2 The yield point or yield strength shall be determined by one of the following methods:

8.2.1 The yield point shall be determined by drop of the beam or halt in the gage of the testing machine.

8.2.2 Where the steel tested does not have a well defined yield point, the yield strength shall be determined at extension under load using an autographic diagram method or an

TABLE 2 Tensile Requirements

	Grade 40 ^a	Grade 60	Grade 75 ^b
Tensile strength, min, psi	70 000	90 000	100 000
Yield strength, min, psi	40 000	60 000	75 000
Elongation in 8 in., min, %:			
Bar No.			
3	11	9	...
4, 5, 6	12	9	...
7, 8	...	8	...
9, 10	...	7	...
11, 14, 18	...	7	6

^a Grade 40 bars are furnished only in sizes 3 through 6.

^b Grade 75 bars are furnished only in sizes 11, 14, and 18.