

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**TEMPLABILIDAD
FUNDAMENTOS Y UTILIDAD
DE ESTA CARACTERISTICA
EN LOS ACEROS**

TESIS PROFESIONAL
Juan Eduardo Sodi y de la Tierra



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

TEMPLABILIDAD
FUNDAMENTOS Y UTILIDAD
DE ESTA CARACTERISTICA
EN LOS ACEROS

T E S I S
que para obtener el título de:
INGENIERO QUIMICO

Presenta:

JUAN EDUARDO SODI Y DE LA TUERA

México, D. F.
1 9 6 4

A MIS PADRES

POR SU EJEMPLO Y CARRO.

A MI TIA GRACIELLA

MI ABUELITA

MIS HERMANOS

MIS AMIGOS.

INTRODUCCION.

AL APROXIMAR EL DILEMA SOBRE EL TEMA QUE DEBERIA DE TRATAR MI TESIS - NO QUISE ORIENTAR EL DESARROLLO DE ESTA HACIA LA INVESTIGACION, BASICAMENTE POR LA FALTA DE ARMAS PARA APROXIMAR UNA RESPONSABILIDAD DE ESTE TIPO.

ME PASABA MAS INTERESANTE Y MAS ACERCA A MI CARACTER, EL PROFUNDIR EN UN TEMA Y DESARROLLARLO, CUANDO CON EL ARTELO QUIMICO QUE ALGUNA VEZ ALGUIEN - ME USABA CON EL NOMBRE DE ARQUIMEDIO.

COMENCE EN LA CARRERA DE INGENIERO QUIMICO BASICAMENTE DA UN INSTRUMENTO QUIMICO, FISICO Y MATEMATICO PARA PODER PROFUNDIR EN TEMAS COMUNES A ESTAS CIENCIAS. Es POR ESO QUE NO TUVE MIEDO AL ADENTRAME EN LOS TERRENOS DE LA METALURGIA QUE ES UNA CIENCIA NETAMENTE FISICO-QUIMICA.

A PESAR QUE EVIDENTEMENTE NO SE HA LOGRADO EN EL DESARROLLO DE ESTA TESIS EL HACER UNA RECOPIACION DE GRAN CATEGORIA, NO CULPEMOS DE ESTO A LA FALTA DE INTERES DEL TESTANTE, SINO MAS BIEN A SUS POCAS POSIBILIDADES INTELECTUALES.

LA RAZON PRINCIPAL AL SELECCIONAR ESTE TEMA FUE EL CONSIDERARLO COMO BASICO EN LA METALURGIA DEL ACERO, A SU VEZ LA EXPOSICION TRATA DE HACERSE, - PARTIENDO DE BASES METALURGICAS SENCILLAS Y DESARROLLANDOLAS DESIDAMENTE HASTA LOS FINES DESIADOS.

LOS DATOS TRATARON DE OBTENERSE DE LAS FUENTES MAS FIDELICIAS, GENE- RALMENTE LAS UNIDADES USADAS SON DEL SISTEMA INGLIS, YA QUE SON LAS DE USO MAS DIFUNDIR MENOS LOS DATOS DE TEMPERATURAS QUE SI SE DAN EN GRADOS CENTIGRADOS - CUANDO ES POSIBLE.

En el Apéndice aparecen algunas tablas de posible interés y que es -
conveniente tener a la mano al estudiar este tipo de problemas.

Quiero agradecer su magnánima ayuda al Sr. ENRICO SCLAVO y al Ing. -
ALBERTO ORSOGGI PEREZ, uno por poner a mi alcance su gran acervo de conoci- -
mientos y el otro por la gran amistad con que se prestó a dirigir esta tesis.

Vale la pena recordar el cariño y dedicación de los Profesores de
la Facultad de Química de la Universidad Iberoamericana, así como la de su Ex-
Director el Dr. P. Luis Verza y la de su actual Director Ing. Alejandro Pardo de
la Escuela.

CONTENIDO.

CAPITULO I.- PRINCIPIOS BASICOS DE TRANSFORMACIONES EN LOS ACEROS. 1

ELEMENTOS QUE ACOMPAÑAN EL ACERO	4
TRANSFORMACIONES AL CALENTAR	5
TRANSFORMACIONES AL ENFRIAR	6
TRANSFORMACIONES ISOTERMICAS	10
CURVAS DE ENFRIAMIENTO CONTINUO	16

CAPITULO II.- TEMPLABILIDAD. 20

MÉTODOS PARA MEDIR ESTA CARACTERÍSTICA	21
PRUEBA SAC	25
MÉTODOS PARA CALCULAR LA CURVA JOHNSON	25
MÉTODOS DE ADICIONES	27
MÉTODOS DEL DIÁMETRO IDEAL	33
GRABAS DE TEMPLABILIDAD	36

CAPITULO III.- GENERALIDADES SOBRE TRATAMIENTOS TERMICOS. 39

TEMPLA	39
VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO EN DIFERENTES MEDIOS	41
SEVERIDAD DE ENFRIAMIENTO	43
REVENIDO	48
EFFECTO DE LOS ELEMENTOS ALEADOS	49
CALCULO DE LA CURVA AL REVENIR	50
MÉTODOS DE ADICIONES	50
INFLUENCIA DEL TIEMPO EN EL REVENIDO	53
DETERMINACION DE LA CURVA AL REVENIR USANDO LA RELACION TIEMPO-TEMPERATURA	57
ENFRIAMIENTOS INTERRUPTIDOS	58
AUSTEMPLE	59
MARTEMPLA	59
RECOCIDO	60
NORMALIZADO	61
ESFEROIDIZADO	62
ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL	63
CARBURACION	64
CIANURACION	69
CARBONITRURACION	69
NITRURAR	72

CAPITULO IV.- ACEROS MAS COMUNES. 73

CLASIFICACION DE LOS ACEROS	73
FUNCION DE LOS ELEMENTOS ALEADOS EN EL ACERO	75
EFFECTO EN LAS TEMPERATURAS DE TRANSFORMACION	76
EFFECTO EN LA VELOCIDAD CRITICA DE ENFRIAMIENTO	76
EFFECTO EN LA TEMPLABILIDAD.	79

FERTILIDAD AL TEMPLAR	80
ACEROS AL MANGANESO	82
ACEROS AL NIQUEL	82
ACEROS AL COBRO	83
ACEROS AL NIQUEL COBRO	84
ACEROS AL MOLIBDENO	84
ACEROS AL VANADIO	85
ACEROS AL TUNGSTENO	85
ACEROS AL SILICIO	86
ACEROS AL BORO	86

CAPITULO V.- PROPIEDADES FISICAS EN LOS ACEROS Y SU RELACION CON LA TEMPLABILIDAD. 87

DUREZA Y RESISTENCIA A LA TRACCION	87
LIMITES ADYACENTES	90
DUCTILIDAD	93
TENSORES A LA TRACCION Y RESISTENCIA AL IMPACTO	95
RESISTENCIA A LA FLEXION	100
MAGNETABILIDAD	100
COSTO	100

METODO PARA SELECCIONAR UN ACERO CON BASE EN SU TEMPLABILIDAD 102

CONCLUSIONES 107

APENDICE. 108

TABLA No. 1	109
TABLA No. 2	110
TABLA No. 3	111
TABLA No. 4	112
TABLA No. 5	113
TABLA No. 6	114
TABLA No. 7	115
TABLA No. 8	116

BIBLIOGRAFIA. 117

CAPITULO I

PRINCIPIOS BASICOS DE TRANSFORMACION EN LOS ACEROS.

DIAGRAMA DE EQUILIBRIO FIERRO-CARBONO.

ENTRE LOS METALES USADOS EN LA INDUSTRIA, ADQUIERE ESPECIAL IMPORTANCIA EL FIERRO, DEBIDO BASICAMENTE A SU ALEACION CON EL CARBON PARA FORMAR EL ACERO.

COMO EN TODA ALEACION, EL ESTUDIO DEL ACERO SE HACE MEDIANTE UN DIAGRAMA DE EQUILIBRIO, YA QUE EL FIERRO Y EL CARBON FORMAN UN COMPUESTO INTERMETALICO LLAMADO CARBURRO DE FIERRO O CEMENTITA (DE FORMULA Fe_3C). ESTE DIAGRAMA SE PRESENTA EN DOS FORMAS : COMO SISTEMA FIERRO-CARBONO Y COMO SISTEMA FIERRO-CARBURRO DE FIERRO. AQUI PRESENTAMOS EN LA FIGURA NO. 1 EL DIAGRAMA DE EQUILIBRIO EN SU MODALIDAD FIERRO-CARBONO.

EL EJE DE LAS ORDENADAS (0% C) REPRESENTA FIERRO EN ESTADO PURO EL CUAL TIENE TRES FORMAS ALOTROPICAS CUYAS ESTRUCTURAS CRISTALINAS SE INDICAN EN LA TABLA No. 1

TABLA No. 1

NOMBRE	FORMA CRISTALINA	TEMPERATURAS ENTRE LAS QUE EXISTE
FIERRO ALFA	CUBICO CENTRADO EN EL CUERPO	ABAJO DE 906° C
FIERRO GAMMA	CUBICO CENTRADO EN LAS CARAS	ENTRE 906° C Y 1401° C
FIERRO DELTA	CUBICO CENTRADO EN EL CUERPO	ENTRE 1401° C Y 1539° C

EL FIERRO ALFA AL SER CALENTADO A 768°C (TEMPERATURA CURIE) PASA DE FERROMAGNETICO A PARAMAGNETICO CONSERVANDO LA ESTRUCTURA CUERPO CENTRADO DEL FIERRO ALFA. ALGUNOS AUTORES HAN LLAMADO FIERRO BETA A LA VARIEDAD PARAMAGNETICA QUE SE PRESENTA ENTRE 768°C Y 906°C . PARA FINES DE ESTA TERIO SE CONSIDERA COMO FIERRO ALFA EL QUE SE ENCUENTRA ABAJO DE 906°C SIN TOMAR EN CUENTA LA FORMA ALOTROPICA BETA YA QUE SUS CARACTERISTICAS DISTINTIVAS NO INTERVIENEN EN LOS FENOMENOS A DISCUTIR.

EN LA DISECCION DE ESTE DIAGRAMA SE CONSIDERAN DE ACUERDO CON LA TERMINOLOGIA TRADICIONAL, RESPECTO A LAS ALEACIONES DE Fe-C QUE CONTIENEN ENTRE TRAZAS Y 2.0 % C.

EN LA PARTE SUPERIOR DEL DIAGRAMA SE REPRESENTA LA ALEACION EN SU ESTADO LIQUIDO., ESTA ZONA ESTA LIMITADA EN SU PARTE INFERIOR POR LA LINEA DE LIQUIDOS.

ARRIBA DE 0.30% C Y BAJO LA LINEA ANTEDICHA HAY UNA ZONA AUSTENITA-LIQUIDO EN LA QUE LA SOLIDIFICACION NO HA SIDO TOTAL, COMPLETANDOSE ESTA AL LLEGAR A LA LINEA DE SOLIDOS.

ABAJA DE 0.80% C EN LA ZONA ENTRE LOS PUNTOS A, B, H, SE PRESENTAN 2 FASES :

SOLUCION SOLIDA DE CARBON EN FIERRO DELTA Y LIQUIDO.- EN EL LIMITE INFERIOR DE ESTA ZONA EN EL PUNTO J SE EFECTUA LA SIGUIENTE REACCION PERITECTICA.

SOLUCION SOLIDA DE CARBON EN FE. DELTA + LIQUIDO → AUSTENITA. - "

LAS ZONAS AUSTENITA FIERRO DELTA Y AUSTENITA LIQUIDO SON ZONAS DE TRANSICION QUE SE PRESENTAN EN LAS TEMPERATURAS INMEDIATAMENTE INFERIORES A LA LINEA DE REACCION PERITECTICA (N, J, O)

EL AREA LIMITADA POR LOS PUNTOS (N J E S G) REPRESENTA UNA SOLUCION SOLIDA DE CARBON EN FIERRO GAMMA LA QUE COMUNMENTE SE CONOCE COMO AUSTENITA. ESTA ZONA ESTA LIMITADA EN SU PARTE INFERIOR POR LAS LINEAS A₃ Y ACM QUE CORRESPONDEN A LAS TEMPERATURAS CRITICAS SUPERIORES. BAJO ESTAS DOS LINEAS HAY DOS ZONAS DE TRANSICION : AUSTENITA-FERRITA Y AUSTENITA-CEMENTITA, QUE ESTAN LIMITADAS EN SU PARTE INFERIOR POR UNA LINEA HORIZONTAL QUE PASA POR EL PUNTO S DE REACCION EUTECTOIDEA EN EL CUAL LA AUSTENITA SE DESCOMPONE EN FERRITA Y CEMENTITA, FORMANDO EL EUTECTOIDE QUE SE CONOCE COMO PERLITA LAMELAR (11.90% CEMENTITA, 88.10% FERRITA)

A TEMPERATURAS ABAJO DE 727° C SE CONSIDERA QUE EL CARBON ES PRACTICAMENTE INSOLUBLE EN EL FIERRO ALFA.

SE CONOCEN COMO ACEROS HIPOEUTECTOIDES AQUELLOS QUE TIENEN MENOS DE 0.80% C Y COMO HIPEREUTECTOIDES LOS QUE ESTAN ARRIBA DE ESTE PORCENTAJE.

ELEMENTOS QUE ACOMPAÑAN AL ACERO

EL AZUFRE, EL FOSFORO, EL MANGANESO Y EL SILICIO SON LOS ELEMENTOS QUE COMUNMENTE ACOMPAÑAN AL ACERO,, SIENDO LOS DOS PRIMEROS ELEMENTOS IMPUREZAS INDESEABLES.

EL AZUFRE FORMA SULFURO FERROSO, COMPUESTO FUSIBLE A BAJA TEMPERATURA QUE DIFICULTA TRABAJAR EL ACERO EN CALIENTE. PARA ELIMINAR ESTE EFECTO NEGATIVO SE AÑADE MANGANESO EN CANTIDAD NECESARIA PARA QUE TODO EL AZUFRE REACCIONE CON ESTE ELEMENTO Y FORME SULFURO MANGANESO, EL CUE YA NO ROCEA A LOS GRANDES CINDO QUE FORMA ALEAULOS.

SIN EMBARGO ESTOS TRES ELEMENTOS SE ENCUENTRAN EN TAL CANTIDAD, - QUE PARA FINES DE DISCUSION, SE CONSIDERA QUE NO AFECTAN LAS LINEAS DEL DIAGRAMA FIERRO-CARBONO .

TRANSFORMACIONES AL CALENTAR.

EN UN ACERO EUTECTOIDE ABAJO DE $723^{\circ} C$ EL CARBONO ES INSOLUBLE EN EL FIERRO ALFA., AL LLEGAR A ESTA TEMPERATURA OCURRE LA TRANSFORMACION ALOTROPICA A FIERRO GAMMA QUE YA ES SOLVENTE DEL CARBONO. COMO YA DIJIMOS ANTES LA SOLUCION RESULTANTE SE CONOCE CON EL NOMBRE DE AUSTENITA (FIG. No. 2)

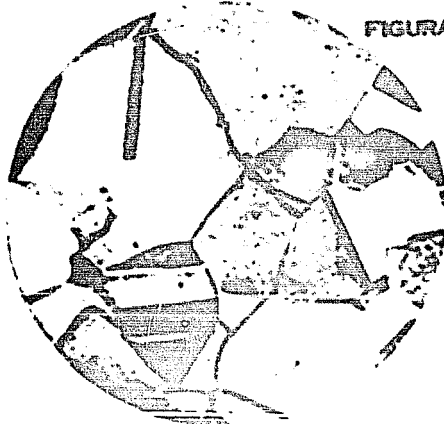


FIGURA No. 2

Microfotografía de la Austenita (1000 x)

LA TRANSFORMACION ANTERIOR SE EFECTUA POR UN MECANISMO DE NUCLEACION EN LA INTERFASE DE LA FERRITA Y LA CEMENTITA EUTECTOIDEA, CRECIENDO LOS NUCLEOS HASTA LA ABSORCION TOTAL DE LAS ESTRUCTURAS REMANENTES.

EN ACEROS HIPOEUTECTOIDES DESPUES DE HABERSE TRANSFORMADO LA FERRITA (EUTECTOIDE) QUEDA LA FERRITA PERIPLECTOIDEA SIN TRANSFORMARSE AUN, CON UN CALENTAMIENTO EN QUE SE PASE LA LINEA DE TEMPERATURAS A_3 , TODA LA FERRITA SUFRE UNA TRANSFORMACION ALOTROPICA A FERRA CUBICA. A SU VEZ EN ACEROS HIPEREU-
TECTOIDES QUEDARA ALGO DE CEMENTITA SIN DISOLVERSE, TRANSICION LA DISOLUCION AL LLEGAR A LA LINEA A_{cm} .

ES IMPORTANTE RESALTAR EL HECHO DE QUE CON UN SOBRECALENTAMIENTO QUE NO LLEGUE A LA LINEA DE SOLIDOS NO HABRA CAMBIO DE FASE ADICIONALES, SINO SOLAMENTE UN AUMENTO EN EL TAMAÑO DE GRANO.

YA QUE TODOS ESTOS CAMBIOS DE FASE SE LLEVAN A CABO POR DIFUSION, SE REQUIERE UN TIEMPO MINIMO PARA OBTENER ESTRUCTURAS UNIFORMES.

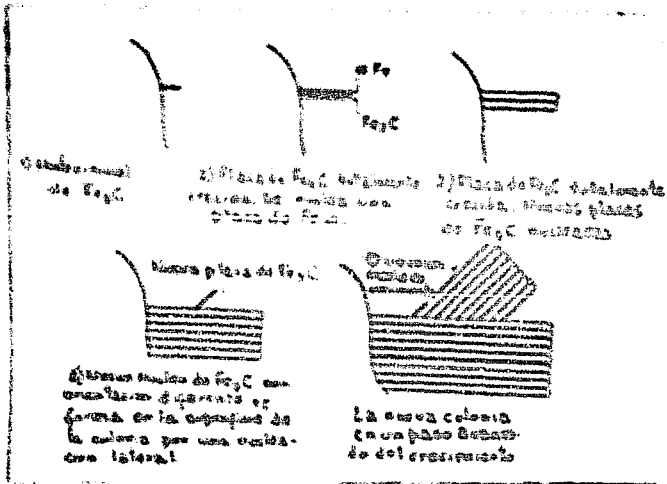
TRANSFORMACIONES AL ENFRIAR.

AL ENFRIAR UN ACERO EUTECTOIDE ABajo DE SU TEMPERATURA CRITICA ($723^{\circ}C$) EL CARBON SE VUELVE INSOLUBLE EN EL FIERRO, DEBIDO A LA TRANSFORMACION ALOTROPICA QUE ACOMPAÑA AL ENFRIAMIENTO, FORMANDOSE PERLITA LAMELAR (EUTECTOIDE) MEDIANTE EL PROCESO DESCRITO A CONTINUACION.

EN LAS CHILLAS DE CADA GRANO AUSTENITICO SE FORMAN UNA O VARIAS PLACAS DE CEMENTITA, QUE CRECEN HACIA EL INTERIOR DEL GRANO., CADA UNA DE ESTAS PLACAS PUEDE COMO NUCLEO, Y ANTE A ELLA SE FORMAN DOS PLACAS DE FERRITA, ENTO A

CADA PLACA DE PERLITA POR UN CEMENTITA, Y ASI SUCESIVAMENTE, HASTA QUE SE PUEDA
VER DUELOS DE CEMENTITA EN UNA DIRECCION DIFERENTE, Y POR UN PROCESO ANALOGO SE
FORMA OTRO GRANO DE PERLITA. LA FIGURA NO. 3 ILUSTRAS EL PROCESO DESCRITO ANTE-
RIORMENTE.

FIGURA No. 3



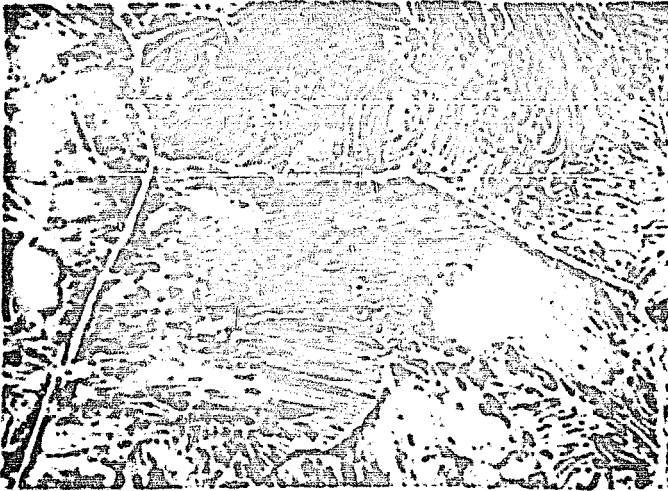
PASOS EN LA FORMACION DE LA PERLITA.

EN ACEROS HIPEREUTECTOIDES, DURANTE UN ENFRIAMIENTO, AL LLEGAR A LA
LINEA A_3 PARTE DEL FIERRO GAMMA SE TRANSFORMA A FIERRO ALFA SEPARÁNDOSE CARBON,
CON ELLO LA COMPOSICION DE LA AUSTENITA SIN TRANSFORMAR CORRE POR LA LINEA A_3 -
HASTA LLEGAR AL PUNTO DE REACCION EUTECTOIDEA EN QUE SE TRANSFORMA A PERLITA -
MEDIANTE EL PROCESO YA DESCRITO.

EN ACEROS HIPEREUTECTOIDES, AL ENFRIAR BAJA LA SOLUBILIDAD DEL CARBON
EN EL FIERRO GAMMA, CON ELLO AL LLEGAR A LA LINEA A_{cm} EMPIEZA A PRECIPITAR
CEMENTITA BAJANDO EL PORCENTAJE DE CARBON DISUELTTO EN LA AUSTENITA, POR LO TAN-

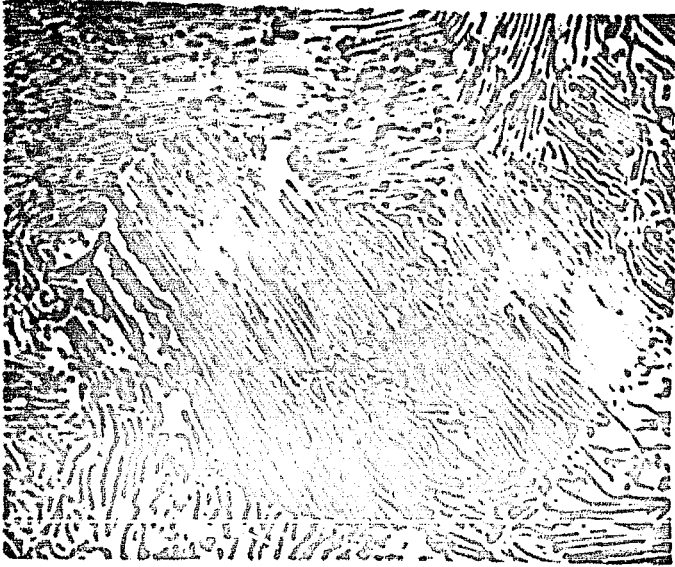
VO CUBRIENDO LA COMPOSICION DE LA AUSTENITA SI TRANSFORMAS POR LA LINEA ACM, -
HASTA LLEGAR A 0.80% C DONDE SE EFECTUA UNA REACCION EUTECTICA CUYO PRODUCTO
ES PERLITA. LAS MICROFOTOGRAFIAS NUMEROS 4, 5 Y 6 EJEMPLIFICAN LAS ESTRUCTURAS
ESCOBOSCOPICAS DE UN ACERO HIPOEUTECTOIDE, UN ACERO EUTECTOIDE Y UN HIPEREUTEC-
TOIDE.

FIGURA No. 4



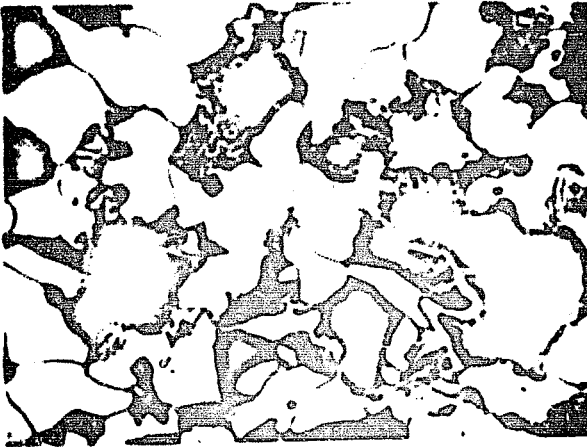
ESTRUCTURA DE UN ACERO HIPOEUTECTOIDE

FIGURA No. 5



ESTRUCTURA DE UN ACERO EUTECTOIDE

FIGURA No. 6



ESTRUCTURA DE UN ACERO HIPEREUTECTOIDE

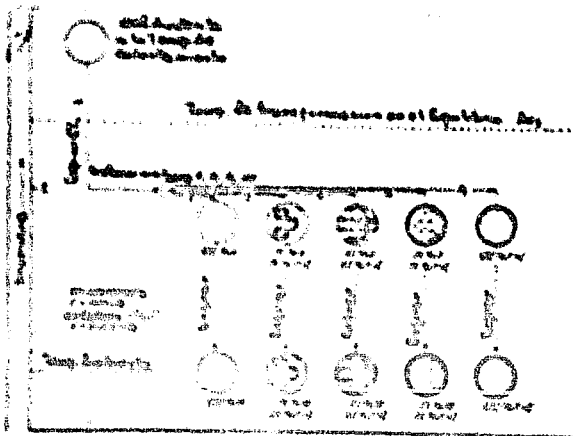
TRANSFORMACIONES ISOTERMICAS.

TOCOS LOS PROCESOS DE ENFRIAMIENTO EN QUE HAYA UN CAMBIO DE ESTRUCTURA SE EFECTUAN POR DIFUSION DE UN ELEMENTO EN OTRO. AHORA BIEN LA VELOCIDAD DE ESTA DIFUSION DEPENDE DE LA TEMPERATURA Y DE LA CONCENTRACION, SI LA CONCENTRACION PERMANECE CONSTANTE COMO EN ESTE CASO, LA VELOCIDAD SERA DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LA TEMPERATURA. AL DAR A UN ACERO AUSTENITICO UN ENFRIAMIENTO MUY RAPIDO EL TIEMPO QUE ESTA A CADA TEMPERATURA ES PRACTICAMENTE NULO, CON LO QUE NO HAY TIEMPO PARA TRANSFORMACION.

EL PROCESO DE RETENER LA ESTRUCTURA AUSTENITICA A TEMPERATURAS ABajo DE LA CRITICA INFERIOR Y DEJAR QUE LAS TRANSFORMACIONES SE EFECTUAN A TEMPERATURA CONSTANTE, SE CONOCE COMO " TRANSFORMACION ISOTERMICA " .

PARA HACER UN ESTUDIO DE ESTE TIPO DE TRANSFORMACIONES, SE TOMAN VARIAS PIEZAS PEQUEÑAS, SE LLEVAN A UNA TEMPERATURA DE AUSTENIZACION EN LA QUE SE MANTIENEN UN TIEMPO SUFICIENTE PARA OBTENER UNA ESTRUCTURA UNIFORME, LUEGO SE LES DA UN ENFRIAMIENTO RAPIDO A UNA TEMPERATURA ABajo DE LA CRITICA INFERIOR Y SE MANTIENEN A ESA TEMPERATURA, CADA MUESTRA UN TIEMPO DIFERENTE, DESPUES DEL CUAL SE VUELVEN A ENFRIAR RAPIDAMENTE HASTA LA TEMPERATURA AMBIENTE. ASI SE PUEDE DETERMINAR CON CERTeza EXPERIMENTAL QUE PORCENTAJE DE LA AUSTENITA SE TRANSFORMA, YA QUE EL PORCENTAJE SIN TRANSFORMAR CON EL ULTIMO ENFRIAMIENTO SUO SE TRANSFORMA EN MARTENSITA, ESTRUCTURA QUE SE ESTUDIARA EN ESTE MISMO INCISO. EN LA FIGURA No. 7, SE ILUSTRAN LOS PASOS SEGUIDOS EN ESTA DETERMINACION.

FIGURA No. 7

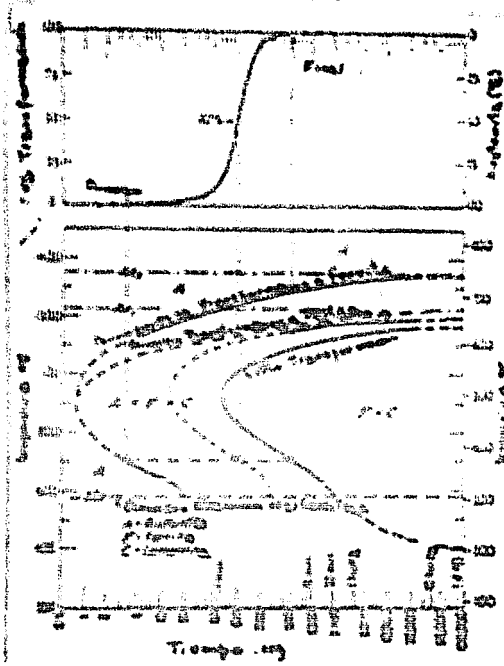


TRANSFORMACION ISOERMICA DE LA AUSTENITA.

LUEGO DE GRAFICA EL PORCENTAJE DE AUSTENITA TRANSFORMADA CONTRA EL LOGARITMO DEL TIEMPO. DE ESTA FORMA, Y POR EL PROCEDIMIENTO MOSTRADO EN LA FIGURA No. 6, SE PUEDEN Trazar LOS PUNTOS DE PRINCIPIO Y FIN DE REACCION, OBTENIENDOSE UNA CURVA COMO LA REPRESENTADA EN LA PARTE INFERIOR DE LA FIGURA No. 8

ESTAS CURVAS SE CONOCEN DESIDO A SU CONFIGURACION COMO CURVAS "S" O COMO DIAGRAMAS TTT (TIEMPO, TEMPERATURA, TRANSFORMACION) Y UN EJEMPLO DE ELLAS ES LA PRESENTADA EN LA PARTE INFERIOR DE LA FIGURA No. 8.

FIGURA No. 8

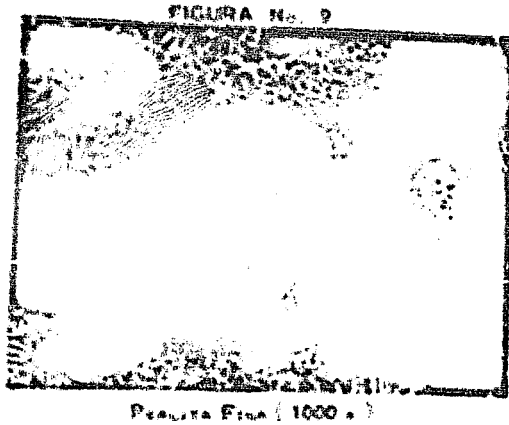


ESBOZO DE LA DETERMINACION DE UN DIAGRAMA TTT

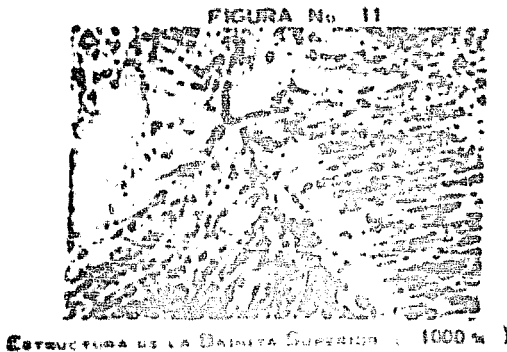
LA SEGUNDA ZONA SE LOCALIZA ENTRE LAS TEMPERATURAS A_{r3} Y A_{r1} . DEL LADO IZQUIERDO DE ESTA ZONA EXISTE AUSTENITA INESTABLE, LUEGO UNA ZONA DE REACCION A COMPUESTOS PRODUCTIVOS Y FINALMENTE A LA IZQUIERDA SE REPRESENTAN LOS PRODUCTOS DE ESTA TRANSFORMACION QUE SON FERRITA O CEMENTITA PRODUCTIVOS Y AUSTENITA ESTABLE.

LA TERCERA ZONA SE ENCUENTRA ENTRE LAS TEMPERATURAS A_{r3} Y M_{s3} Y SE CARACTERIZA POR QUE LOS PRODUCTOS DE LA TRANSFORMACION SON ESTRUCTURAS FORMADAS POR FERRITA Y CEMENTITA. DEL LADO DERECHO SE REPRESENTA AUSTENITA INESTABLE, LUEGO UNA ZONA DE TRANSFORMACION Y FINALMENTE A LA IZQUIERDA SE LOCALIZAN LOS PRODUCTOS. EN LA PARTE SUPERIOR DE ESTA ZONA Y ARRIBA DE $500^{\circ}C$ LA FE-

ARROSA Y LA CEMENTITA SE UNEN FORMANDO PERLITA LAMBLAR., QUE SERA MUY GRUESA EN LA PARTE SUPERIOR DE ESTA ZONA (FIG. No. 5) Y MUY FINA EN LA PARTE INFERIOR. - - (FIGURA No. 9)



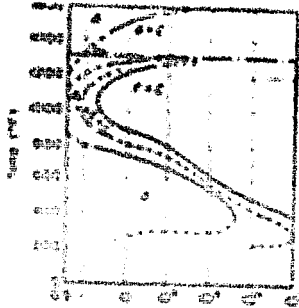
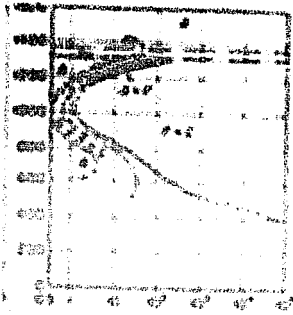
ABAJA DE 330° C Y ABJENA DE LA TEMPERATURA Ms, LA CEMENTITA Y LA FERRITA YA NO SE UNEN FORMANDO LAMBLAS SINO MAS BIEN FORMANDO PLUMAS, QUE ES EL CASO DE LA BAINITA SUPERIOR (FIGURA No. 10) MEDIANTE UN PROCESO ILUSTRADO EN LA FIGURA No. 11, O FORMANDO ESTRUCTURAS ACICULARES COMO EN EL CASO DE LA FIGURA No. 12 LLAMADAS BAINITAS INFERIORES Y CUYA FORMACION TAMBIEN SE ILUSTRAN EN LA FIGURA No. 11.



DEBEN SER INTERPRETADOS COMO DE ABISCA EN LOS DIAGRAMAS TTT DADOS EN LA FIGURA

No. 13

FIGURA No. 13. BIS



- A = AUSTENITA
- F = FERRITA
- C = CEMENTITA

DIAGRAMAS TTT CON ZONAS DE REACCION A FERRITA PROEUTECTOIDEA Y A CEMENTITA PROEUTECTOIDEA RESPECTIVAMENTE.

Por ultimo la cuarta zona del Diagrama TTT se localiza abajo -

de la temperatura M_s . Al bajar la temperatura hasta la linea M_s hay un can-

sido en la estructura que ya no depende del tiempo sino unicamente de la tempe-

ratura. La estructura aqui obtenida se conoce como Martensita y se puede com-

parar con unaolucion sobresaturada de Carbon en Hierro, cristalograficamen-

te de|sare que es del tipo tetragonal y se considera como un estado de transi--

cion entre la celda FCC centrada en las caras de la Austenita y la celda

cubica centrada en el cuerpo de la Ferrita. La transformacion a Martensita termina en

la temperatura M_f . En temperaturas intermedias la transformacion no ha sido

total, por eso se acostumbra en estos diagramas indicar el % de Austenita trans-

formada a Martensita. La Figura No. 14 muestra una fotomicrografia de la Mar-

tensita.

FIGURA No. 14



ESTRUCTURA DE LA MARTENSITA (2000 x)

FIGURA No. 15

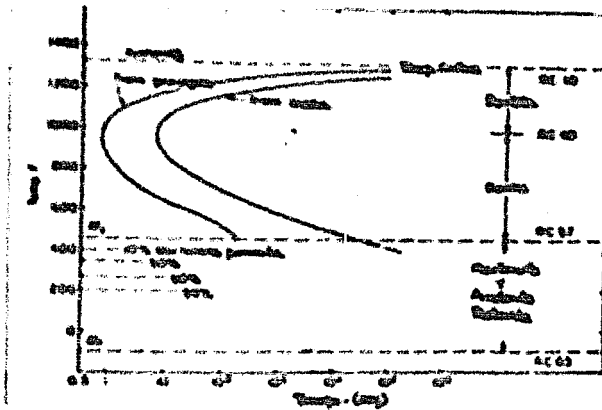


DIAGRAMA T T T DE UN ACERO EUTECTOIDE

CURVAS DE ENFRIAMIENTO CONTINUO.

EN LA PRÁCTICA DEBIDO AL TAMAÑO DE LAS PIEZAS POR ENFRIAR LAS TRANS

FORMACIONES ISOTERMICAS REPRESENTAN EL CASO POCO COMUN. A CAMBIO LOS ENFRIAMIENTOS

LOS BARRIDOS SON LOS OBTENIDOS AL COLOCAR LA PIEZA POR ENFRIAR EN UN MEDIO A MENOR TEMPERATURA.

Si graficamos el exceso de temperaturas proporcionado por un medio enfriante, contra el tiempo obtendremos unas curvas llamadas curvas de enfriamiento continuo, simplificadas por las curvas A, B, C, D, E, de la Figura No. 17.

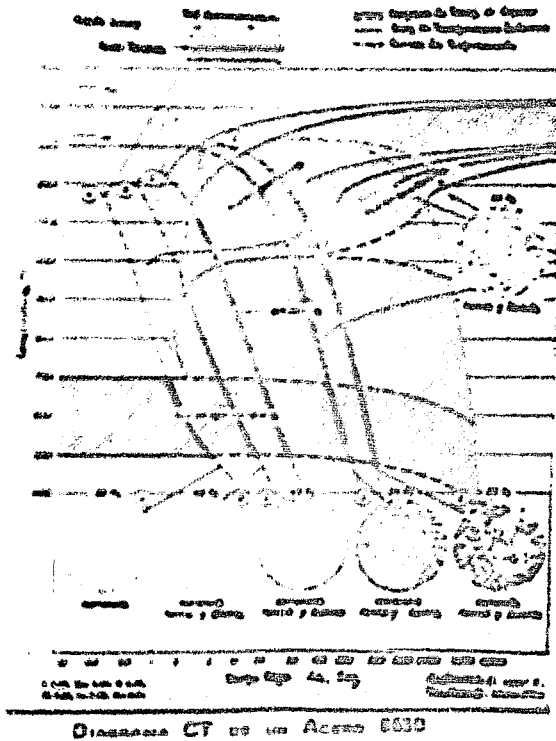
Los diagramas que ilustran las transformaciones sufridas por un acero al ser llevado a estas condiciones, se conocen como Diagramas CT. (Cooling Transformation) o Diagramas de Transformación. Durante el enfriamiento. Estos diagramas se determinan también experimentalmente y aunque varios autores han dado métodos para construirlos de las curvas $^{\circ}S^{\circ}$, no han sido muy exactos, y su uso es poco común. La determinación experimental de estos diagramas es análoga a la determinación de las curvas $^{\circ}S^{\circ}$, tomando en un principio varias muestras, austenizándolas y trasladándolas a continuación a un medio enfriante, cada muestra se mantiene un tiempo diferente en este medio, después del cual se saca y enfría bruscamente, con lo que se conoce la cantidad de austenita transformada y la cantidad de austenita no transformada. (MARTENSITA DEBIDA AL ÚLTIMO ENFRIAMIENTO). Este proceso se repite en diferentes medios y los resultados se representan como se indica en la Figura No. 17. A su vez la Figura No. 18 nos ilustra el proceso seguido en la determinación de estos diagramas.

FIGURA No. 16



PROCESO DESEÑADO PARA DETERMINAR LOS DIAGRAMAS DE TRANSFORMACION AL ENTRADO

FIGURA No. 17



LOS DIAGRAMAS CT ESTAN DESPLAZADOS HACIA ABAJO Y HACIA LA DERECHA DE LAS CURVAS 95° COMO LO PODEMOS APRECIAR EN LA FIGURA No. 17.

LAS CURVAS A, B, C, D, E Y F DE LA FIGURA No. 17 REPRESENTAN DIFERENTES VELOCIDADES DE ENFRIAMIENTO A CADAER : LA CURVA F SERA UN ENFRIAMIENTO MUY LENTO COMO EL QUE SE OBTENDRIA EN UN HORNO Y LAS ESTRUCTURAS RESULTANTES SERAN FERRITA Y PERLITA., LAS CURVAS E, D, C, Y B SON ENFRIAMIENTOS MAS RAPIDOS (AIRE, ACEITE, ACEITE AGITADO, AGUA) Y DAN ESTRUCTURAS NO UNIFORMES QUE CONTIENEN MARTENSITA, FERRITA Y BAINITA. POR ULTIMO LA CURVA A SERIA DE AGUA AGITADA SIENDO LA ESTRUCTURA RESULTANTE 100 % MARTENSITA. SE CONOCE COMO VELOCIDAD CRITICA DE ENFRIAMIENTO AQUELLA INMEDIATAMENTE A LA IZQUIERDA DE LA ZONA DE TRANSFORMACION (SIN LLEGAR A TOCARLA), REPRESENTADA EN LA FIGURA No. 17 POR LA CURVA A.

CAPITULO II

TEMPLABILIDAD.

SE PUEDE DEFINIR **TEMPLABILIDAD** COMO LA FACILIDAD QUE TIENE UN MATERIAL PARA ENDURECERSE AL SOMETERLO A UN ENFRIAMIENTO DETERMINADO. BASANDOS EN LO ANTERIOR UN ACERO TENDRA UNA TEMPLABILIDAD MAYOR CUANDO LA DUREZA TENGA UNA PENETRACION MAYOR.

AL ENFRIAR UNA PIEZA DE ACERO, LA VELOCIDAD MAXIMA DE ENFRIAMIENTO SE OBTIENE EN EL EXTERIOR, DISMINUYENDO EN EL INTERIOR DE LA PIEZA Y SIENDO MINIMA EN EL CENTRO. CUANDO LA VELOCIDAD EN EL CENTRO ES MENOR A LA VELOCIDAD CRITICA, LA ESTRUCTURA YA NO SERA SOLO MARTENSITA SINO QUE ESTARA MEZCLADA CON FERRITA, BAINITA O ANSAS.

LO IDEAL EN UN TEMPLE, ES OBTENER UNA ESTRUCTURA DE 100% MARTENSITA, SIN EMBARGO EN LA PRACTICA UNA ESTRUCTURA CON UN MENOR PORCENTAJE PUEDE LLENAR LOS REQUISITOS DESEADOS. EL PORCENTAJE DE MARTENSITA MINIMO NECESARIO PARA TENER UNA ESTRUCTURA TOTALMENTE ENDURECIDA VARIA SEGUN LAS NORMAS DE CALIDAD A QUE UNO SE APEQUE. (.)

SE LLAMA **DIAMETRO CRITICO** AQUEL QUE TENDRA LA BARRA, EN QUE EL CENTRO CONSTE DE UNA MICROESTRUCTURA QUE CONTenga EL MINIMO PORCENTAJE DE MARTENSITA PARA CONSIDERARLA TOTALMENTE ENDURECIDA. A SU VEZ DIAMETRO CRITICO IDEAL ES EL DIAMETRO CRITICO OBTENIDO AL DAR UNA VELOCIDAD INFINITA DE ENFRIAMIENTO.

(.) GROSBEMAN CONSIDERA COMO LIMITE MINIMO UN CONTENIDO DE 50% MARTENSITA

LA TEMPLABILIDAD NOS DICE LA PROFUNDIDAD EN QUE SE OBTIENE UNA ESTRUCTURA TOTALMENTE MARTENSITICA O ALTERNATIVAMENTE EL DIAMETRO CRITICO.

ES IMPORTANTE ACLARAR QUE LA TEMPLABILIDAD NO TIENE NINGUNA RELACION DIRECTA CON LA DUREZA, SIRO UNICAMENTE CON LA PROFUNDIDAD HASTA LA CUAL SE PUEDE OBTENER LA DUREZA MAXIMA.

LOS DIAGRAMAS TTT SON UN INDICE DE ESTA CARACTERISTICA, YA QUE ESTAN DIRECTAMENTE RELACIONADOS CON LA VELOCIDAD CRITICA DE ENFRIAMIENTO. ASI POR EJEMPLO CUALQUIER FACTOR QUE HAGA DESPLAZAR LA CURVA M_{50} EN LA DIRECCION HORIZONTAL HACA DERECHA (HACIA LA DUREZA) O HIZQUIERDA (HACIA LA DUREZA) LA TEMPLABILIDAD DE UN ACERO., EJEMPLOS DE ESTOS FACTORES PUEDEN SER : TAMANO DE GRANO, Y COMPOSICION QUIMICA.

METODOS PARA MEDIR ESTA CARACTERISTICA

PRUEBA JOMINY.

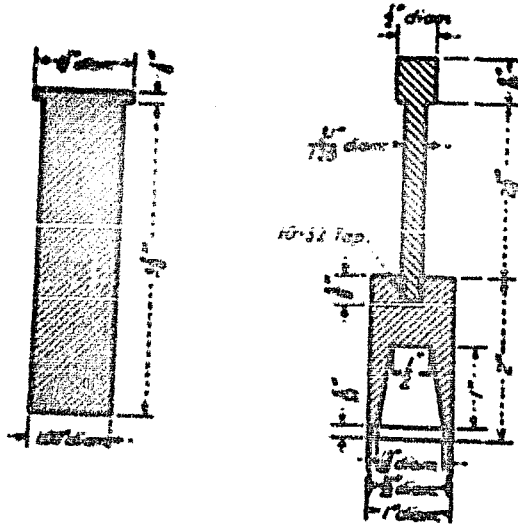
COMO YA HEMOS RECALCADO ANTES, LA TEMPLABILIDAD ES UN FACTOR DECISIVO EN LA SELECCION DE UN ACERO.

ES POR ESO QUE PARA EVALUAR DEBIDAMENTE ESTA PROPIEDAD, NECESITAMOS ALGUN METODO EXPERIMENTAL. UNA CARACTERISTICA ESENCIAL DE ESTE METODO ES QUE NECESITA SER REPRODUCIBLE.

CON LA PRUEBA JOMINY ES SENCILLO DETERMINAR EN UN ACERO EL ENDURECIMIENTO QUE SE OBTIENE CON UNA GAMMA MUY AMPLIA DE VELOCIDADES DE ENFRIAMIENTO. LA PRUEBA JOMINY CONSISTE EN TOMAR UNA MUESTRA DEL ACERO CUYA TEM

PLACIBILIDAD SE DEBE DETERMINAR MAQUINARLA A LAS DIMENSIONES QUE SE INDICAN EN LA FIGURA No. 18 (CUANDO SE TRATA DE ACEROS ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL O PARA CARBUROS SE USA LA BARRA DENOMINADO TIPO "L" FIGURA No. 18).

FIGURA No. 18

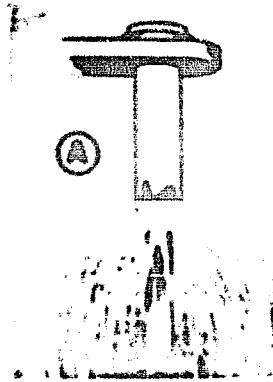


PROBETA JOMINY NORMAL Y PROBETA TIPO "L"

ESTAS BARRAS TAMBIEN LLAMADAS "PROBETAS JOMINY" SE CALIENTAN A SU TEMPERATURA DE AUSTENIZACION EN LA QUE SE MANTIENEN DURANTE 30 MINUTOS., TOMANDO LA PRECAUCION DE EVITAR QUE SE OXIDEN O/DESCARBUREN . HACIENDO EL CALENTAMIENTO EN UNA ATMOSFERA NEUTRA O BIEN EMPACANDO LA PROBETA EN UNA CAJA CON CARBONO. AL TERMINO DEL PERIODO DE 30 MINUTOS LA PROBETA SE TRASLADA A UNA FIGURA (FIG. No. 19) DONDE UNA COLUMNA DE AGUA CONTROLADA EN SU TEMPERATURA Y VOLUMEN ES DIRIGIDA CONTRA LA PARTE INFERIOR DE LA PROBETA. LA COLUMNA DE AGUA TIENE QUE ESTAR A APROXIMADAMENTE 29° C. DIRIGIDA HACIA UN ORIFICIO DE 1/2"

V AJUSTADA A UNA ALTURA DE 2 1/2" IN., ANTES DE COLOCAR LA MUESTRA EN LA FIGURA.
TAN PRONTO COMO SE DADA LA PROBETA DEL NOMBRE SE COLOCA DE TAL MODO QUE LA PUN
TA POR EMPRIAR ESTE 1/2" ARRIBA DEL CENEFICIO. DEBE EVITARSE FUERTES CORRIEN
TES DE AIRE.

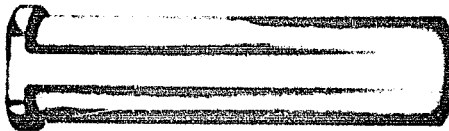
FIGURA No. 19



PROBETA JOMINY EN EL MOMENTO DE EMPRIARSE

CUANDO LA PROBETA VA ESTA VIRA DE TOMA, Y SE ESMERILAN EN ELLA DOS
SUPERFICIES DE 0.015 IN. DE ANCHO A 180° UNA DE OTRA, A TODO LO LARGO DE LA BARRA
(FIG. No. 20). EN ESTE PASO DEBE DE TENERSE PRECAUCION DE QUE LA BARRA NO SE
CALIENTE Y EN ELLO SUPRA UN REVENIDO.

FIGURA No. 20

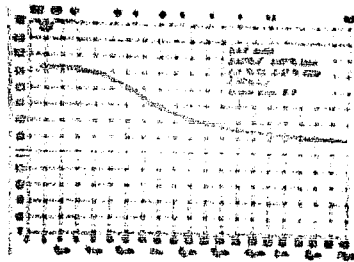


LINEAS TOMADAS EN UNA DE LAS SUPERFICIES ESMERILADAS DE LA PROBETA JOMINY.

DESPUES DE TOMAR LAS DUREZAS EN INTERVALOS DE 1/16" DE PULGADA A PARTIR DE LA PUNTA (ESCALA ROCKWELL °C°) Y A LO LARGO DE TODA LA BARRA. LA DUREZA PROMEDIO DE LAS DOS SUPERFICIES (EN CADA INTERVALO) SE GRAFICA CONTRA LA DISTANCIA COMO EN LA FIGURA No. 21

FIGURA No. 21

VELOCIDAD ENFRIAMIENTO Gr Seg.



DISTANCIA A LA PUNTA (1/16)

CURVA JOMINY PARA UN ACERO 4140

CON EL PROCEDIMIENTO ANTERIOR EN LA PUNTA DE LA PROBETA SE TIENE UN ENFRIAMIENTO MUY DRASITICO, Y A MEDIDA QUE NOS VAMOS ALEJANDO EL GRADO DE ENFRIAMIENTO VA SIENDO MENOR, POR ESO EN LA GRAFICA DE UNA CURVA JOMINY CADA DISTANCIA (ESCALA INFERIOR) SE HACE COINCIDIR CON UNA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO (ESCALA SUPERIOR).

SE HA ACOSTUMBRADO CODIFICAR LA DUREZA A UNA DISTANCIA DADA, DEL SIGUIENTE MODO :

$$J_n = D$$

n = DUREZA EN GRADOS ROCKWELL °C°

D = DISTANCIA EN DIECISEISAVOS DE PULGADA.

ASI POR EJEMPLO $J_{50} = 4$ QUISIERA DECIR QUE EN UNA BARRA JOMINY A $4/16^{\circ}$ EXISTE UNA DUREZA DE 50 ROCKWELL $^{\circ}C^{\circ}$. A VECES LA DUREZA SE EXPRESA COMO $J_{50} 53 = 4$ O SEA QUE A $4/16^{\circ}$ DEBE HABER UNA DUREZA ENTRE 50 Y 53 ROCKWELL $^{\circ}C^{\circ}$. A SU VEZ $J_{53} = 4-5$ SIGNIFICARA UNA DUREZA DE 53 ROCKWELL $^{\circ}C^{\circ}$ ENTRE $4/16^{\circ} + 6/16^{\circ}$.

LA PREFERENCIA CADA A LA PRUEBA DE JOMINY SE DEBE A SU REPRODUCCION UNIFORME. UNA DETERMINACION DE LA TEMPLABILIDAD POR ESTE METODO HECHA EN UN LABORATORIO ES IGUAL A LA DETERMINACION EN OTRO LABORATORIO. OTRA VENTAJA ES QUE LA TEMPLABILIDAD EN EL MOMENTO PRECEDEN LOS PRUEBAS HECHAS QUE EN LA PIERA SON HECHAS O EN UN PASE INTERMEDIO. SIN OLVIDAR QUE LA PRUEBA DE JOMINY TIENE EL INCONVENIENTE DE QUE EN ACEROS DE ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL EN QUE EL ENFRIAMIENTO DEBE SER MUY RAPIDO PARA OBTENER MANTENIBILIDAD O EN ACEROS DEL TIPO $^{\circ}$ ENDURECIDOS AL AISL $^{\circ}$ EN QUE LAS VELOCIDADES DE ENFRIAMIENTO SON MUY LENTAS. LOS RESULTADOS OBTENIDOS SON CANTANTE INEXACTOS.

LA BARRA TIPO $^{\circ}L^{\circ}$ ES UNA SOLUCION PARCIAL PARA DETERMINAR LA TEMPLABILIDAD EN ACEROS DE $^{\circ}$ ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL $^{\circ}$ PERO DEBIDO A QUE SU TENDENCIA A GONFARSE Y A LA NO UNIFORMIDAD DEL FLUJO DE CALOR OTRAS PRUEBAS HAN SUSTITUIDO EN ESTOS CASOS A LA SUSCITA.

PRUEBA SAC.

PARA ACEROS DE ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL, ESPECIALMENTE PARA AQUELLOS NO ALABADOS Y ENTRE 0.30 Y 0.60 % DE C, SE INVENTO LA LLAMADA PRUEBA SAC (DUREZA SUPERFICIAL / AREA HASTA LA CURVA DE TEMPLABILIDAD / DUREZA CENTRAL)

EL ESPESOR ES UNA BARRA DE 4 A 6 PULGADAS DE LARGO Y 1" DE DIA-
METRO QUE SE MACHUCA A PARTIR DE UNA SECCION FORJADA DE MAS O MENOS 10 PULGADAS
DE LARGO Y 1 1/8 IN. DE DIAMETRO MINIMO.

LA BARRA SE NORMALIZA (CAP. NO. 3) Y LUEGO SE AUSTENIZA A LA TEMPE-
RATURA DESIADA QUE USUALMENTE ES DE 843° C ENFRIANDOSE DESPUES EN AGUA FRIA ASI
TAMA. DESPUES DE COPIADA SE COBYA LA BARRA TRANSVERSALMENTE, SE ESMERILA CUI-
DADOSAMENTE LA SUPERFICIE EXTERNA, SE PALS Y USUALMENTE SE ATACA PARA VER LA -
REPERFORACION DEL CARBONIZACIONTO. SE TOMA LA DUREZA EN LA SUPERFICIE, LA DUREZA
EN EL CENTRO Y EN OTRAS VARIAS SECCIONES 7 MEDIDAS UNIFORMEMENTE REPARTIDAS DE CEN-
TRO A SUPERFICIE.. SE REPITE ESTE PROCEDIMIENTO A 50°, 150° Y 270° DE LA PRIMERA
SERIE.

LA MITAD DEL VALOR EN LA DUREZA EN LA SUPERFICIE Y LA MITAD DE ESTE
VALOR EN EL CENTRO SE SUMAN A LOS 7 VALORES INTERMEDIOS Y EL TOTAL SE DIVIDE EN
TRE 8. ESTE VALOR ES EL LLAMADO ROCKWELL-PULSADA Y REPRESENTA EL AREA BAJO -
LA CURVA TRANSVERSAL DE TEMPLABILIDAD. GENERALMENTE LOS VALORES PARA ACEROS
ENTRE 0.30 - 0.60 % C VARIAN DE 32 A 60 DEPENDIENDO DEL CONTENIDO DE CARBONO
Y DE LA TEMPLABILIDAD. LA EXACTITUD DE ESTE METODO ES DE ± 1 ROCKWELL-PUL-
SADA.

LA PRUEBA ANTERIOR ES MUY USADA Y LA S.A.E. LA HA ADOPTADO COMO
PRUEBA OFICIAL.

METODOS PARA CALCULAR LA CURVA JOMINY.

SIENDO LA CURVA JOMINY EL MODO MAS PRACTICO DE DETERMINAR LA - -
TEMPLABILIDAD DE UN ACERO Y SABIENDO QUE ESTA ULTIMA SOLO VARIA DEBIDO AL TAMA-

ESTE PROCEDIMIENTO ASUME QUE LAS ALEACIONES DE FIERRO Y CARBON -
AL SER EMPRIADAS A VELOCIDADES CORRESPONDIENTES A LAS ENCONTRADAS EN LA PROBE
TA JOHNSY TENDRAN UNA DUREZA BASE DEBIDA A SU CONTENIDO DE CARBON (FIG. No. -
23). DE AHI HASTA UNA DUREZA DENOMINADA DUREZA DE BASE MARTENSITICA, LOS ELE
MENTOS ALEADOS IRAN INCREMENTANDO EL PRIMER VALOR OBTENIDO, EN LA PROPORCION -
MOSTRADA EN LA TABLA No. 2.

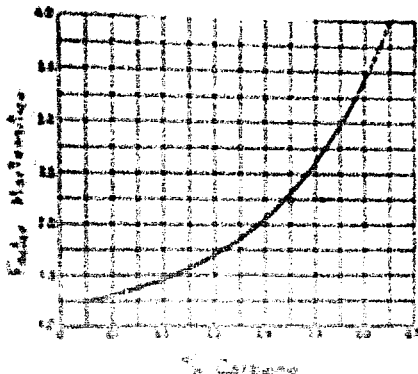
TABLA No. 2

	UNIDADES ROCKWELL C POR 1% DE ELEMEN TO ALEADO.
MANGANESO	15.5
SILICIO	8.0
NIQUEL	5.5
CRONO	15.0
MOLIBDENO	37.5

PARA EL TAMAÑO DE GRANO ASESAR 1 UNIDAD ROCKWELL "C" PARA CADA
NUMERO DE GRANO ABAJO DE 10.

A LA SUMA DE UNIDADES DE CARBON Y ALEACIONES SE LE RESTA LA DUREZA
DE BASE MARTENSITICA Y LA DIFERENCIA SE MULTIPLICA POR EL FACTOR MARTENSITICO -
DADO EN LA (FIG. No. 24), AL PRODUCTO ANTERIOR SE LE SUMA LA DUREZA DE BASE MAR
TENSITICA Y ASI OBTENEMOS EL RESULTADO FINAL.

FIGURA No. 24



VARIACION DEL FACTOR MARTENSITICO DEBIDA AL PORCENTAJE DE CARBONO

CUANDO EL RESULTADO OBTENIDO POR EL METODO ANTERIOR ES MAYOR QUE LA CURVA MAXIMA POSIBLE (FIG. No. 23), ESTE ULTIMO VALOR ES EL QUE SE TOMA COMO VERDADERO.

A SU VEZ SI LA SUMA DE UNIDADES DE CARBON Y ALSACIONES ES MENOR -- QUE LA CURVA DE BASE MARTENSITICA EL PRIMER VALOR SERA EL VERDADERO.

A CONTINUACION DAMOS UN EJEMPLO DE LA DETERMINACION DE ESTA CURVA PARA UN ACERO 6545 DE LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS.

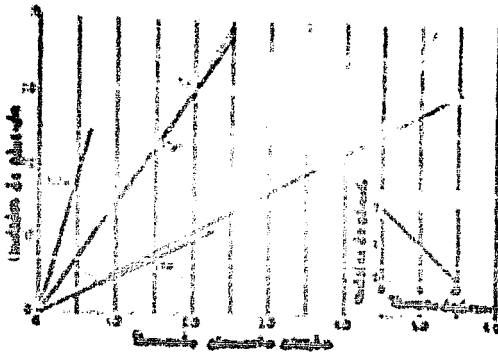
ELEMENTO :	PORCIENTO :
CARBONO	0.45
MANGANESO	0.85
SILICIO	0.22
NIQUEL	0.50
CRONO	0.50

MOLIBDENO

0.20

TAMARO DE GRANO No. 8

FIGURA No. 25



UNIDADES DE ALEACION DEBIDA A LOS ELEMENTOS ALEADOS MAS COMUNES.

POR MEDIO DE LA FIGURA No. 25 SE DETERMINAN LAS UNIDADES DE ADICION

DEBIDAS A CADA ELEMENTO DE ALEACION, O SE CALCULAN OBTENIENDOSE LOS SIGUIENTES -

RESULTADOS:

ELEMENTO ALEADO	PORCIENTO x FACTOR		UNIDADES DE ADICION
MANGANESO	0.85	x 15.5	13.2
SILICIO	0.22	x 5.0	1.1
NIOBIO	0.50	x 5.5	2.7
COBALTO	0.50	x 15.0	7.5
MOLIBDENO	0.20	x 37.5	<u>7.5</u>
			2.0
No. de grano 8			2.0
TOTAL UNIDADES DE ALEACION			34.0

ADICION BIEN DETERMINADO EN LA FIG. NO. 23 O PARA MAYOR EXACTITUD EN LA FIGURA NO. 26, DETERMINANDO PARA CADA DISTANCIA DE LA PROFETA JOMINY LA DUREZA DE BASE CARBONO DETERMINADO LOS SIGUIENTES RESULTADOS (VER TABLA NO. 3).

YA TERMINADO EL PASO ANTERIOR, EN LA FIGURA NO. 23 DETERMINAMOS LA DUREZA DE BASE MARTENSITICA Y LA CESTANDO.

ILUSTRAMOS LOS PASOS ANTERIORES EN LA TABLA NO. 3.

FIGURA No. 26

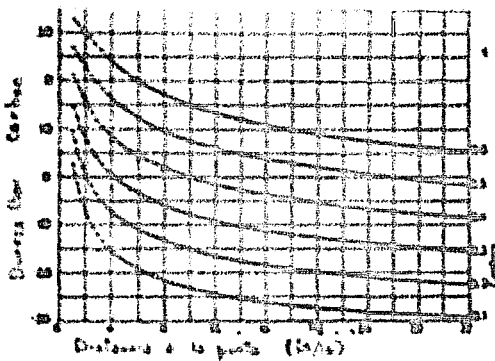


TABLA No. 3

PASO DE CALCULO	PROFUNDIDAD JOMINY			
	4/16°	8/16°	16/16°	32/16°
DUREZA BASE CARBONO (Fig. 26)	12.1	5.4	- 0.3	- 5.0
(MAS) ADICION POR UNIDADES DE ALEACION	34.0	34.0	34.0	34.0
TOTAL .	46.1	39.4	33.7	29.0
(MENOS) DUREZA DE BASE MAR- TENSITICA. (FIG 23)	30.0	30.0	30.0	30.0
DIFERENCIA:	16.1	9.4	3.7	

TABLA No. 3

(mm) Factor Mantenedura (Fig No 24)	2.3	2.3	2.3	
PRODUCTO	37.0	21.6	8.5	
(mm) Dureza de Base Mantenedura otras (Fig No 23)	10.0	30.0	30.0	
TOTAL	67.0	51.6	38.5	
RESULTADO	58.7	51.6	38.5	29.0 **

Comparados estos resultados con los obtenidos por el otro metodo

de calculo.

NOTA: Para obtener los resultados de este metodo comparando las

graficas obtenidas al hacer el calculo por el metodo adiccionado, por el metodo

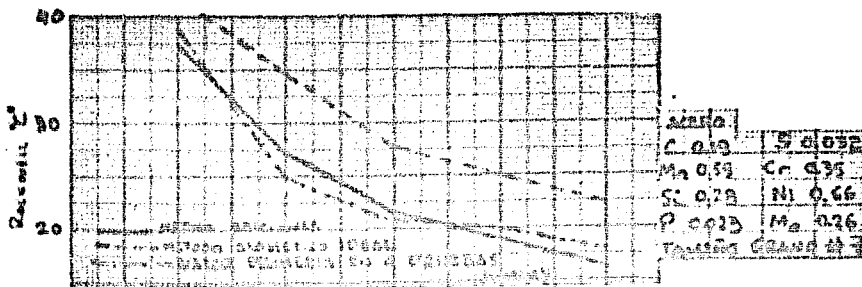
del diametro igual y los resultados practicos obtenidos en una prueba Jominy.

(Fig No. 27) de un acero 8720H

sin embargo casos como este son raros y siendo los calculos mas sen-

cillos con el metodo del diametro igual, su uso es mas difundido.

FIGURA No. 27



Curvas Jominy para un acero con el analisis indicado.

(.) Este es el caso en que el calculo dio una dureza mayor que la maxima posible (58.7 para 0.45 % C) (Fig. No. 23)

(**) Estamos en el caso ya citado en que la dureza de base martensitica es mayor que la suma de unidades de carbono y aleaciones.

METODO DEL DIAMETRO IDEAL.

ESTE METODO DESARROLLADO POR GOODMAN, SE BASA EN LA CREENCIA DE QUE CADA ELEMENTO ALCADO VARIA LA TEMPLABILIDAD POR MEDIO DE UN FACTOR DETERMINADO. O SEA LA TEMPLABILIDAD DATE SE MULTIPLICA POR UN FACTOR (ESTO SE FACILITA SI SE USAN LOS LOGARITMOS DE LOS FACTORES)

PARA USAR ESTE METODO PRIMERO SE DETERMINA EL DIAMETRO IDEAL.

EN LA TABLA No 4 SE VE UNA LISTA DE LAS CONSTANTES DEL ELEMENTO ALCADO. PARA CADA ELEMENTO Y CADA PORCENTAJE HAY UNA CIFRA, INCLUSIVE PARA EL CARBON. COMO QUE EN ESTE ELEMENTO HAY QUE USAR TAMBIEN EL DATO DE TEMPERATURA EN GRADOS. EN UN ACERO DETERMINADO SE DETERMINAN LOS FACTORES CORRESPONDIENTES A CADA ELEMENTO Y SE SUMAN ALGEBRAICAMENTE. CON LA CANTIDAD OBTENIDA SE VA UNO A LA PARTE DEBERA DE LA TABLA Y DIRECTAMENTE OBTIENE EL DIAMETRO IDEAL.

EJEMPLO :

OBTENER EL DIAMETRO IDEAL EN UN ACERO 6645 CON EL SIGUIENTE --

ANALISIS Y TAMAÑO DE GRANO No. 8.

ELEMENTO	PORCENTAJE	FACTOR EN LA TABLA
CARBONO	0.45	0.320
MANGANESEO	0.65	0.584
SILICIO	0.22	0.062
NIOBEL	0.50	0.073
CRUZO	0.50	0.318
MOLIBDENO	0.20	0.208
		TOTAL , 1.561

TABLA No. 5

Cotas (metros)	Distancia		Distancia de la punta de la probeta						
	D	D'	N°	N°	N°	N°	N°	N°	N°
			Distancia D desde D'						
0.00	00	0.00	0.00						
0.01	01	0.01	0.01						
0.02	02	0.02	0.02						
0.03	03	0.03	0.03						
0.04	04	0.04	0.04						
0.05	05	0.05	0.05						
0.06	06	0.06	0.06						
0.07	07	0.07	0.07						
0.08	08	0.08	0.08						
0.09	09	0.09	0.09						
0.10	10	0.10	0.10						
0.11	11	0.11	0.11						
0.12	12	0.12	0.12						
0.13	13	0.13	0.13						
0.14	14	0.14	0.14						
0.15	15	0.15	0.15						
0.16	16	0.16	0.16						
0.17	17	0.17	0.17						
0.18	18	0.18	0.18						
0.19	19	0.19	0.19						
0.20	20	0.20	0.20						
0.21	21	0.21	0.21						
0.22	22	0.22	0.22						
0.23	23	0.23	0.23						
0.24	24	0.24	0.24						
0.25	25	0.25	0.25						
0.26	26	0.26	0.26						
0.27	27	0.27	0.27						
0.28	28	0.28	0.28						
0.29	29	0.29	0.29						
0.30	30	0.30	0.30						
0.31	31	0.31	0.31						
0.32	32	0.32	0.32						
0.33	33	0.33	0.33						
0.34	34	0.34	0.34						
0.35	35	0.35	0.35						
0.36	36	0.36	0.36						
0.37	37	0.37	0.37						
0.38	38	0.38	0.38						
0.39	39	0.39	0.39						
0.40	40	0.40	0.40						
0.41	41	0.41	0.41						
0.42	42	0.42	0.42						
0.43	43	0.43	0.43						
0.44	44	0.44	0.44						
0.45	45	0.45	0.45						
0.46	46	0.46	0.46						
0.47	47	0.47	0.47						
0.48	48	0.48	0.48						
0.49	49	0.49	0.49						
0.50	50	0.50	0.50						
0.51	51	0.51	0.51						
0.52	52	0.52	0.52						
0.53	53	0.53	0.53						
0.54	54	0.54	0.54						
0.55	55	0.55	0.55						
0.56	56	0.56	0.56						
0.57	57	0.57	0.57						
0.58	58	0.58	0.58						
0.59	59	0.59	0.59						
0.60	60	0.60	0.60						
0.61	61	0.61	0.61						
0.62	62	0.62	0.62						
0.63	63	0.63	0.63						
0.64	64	0.64	0.64						
0.65	65	0.65	0.65						
0.66	66	0.66	0.66						
0.67	67	0.67	0.67						
0.68	68	0.68	0.68						
0.69	69	0.69	0.69						
0.70	70	0.70	0.70						
0.71	71	0.71	0.71						
0.72	72	0.72	0.72						
0.73	73	0.73	0.73						
0.74	74	0.74	0.74						
0.75	75	0.75	0.75						
0.76	76	0.76	0.76						
0.77	77	0.77	0.77						
0.78	78	0.78	0.78						
0.79	79	0.79	0.79						
0.80	80	0.80	0.80						
0.81	81	0.81	0.81						
0.82	82	0.82	0.82						
0.83	83	0.83	0.83						
0.84	84	0.84	0.84						
0.85	85	0.85	0.85						
0.86	86	0.86	0.86						
0.87	87	0.87	0.87						
0.88	88	0.88	0.88						
0.89	89	0.89	0.89						
0.90	90	0.90	0.90						
0.91	91	0.91	0.91						
0.92	92	0.92	0.92						
0.93	93	0.93	0.93						
0.94	94	0.94	0.94						
0.95	95	0.95	0.95						
0.96	96	0.96	0.96						
0.97	97	0.97	0.97						
0.98	98	0.98	0.98						
0.99	99	0.99	0.99						
1.00	100	1.00	1.00						

PARA UN TOTAL DE 1.551 EL DIAMETRO IDEAL ES DE 3.65 IN.

YA TENIENDO EL DATO DEL DIAMETRO IDEAL PASAMOS A LA TABLA No.

5. ASÍ CON EL CONTENIDO DE CARBÓN OBTENEMOS LA CANTIDAD DH . (DUREZA MÁXIMA).

LUEGO CON EL DIAMETRO IDEAL ANTES OBTENIDO PARA CADA DISTANCIA DE LA PROBE

VA JOMINY OBTENEMOS EL COEFICIENTE $\frac{DH}{DH}$ (DUREZA MÁXIMA) Y SI PARA

CADA CASO DESPLAZAMOS LA CANTIDAD DH , TENEMOS UNA SERIE DE DATOS CON LOS QUE

VA PODEREMOS DIBUJAR LA CURVA JOMINY.

EJEMPLO CON EL ACERO :

PARA 0.65 % C LA DUREZA MÁXIMA (I.H.) ES 59 ROCKWELL "C" -

ANTES CON EL DATO DE DIAMETRO IDEAL 3.65 (IN.) DETERMINAMOS LA TABLA No. 6.

TABLA No. 6

	1 4°	1 2°	3 4°	1°	1 1 4°	1 1 2°	1 3 4°	2°
$\frac{DH}{DH}$	1.08	1.26	1.47	1.70	1.85	1.94	2.00	2.06
DH	55.56	45.83	40.14	34.70	31.90	30.41	29.50	28.64

BANDAS DE TEMPLABILIDAD.

EN LOS ÚLTIMOS AÑOS HAN SURSIDO ESPECIFICACIONES CON RESPECTO A LA TEMPLABILIDAD DE LOS ACEROS. ESTAS REESPECIFICACIONES SE ACOSTUMERAN DAN POR MEDIO DE BANDAS QUE INDICAN UN MÍNIMO Y UN MÁXIMO DE TEMPLABILIDAD EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE LA PROBETA JOMINY.

CON LAS BANDAS DE TEMPLABILIDAD SURTIÓ UN NUEVO TIPO DE ACEROS. -- QUE SE DISTINGUEN DE LOS NORMALES POR LLEVAR DE SUFICIO LA LETRA H (I.E. 4140 CH.

87204) y que aseguran una banda de templabilidad. Un ejemplo de estos bandos aparece en la Figura No. 28.

GENERALMENTE LOS ACEROS TIPO H TIENEN ESPECIFICACIONES MENOS SEVERAS EN LO QUE RESPECTA A COMPOSICION QUIMICA, PARA FACILITAR LA OBTENCION DE UNA BANDA DE TEMPLABILIDAD. POR EJEMPLO :

ACERO	C	Mn	Si	Cr	Ni
4140	0.35 - 0.43	0.75 - 1.00	0.20 - 0.35	0.80 - 1.10	0.55 - 0.25
4140H	0.37 - 0.45	0.75 - 1.05	0.20 - 0.35	0.80 - 1.15	0.15 - 0.25

SIN EMBARGO PARA OBTENER ESTOS ACEROS SE TRABAJA CON CORRECCIONES DE LOS MISMOS.

EN EL APENDICE APARECEN LAS COMPOSICIONES DE LOS ACEROS TIPO N.

DEBIDO A QUE ES MUY DIFICIL TENER LAS BANDAS DE TODOS LOS ACEROS - GRAFICAMENTE, SE HAN ESPECIFICADO VARIOS METODOS PARA REUNIR EN TABLAS LOS DATOS NECESARIOS PARA PODER DIBUJAR ESTAS.

HAY TRES METODOS (VER FIGURA No. 29).

A.- LA DISTANCIA MAXIMA Y MINIMA EN QUE OCURRE UN VALOR DE DUREZA,

$$(\text{i.e. } J_{45} = 4/16^{\circ} \text{ A } 11/16^{\circ}, \text{ AA}).$$

B.- LAS DUREZAS MAXIMA Y MINIMA EN UNA DISTANCIA ESPECIFICA.

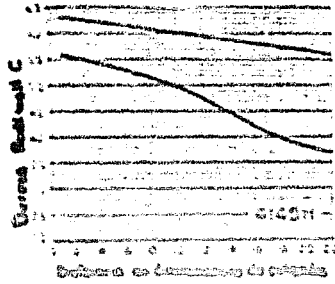
$$(\text{i.e. } J_{36}^{50} = 8/16^{\circ}, \text{ B-B}).$$

C.- DOS DUREZAS MAXIMAS EN DOS DISTANCIAS DISEÑADAS (C-C) Y DOS DUREZAS MINIMAS EN OTRAS DOS DISTANCIAS (D-D) POR EJEMPLO :

$$J_{55} = 5/16^{\circ} (\text{MAX}) \text{ y } J_{40} = 7/16^{\circ} (\text{MAX}), J_{45} = 4/16^{\circ} (\text{MIN}) \\ \text{y } J_{35} = 8/16^{\circ} (\text{MIN}).$$

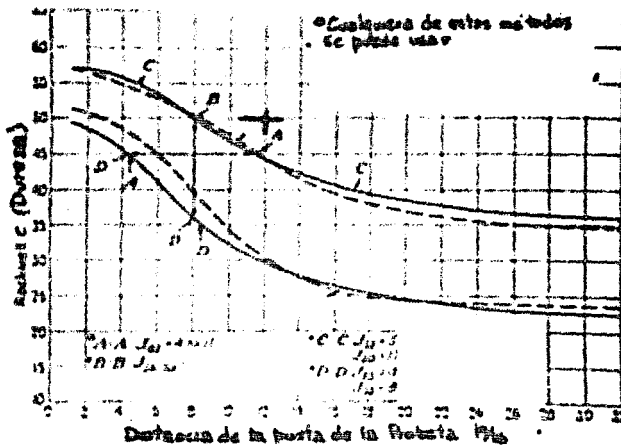
MEDIANTE EL METODO B, SE MUESTRAN EN EL APENDICE TABLAS QUE ESPECIFICAN LAS BANDAS DE LOS ACEROS MAS COMUNES.

FIGURA No. 28



BANDA DE TEMPLABILIDAD PARA UN ACERO 4145H

FIGURA No. 29



MÉTODOS PARA ESPECIFICAR LA TEMPLABILIDAD.

CAPITULO III

GENERALIDADES SOBRE TRATAMIENTOS TERMICOS.

CADA TIPO DE ESTRUCTURA METALOGRAFICA POSEE CUALIDADES FISICAS ESPECIALES, QUE LA HANAN ADECUADA PARA UN TRABAJO ESPECIAL.

ES POR ESO QUE CUANDO QUEREMOS SELECCIONAR UN ACERO PARA UNA FUNCION ESPECIFICA, DEBEMOS HACER QUE LA ESTRUCTURA METALOGRAFICA QUE PODA SER LA MAS ADECUADA PARA CUMPLIR LOS REQUISITOS DE TRABAJO.

AMBA DICHAS, SIENDO LA TEMPLABILIDAD EL FACTOR MAS IMPORTANTE EN LA SELECCION DE UN ACERO, SI DOS ACEROS DIFERENTES SATISFACEN LAS CONDICIONES DE TEMPLABILIDAD, LA SELECCION OPTIMA SERA EL DE MENOR COSTO.

EN EL CAPITULO SIGUIENTE HAREMOS UN ANALISIS ESCUETO SOBRE LAS DIFERENTES CONDICIONES DE CARGA A LAS PUEDE ESTAR SUJETO UN ACERO, Y LA CAPACIDAD DE LAS DIFERENTES ESTRUCTURAS PARA SOBRELLEVARLAS.

AUNQUE YA SE DIO UNA IDEA GENERAL DE LA FORMACION DE LAS DIFERENTES ESTRUCTURAS, ES IMPORTANTE HACER NOTAR QUE INDUSTRIALMENTE EXISTEN PROCESOS TENDIENTES A OBTENER CADA TIPO DE ESTRUCTURA. TODOS ESTOS PROCESOS TIENEN CARACTERISTICAS ESPECIALES Y POR ELLO ES INTERESANTE ANALIZARLOS SEPARADAMENTE.

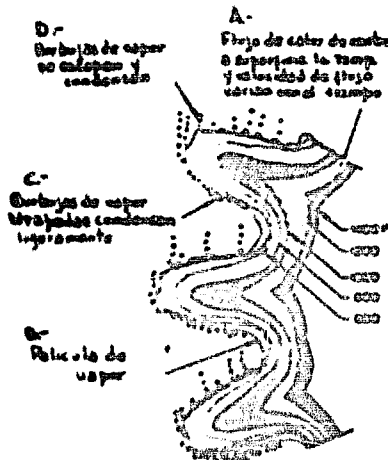
TEMPLE

EL PROPOSITO PRINCIPAL DE ESTE PROCESO ES LOGRAR UNA ESTRUCTURA MARTENSITICA, ESTO SE LOGRA CON UN ENFRIAMIENTO LO SUFICIENTEMENTE RAPIDO COMO PARA EVITAR LA LINEA DE PRINCIPIO DE REACCION EN LOS DIAGRAMAS θ ₁⁰, PRECEDIDO DE UNA AUSTENIZACION COMPLETA DE LA PIEZA (A 80° C ARRIBA DE LA TEMPERATURA -

CRÍTICA). ANTES DE EL PASAR LA VELOCIDAD CRÍTICA DE ENFRIAMIENTO, DEPENDE DEL MEDIO ENFRIANTE QUE USAMOS, DE LA MASA DE LA PIEZA POR TEMPLAR Y DE LA TEMPERATURA DE LA MASA.

CUANDO SE FORMA UN LIQUIDO EN CONTACTO CON UNA SUPERFICIE METALICA, ESTA SUFRE UN CAMBIAMIENTO QUE SE LLEVA A CABO EN TRES PASOS. EN EL PRIMER PASO SE FORMA UNA PELICULA QUE SEPARA AL LIQUIDO DEL METAL. AQUI EL FLUJO DE CALOR ES BASTANTE EFECTIVO EN LIQUIDOS CON PUNTOS DE EBULLICION MUY ALTOS O MUY BAJOS -- (COMO AGUA). EL SEGUNDO PASO ES EL MAS IMPORTANTE YA QUE EL FLUJO DE CALOR ES MAS EFECTIVO EN EL LIQUIDO LLEGA A LA SUPERFICIE METALICA EN CUANTAS CURVAS DE VAPOR LA FORMACION, EN EN ESTE PASO SON LOS LIQUIDOS COMO EL AGUA CON MAS EFECTIVIDAD. POR ULTIMO EL TERCER PASO ES CUANDO LA TEMPERATURA DEL METAL ESTA MAS ALTA QUE LA TEMPERATURA DE EBULLICION DEL LIQUIDO, Y POR LO TANTO LA TRANSMISION DE CALOR ES EFECTIVA SOLAMENTE POR CONVECCION, EN ESTE PASO EL FACTOR DETERMINANTE ES LA CONDUCTIVIDAD DEL LIQUIDO. (FIG. No. 30).

FIGURA No. 30



FACTORES QUE AFECTAN EL TEMPLADO DE UNA PIEZA.

**BASEANDOSE EN LAS CONDICIONES ANTERIORES, CONOCEREMOS QUE EL MEDIO -
ENFRIANTE MAS APROPIADO SERA AQUEL EN QUE SE MINIMICE EL PRIMER PASE (I.E. ACEI-
VED), QUE TENGA UNA CAPACIDAD MAS GRANDE EN EL SEGUNDO PASE (I.E. AGUA), Y QUE
POSEA CARACTERISTICAS QUE PERMITAN QUE EL TERCER PASE SEA LENTO (I.E. ACEITES).
EL LIQUIDO QUE LLENE PERFECTAMENTE LOS REQUISITOS ANTERIORES DESAFORTUNADAMENTE
NO EXISTE, Y ES POR ESO QUE EN GENERAL COMO MEDIOS ENFRIANTES SE USA AGUA, SO-
LUCIONES ACIDAS Y ACEITES NATURALES O PREPARADOS.. DEPENDIENDO LA SELECCION DE
QUE SE ELABORAN LOS REQUISITOS DE ENFRIAMIENTO Y DE LA ECONOMIA DEL PROCESO.**

SI SEGUN DE QUE LAS CONFIGURACIONES DE LAS CURVAS DE ENFRIAMIENTO,
DE DIFERENTES MEDIOS VALEN, SE HA HECHO NECESARIO PARA PROPOSITOS DE CALCULO -
EL ADEMS QUE LAS CONFIGURACIONES SON IGUALES (FIG. NO. 17), ASI COMO QUE LA -
CONDUCTIVIDAD TERMICA, LA DENSIDAD Y LA DIFUSIVIDAD TERMICA DEL ACERO SON CON-
STANTES. DE ESTE MODO ADEMS A VECES SE OBTIENEN ERRORES CONSIDERABLES, GENE-
RALMENTE ESTOS ERRORES SE COMPRENEN.. HACIENDO LA CONSIDERACION PARALELA DE SI
ES MEJOR EL USO DE ESTE METODO QUE EL DE SELECCIONAR UN MEDIO ENFRIANTE INTUITI-
VAMENTE.

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO EN DIFERENTES MEDIOS.

PARA PODER COMPARAR LAS VELOCIDADES DE ENFRIAMIENTO QUE PODEMOS
OBTENER EN DIFERENTES MEDIOS, ES NECESARIO HACER ESTA COMPARACION A LA MISMA
TEMPERATURA, EN PIEZAS DE IGUAL TAMAÑO Y EN UN MISMO PUNTO EN LA SECCION TRANS-
VERSAL DE ESTAS.

PARA LOGRAR ESTO FRENCH ESTABLECIO LA SIGUIENTE FORMULA :

$$V = \frac{(S)^2}{(W)} C_2$$

V = VELOCIDAD A $720^{\circ}C$ ($^{\circ}C$)

C = AREA SUPERFICIAL (in^2)

W = VOLUMEN (in^3)

n y C_2 = CONSTANTES PARTICULARES DE CADA MEDIO ENFRIANTE.

ESTA FORMULA COMPARA LAS VELOCIDADES DE ENFRIAMIENTO QUE SE OBTIENEN CON DIFERENTES MEDIOS A $720^{\circ}C$ Y EN EL CENTRO DE LAS PIEZAS. ES DE NOTAR QUE HAY UNA RELACION INVERSA ENTRE LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO Y LA RAZON AREA-VOLUMEN, LO QUE DEBEHA DE LA VERDAD DE HACER EL CALCULO CON CUALQUIER CONFIGURACION CON QUE TENGA LA MISMA FORMA SUPERFICIAL.

A CONTINUACION INCLUIREMOS UNA TABLA, QUE NOS DICE EL VALOR DE LAS CONSTANTES C_2 Y n PARA DIFERENTES MEDIOS.

TABLA No. 5

MEDIO ENFRIANTE Y CONFIGURACION	VALOR DE LA CONSTANTE	
	n	C_2
<u>SOL. NaOH 5 % (BARRAS)</u>	1.84	3.66
<u>AGUA</u>		
ESFERAS	1.75	3.91
BARRAS	1.75	4.03
PROMEDIO		3.94
<u>ACEITE MINERAL</u>		
ESFERAS	1.40	3.22
BARRAS	1.40	3.03
PROMEDIO		3.12
<u>AIRE (BARRAS)</u>	1.15	0.31

SEVERIDAD DE ENFRIAMIENTO.

HACIENDO CONSIDERACIONES TERMODINAMICAS CON RESPECTO AL FLUJO DE CALOR, SE CONOCE COMO SEVERIDAD DE ENFRIAMIENTO (H) LA CANTIDAD DADA POR LA RELACION:

$$H = \frac{P}{K}$$

P * FACTOR DE FLUJO DE CALOR (BTU IN² SEG⁰ F)

K * CONDUCTIVIDAD TERMICA (BTU IN SEG⁰ F)

H = (IN⁻¹).

EL FACTOR "P" ES FUNCION DEL TIEMPO, LA TEMPERATURA, LA GEOMETRIA Y LA AGITACION A QUE ESTAN SUJETAS LA PIZZA Y EL FLUIDO ENFRIANTE.

A CONTINUACION PRESENTAMOS UNA TABLA CON DIFERENTES VALORES DE H PARA DIFERENTES MEDIOS Y EN DIVERSAS CONDICIONES DE AGITACION.

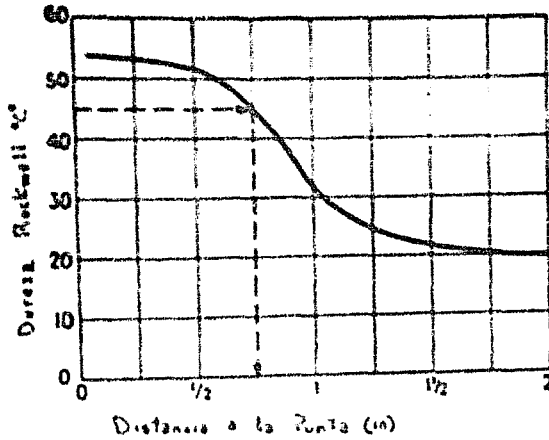
TABLA No. 7

AGITACION DEL MEDIO ENFRIANTE O MOVIMIENTO DE LA PIZZA		H			
MEDIO ENFRIANTE	PIZZA	AIRE	ACEITE	AGUA	SOL. NaOH %
NINGUNA	NINGUNO	0.02	0.3	1.0	2.2
NINGUNA	MODERADO	- -	0.4-0.6	1.5-3.0	- -
NINGUNA	VIOLENTO	- -	0.6-0.8	3.0-6.0	7.5
VIOLENTO O SPRAY		- -	1.0-1.7	6.0-12.0	- -

EL ENTRIAMIENTO MAS DRASTICO TEORICAMENTE POSIBLE, ES AQUEL EN QUE LA TEMPERATURA DE LA PIEZA DESECIENE INSTANTANEAMENTE A LA TEMPERATURA DEL MEDIO, TOMANDO LA H UN VALOR INFINITO.

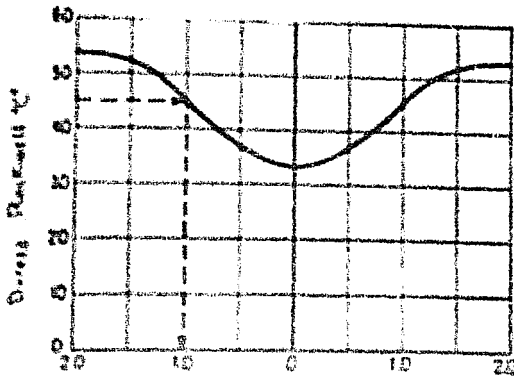
LUDWIG DESARROLLO UN METODO MEDIANTE EL CUAL ES POSIBLE DETERMINAR EL VALOR NUMERICO DE H A PARTIR DE LA CURVA JOMINY. APARTE DE HACER LA PRUEBA JOMINY PARA UN ACERO, AQUI ES NECESARIO DETERMINAR LAS DUREZAS EN UNA BARRA DE TAL TAMAÑO QUE SOLAMENTE ENDUREZCA PARCIALMENTE EN EL CENTRO. FIGURAS NOS. 31 Y 32.

FIGURA No. 31



CURVA JOMINY PARA UN ACERO 4140 H

FIGURA No. 32



Distancia del Centro (in)

VARIACION DE LA DUREZA CON LA DISTANCIA AL CENTRO EN UNA BARRA DE 4 IN.
DE UN ACERO S160

VAMOS A PRESENTAR A CONTINUACION LA DISTRIBUCION DE ESTE METODO ILUS-
TRANDO PARALELAMENTE CON UN EJEMPLO.

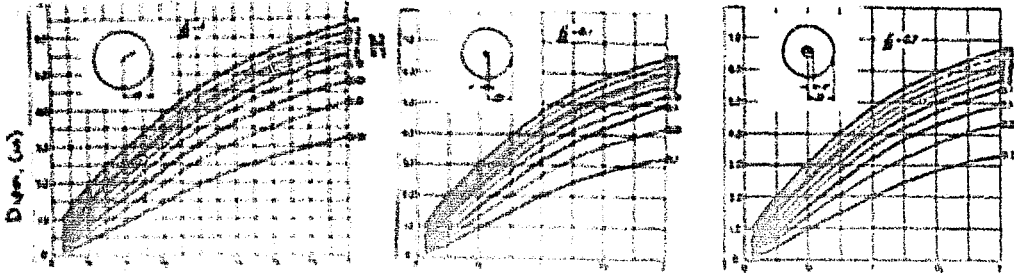
UN ACERO QUE PRESENTE UNA CURVA JOMINY Y UNA DISTRIBUCION DE DURE-
ZAS COMO SE REPRESENTA EN LAS FIGURAS NOS. 31 Y 32 Y EN LAS CUALES SE HA SELEC-
CIONADO PARA FINES DE DISEÑO UNA DUREZA DE 45 ROCKWELL C^R , TENDRA ESTE VALOR EN
UNA PROFUNDIDAD DE $3/4^R$ EN LA PROBETA JOMINY Y A UNA DISTANCIA DE 1^R DEL CENTRO
DE LA BARRA DE 4^R USADA EN ESTE CASO, O SEA A UNA FRACCION DE PROFUNDIDAD DE $^R/R$
 $= 0.5$ DONDE R ES LA DISTANCIA AL CENTRO DE LA BARRA, EN QUE LA DUREZA ES 45 ROCK-
WELL C Y R ES EL RADIO DE LA BARRA.

LAS GRAFICAS PRESENTADAS EN LA FIGURA No. 33 RELACIONAN DIAMETRO
DE BARRA, DISTANCIA DE LA CURVA JOMINY Y SEVERIDAD DE ENFRIAMIENTO PARA DIFE-
RENTES RELACIONES $^R/R$.

VIENDO LA GRAFICA PARTICULAR PARA ESTE CASO, OBTENDREMOS UN VALOR

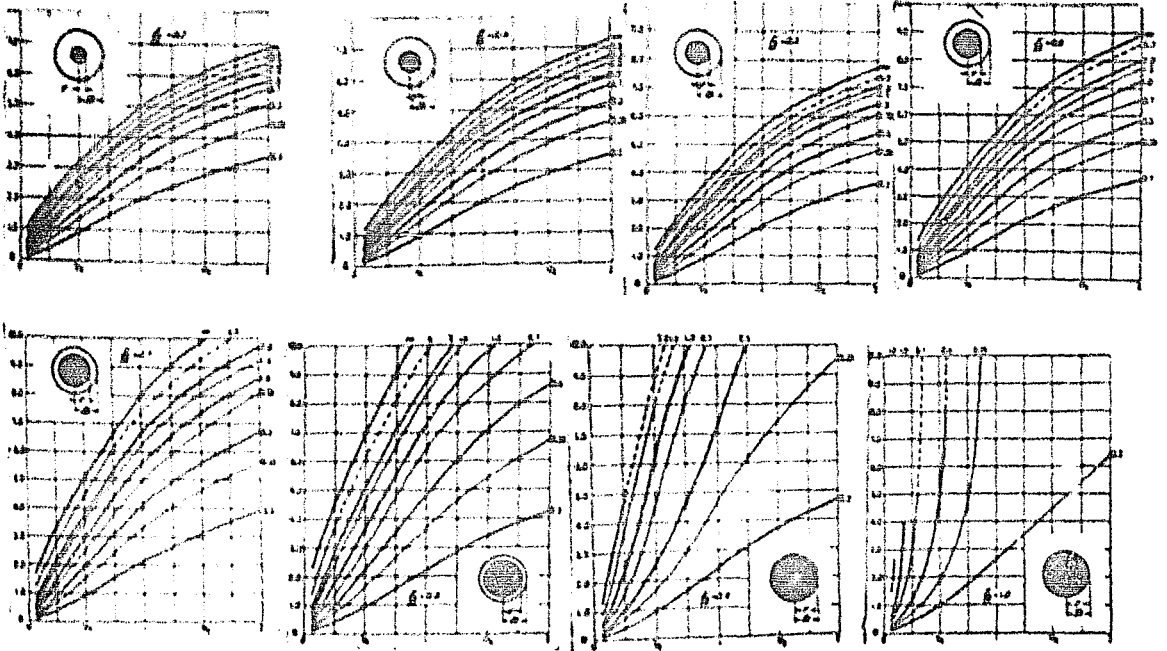
DE $H = 2.0$

FIGURA No. 33



de la parte inferior.

LOCALIZACION EN LA PAREJA JENSEN CORRESPONDIENTE A DIFERENTES PORCENTAJES DEL CENTRO (R/R) EN BARRAS REDONDAS.



ADORA VAMOS UN EJEMPLO DEL USO DE ESTAS GRAFICAS, A) PARA SACAR EL TAMAÑO MÁXIMO DE BARRA QUE SE ENDURECERA TOTALMENTE CON UNA $H = 0.40$, B) LA H NECESARIA PARA ENDURECER TOTALMENTE UNA BARRA DE 3". C) LA DISTRIBUCION DE DUREZAS EN UNA BARRA DE 4" ENDURECIDA CON UNA SEVERIDAD DE $H = 2.0$ PARA UN ACERO 4140 CON LA CURVA JOMINY PRESENTADA EN LA FIGURA NO. 31.

A). EL ENDURECIMIENTO TOTAL SE OBTIENE CON UNA DUREZA DE 55.8 ROCKWELL "C" Y A UN MÁXIMO DE $6/16"$ EN LA BARRA JOMINY. PARA SACAR CUAL SERA EL DIAMETRO DE LA BARRA TOTALMENTE ENDURECIDA CON UNA $H = 0.40$ TENEMOS QUE VER LA FIGURA QUE TIENE LA RELACION $r/R = 0$ (YA QUE r TIENE QUE SER IGUAL A CERO PARA TENER UN ENDURECIMIENTO TOTAL).

RELACIONANDO TODOS LOS DATOS ANTERIORES ENCONTRAMOS QUE EL DIAMETRO SERA DE APROXIMADAMENTE 1.10 PULGADAS.

B).- EN LA MISMA FIGURA QUE LA USADA EN EL INCISO ANTERIOR RELACIONAMOS LOS DATOS : DIAMETRO DE BARRA DE 3 IN. Y PROFUNDIDAD EN LA PROBETA JOMINY $6/16"$ Y OBTENDREMOS QUE H ESTA ARRIBA DE INFINITO. DE LO QUE SACAMOS LA CONCLUSION QUE UNA BARRA DE 3 IN. DE ESTE ACERO NO SE PODRA ENDURECER TOTALMENTE.

C).- AQUI PARA UN VALOR DE $H = 2.0$ Y DIAMETRO DE BARRA DE 4 PULGADAS. TENDREMOS QUE TRABAJANDO CON TODAS LAS DIFERENTES RELACIONES r/R Y SACAR EL VALOR DE PROFUNDIDAD EN LA PROBETA JOMINY. Y CON ESTE MEDIANTE LA CURVA JOMINY, SACAR LAS DIFERENTES DUREZAS, COMO LO VEMOS EN LA TABLA No. 8.

TABLA No. 8

DISTANCIA DEL CENTRO	" R	PROFUNDIDAD EN LA ESCALA JOMINY	DUREZA ROCKWELL C
Centro	0	15/16°	45
0.20	0.1	14/16°	47
0.40	0.2	14/16°	47
0.60	0.3	13/16°	49
0.80	0.4	13/16°	49
1.00	0.5	12/16°	51
1.20	0.6	10/16°	53
1.40	0.7	8/16°	53
1.60	0.8	6/16°	53.8
1.80	0.9	3/16°	53.8
2.00 (Superficie)	1.0	0/16°	53.8

REVENIDO.

REPITIENDO LO QUE YA MENCIONAMOS EN EL PRIMER CAPITULO, AL TEMPLAR SE OBTIENE UNA ESTRUCTURA MARTENSITICA QUE A PESAR DE POSEER GRAN DUREZA, SU TENACIDAD Y RESISTENCIA AL IMPACTO SON BASTANTE BAJAS.. POR LO QUE ES NECESARIO -- OAN UN CALENTAMIENTO POSTERIOR, CUYO OBJETO ES MODIFICAR LA ESTRUCTURA A MARTENSITA REVENIDA. ESTA ESTRUCTURA POSEE GRAN RESISTENCIA AL IMPACTO, DUCTILIDAD Y TENACIDAD.. PROPIEDADES QUE VARIAN CON LA TEMPERATURA DE REVENIDO.

AL PROCESO DE CALENTAR EL ACERO CON EL PROPOSITO SUSODICHO SE CONOCE CON EL NOMBRE DE REVENIDO

EL CALENTAMIENTO ES CADA A UNA TEMPERATURA INFERIOR A 723°C (TEMPERATURA CRITICA INFERIOR).

EL REVENIDO SE EFECTUA EN 3 PASOS, EL PRIMERO SERA LA REYECCION DE CARBUROS DE TRANSICION (TAMBIEN LLAMADOS CARBUROS ϵ PSILON) DE LA MARTENSITA, EL SEGUNDO PASE DOTA LA ACCELERACION DE ESTOS CARBUROS Y POR ULTIMO EL TERCER PASO DEBERIA CUANDO ESTOS CARBUROS SE TRANSFORMAN A CEMENTITA.

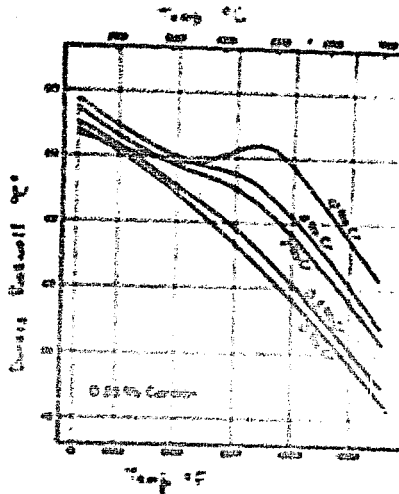
EL PRIMER PASO VIENE ACOMPAÑADO DE UN LIGERO AUMENTO EN LA DUREZA, DEBIDO A UN EFECTO DE ENCOAJAMIENTO POR PRESENCIA DE LOS CARBUROS DE TRANSICION, EN LOS DOS ULTIMOS PASOS LA DUREZA DISMINUYE.

OTRO EFECTO IMPORTANTE EN LA DUREZA, ES LA TRANSFORMACION ISOTERMICA DE LA AUSTENITA RETENIDA, PASE QUE PUEDE SER PREDOMINANTE AL DETERMINAR EL TIEMPO QUE LA PIEZA DEBE ESTAR A TEMPERATURA, Y QUE NOS LO DA EL DIAGRAMA DE -- TRANSFORMACION ISOTERMICA.

EFFECTO DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION.

EXCEPTO POR EL EFECTO QUE ESTOS ELEMENTOS TIENEN EN LA CANTIDAD DE AUSTENITA RETENIDA, TODOS ELLOS MENOS EL SILICIO, TIENEN Poca INFLUENCIA EN LOS DOS PRIMEROS PASOS DEL REVENIDO., PERO EN TEMPERATURAS ARRIBA DE 800°C -- LOS ELEMENTOS CON TENDENCIA A FORMAR CARBUROS (Mn, Cr, Mo, V), DAN UNA MAYOR DUREZA QUE A SU VEZ PRODUCE UNA MAYOR RESISTENCIA, POR EJEMPLO SE PUEDE VER EL EFECTO DEL CROMO EN LA FIGURA No. 34.

FIGURA No. 34



EFFECTO DEL CROMO EN LA DUREZA.

CALCULO DE LA DUREZA AL REVENIR.

CON EL OBJETO DE SELECCIONAR DEBIDAMENTE UN ACERO, ES BASICO CONOCER LA DUREZA QUE SE VA A OBTENER DESPUES DE REVENIR., PARA OBTENER ESTE DATO HAY DIFERENTES METODOS.

METODO DE ADICIONES.

DA EL VALOR DE LA DUREZA, DESPUES DE DAR UN REVENIDO DURANTE DOS HORAS., SE BASA EN LA FORMULA :

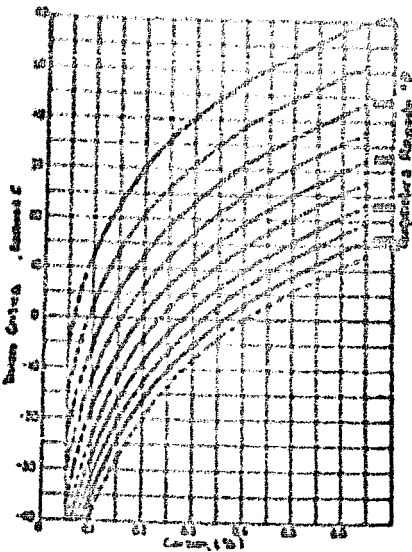
$$R_T = (RQ - D - B) / B A$$

R_T = DUREZA ROCKWELL °C° DESPUES DE REVENIR DOS HORAS.

RQ = DUREZA ROCKWELL °C° DEL ACERO TEMPLADO.

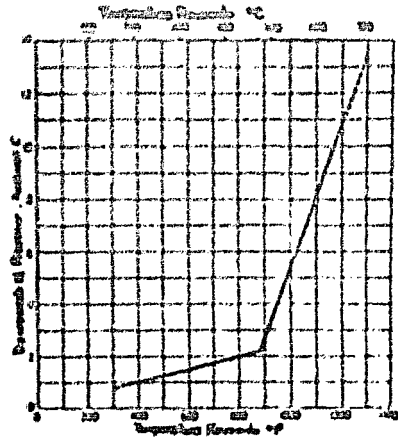
- D * DECREMENTO POR EL REVENIDO (FIGURA No. 35)
- B * DUREZA CRITICA PARA EL CONTENIDO DE CARBONO Y LA TEMPERATURA DE REVENIDO (FIGURA No. 36)
- F * FACTOR DE REVENIDO PARA EL CONTENIDO DE CARBONO Y LA TEMPERATURA DE REVENIDO (FIGURA No. 37)
- A * SUMA DE INCREMENTOS INDIVIDUALES DEBIDO A LOS ELEMENTOS - ALIADOS (FIGURA No. 38)

FIGURA No. 36



FACTOR B, CONTRA % CARBONO Y TEMPERATURA DE REVENIDO

FIGURA No. 35



FACTOR D, CONTRA TEMPERATURA DE REVENIDO

FIGURA No. 37 A

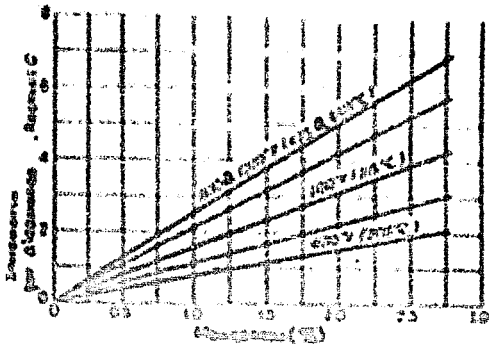


FIGURA No. 37 B

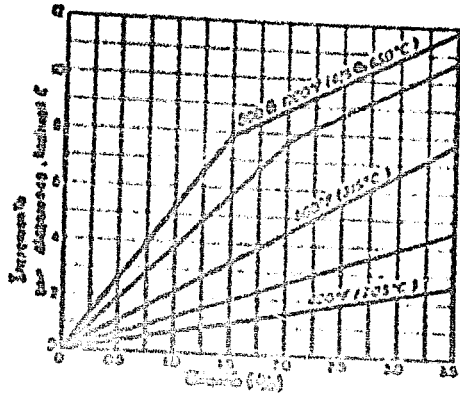


FIGURA No. 37 C

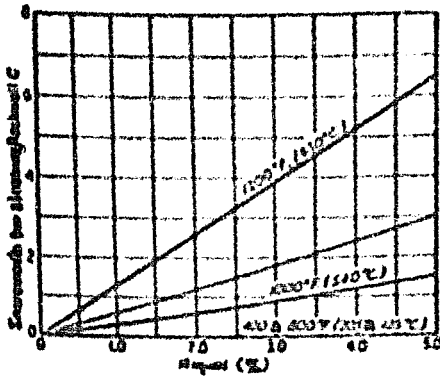


FIGURA No. 37 D

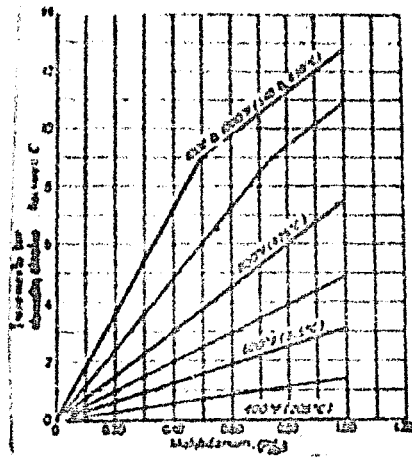


FIGURA No. 37 E

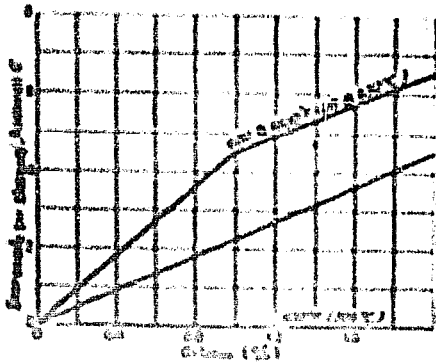
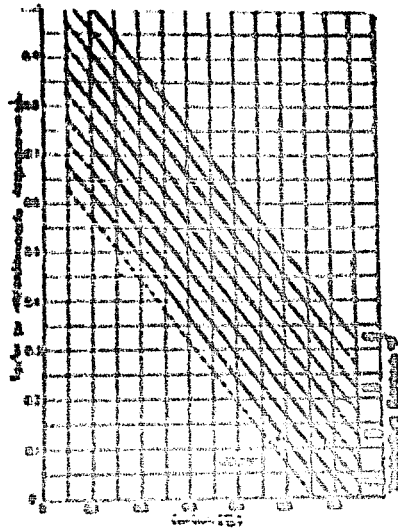


FIGURA No. 37.- INCREMENTO DE ELEMENTOS ALEADOS (A) PARA MANGANESO (37 A) - CROMIO (37 B), NIQUEL (37 C), MOLIBDENO (37 D) Y SILICIO (37 E).

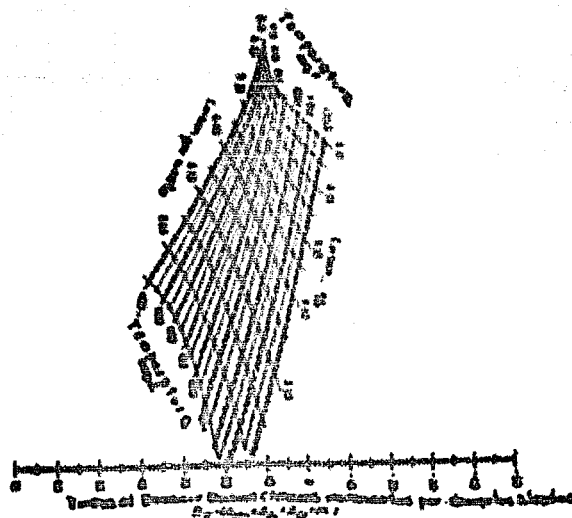
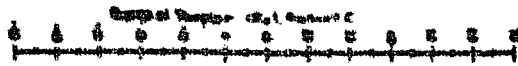
FIGURA No. 39



FACTOR P^2 POR RECLANQUEAMIENTO DESPROPORCIONADO

SIN EMBARGO PARA EVITAR ESTOS CALCULOS HAY UN NOMOGRAMA (FIGURA No. 39). EN ESTE SE TRAZA UNA LINEA RECTA ENTRE EL VALOR DE LA DUREZA R_C Y UN PUNTO QUE SE LOCALIZA EN EL SISTEMA PORCENTAJE DE CARBON-TEMPERATURA DE REVENIDO. AL PROLONGAR ESTA LINEA RECTA, EN LA ESCALA DEL LADO DERECHO OBTENREMOS EL VALOR $R_0 - A$, ASI CALCULANDO A Y SUMANDOLO AL VALOR ANTERIOR OBTENREMOS EL VALOR DE R_0 .

FIGURA No. 39



NOMOGAMA PARA CALCULAR LA DUREZA AL REVERSO

EJEMPLO :

CALCULAR EL VALOR DE LAS DUREZAS EN UNA PROBETA JOMINY DE ACERO

8645 (PAS. No.) (EN DONDE LA CURVA JOMINY SE CALCULO POR EL METODO DE ADI

CIONES) AL TEMPLAR A 1000° F.

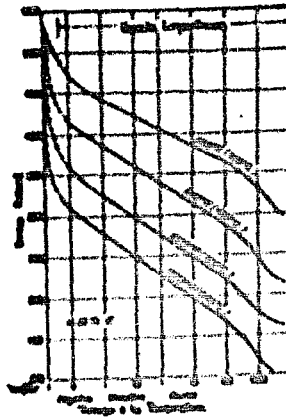
PROPIEDADES EN LA PARED DE JOMINY

PASO EN EL CALCULO		4/16"	5/16"	10/16"	32/16"
DUREZA AL TORNAR		53.7	51.6	39.9	29.0
$R_0 - A$		20.0	18.0	14.5	12.5
R_0		29.8	27.8	24.3	22.3
A =	2.4	1.0	0.1	2.6	3.7 = 9.8
	M ₀	S ₀	H ₀	C ₀	M ₀

INFLUENCIA DEL TIEMPO EN EL REVENIDO

Debido a que el revenido es tambien un proceso en que la difusion juega un papel basico, el tiempo sera un factor decisivo en el grado de revenido que se obtenga en el acero (Figura No. 40).

FIGURA No. 40



INFLUENCIA DEL TIEMPO EN EL REVENIDO.

Se puede observar que la dureza está relacionada linealmente al logaritmo del tiempo, excepto por una ligera caída en los primeros segundos y después de 1600 horas.

Consecuencia de todo lo anterior es la posibilidad de obtener con dos métodos diferentes, la misma dureza a una temperatura igual al revenido, -- tiempos y cuando los tiempos sean diferentes. Esta propiedad nos da la posibilidad de relacionar una dureza con un nivel de propiedades, al variar los tiempos de revenido.

Y con esta fórmula que anteriormente presentamos, solamente se puede calcular la dureza de revenido para un tiempo de dos horas. Para otros de cualquier modo de cualquier tiempo usando la siguiente fórmula se pueden calcular los valores de la dureza en diferentes lapsos de tiempo:

$$T_2 = \frac{(T_1 - 459) (19.5 \text{ Log } t_1)}{19.601} - 459 (^\circ)$$

$$(\circ) T_2 = \frac{(T_1 - 273) (19.5 \text{ Log } t_1)}{19.601} - 273 \text{ en } ^\circ\text{C}$$

DONDE:

T_1 = TEMPERATURA DE REVENIDO $^\circ\text{F}$

t_1 = TIEMPO DE REVENIDO (HORAS)

T_2 = TEMPERATURA CORRESPONDIENTE PARA UN TIEMPO DE REVENIDO DE DOS HORAS ($^\circ\text{F}$)

EJEMPLO:

Se dio a un material un revenido de cuatro horas a 1000°F . DETER-

MINAR LA TEMPERATURA QUE SE USARA PARA CALCULAR LA DUREZA AL REVENIR:

$$T_2 = \frac{(1000 - 459) (19.5 \text{ Log } 0.602)}{19.601} - 459$$

$$T_2 = 1027 \text{ } ^\circ\text{F}$$

CON ESTE AL VALOR LA FORMULA $R_T = (R_0 - D - B) \cdot B \cdot A$

USANDO LOS DATOS SUJETOS FORMULADO COMO EN LA TEMPERATURA PUESA -
EN RE^2/V .

DETERMINACION DE LA DUREZA AL REVENIR USANDO LA RELACION TIEM- PO - TEMPERATURA

LA DUREZA REVENIR RC^2 EN UN ACERO ES FUNCION DEL PARAMETRO.

$$T (K \text{ LOG } -)$$

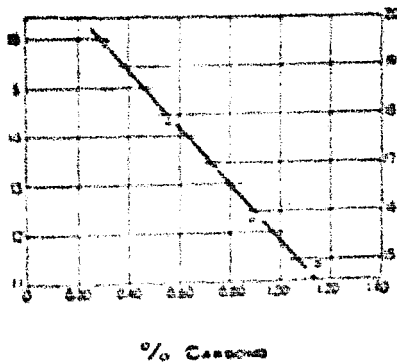
T = TEMPERATURA DE TEMPLADO $^{\circ}\text{R}$

T = TIEMPO EN LA TEMPERATURA DE REVENIR (HORAS)

C = CONSTANTE PARA ACERO PARTICULAR.

C VARIA CON EL CONTENIDO DE CARBONO SEGUN LA FIGURA N. 41.

FIGURA N. 41



VARIACION DE LA CONSTANTE RC^2 CON EL CONTENIDO DE CARBONO

5. EL TIEMPO Y LA TEMPERATURA PARA OBTENER UNA DETERMINADA DUREZA SON DETERMINADOS, TENIENDO (PARA TEMPERATURA U OTRO TIEMPO), COMO REFERENCIA EL DATO QUE SE OBTIENE PARA UNA DE LAS SIGUIENTES SITUACIONES:

$$(T_2 - 459) (18.9 \text{ LOG } T_2) = (T_1 - 459) (18.9 \text{ LOG } T_1)$$

ONDE:

T_2 : TEMPERATURA DETERMINADA O ADUESIDA EN $^{\circ}\text{F}$.

T_2 : TIEMPO DETERMINADO O ADUESIDO EN $^{\circ}\text{F}$.

T_1 : TEMPERATURA DE REFERENCIA EN QUE SE OBTUVO LA DUREZA NECESARIA EN $^{\circ}\text{F}$.

T_1 : TIEMPO DE REFERENCIA EN QUE SE OBTUVO LA DUREZA NECESARIA EN $^{\circ}\text{F}$.

EJEMPLO:

EN UN ACERO CON 0.40% DE CARBONO, SE OBTIENE UNA DUREZA DE 65 --
ROCKWELL $^{\circ}\text{C}$ AL TEMPERARLO Y DEJARLO UN REVENIDO A 1000°F DURANTE CUATRO HORAS.

PARA OBTENER LA MISMA DUREZA CON UNA TEMPERATURA DE REVENIDO DE 1100°F CUAL SERA EL TIEMPO QUE LA POCOA DEBE ESTAR A ESTA TEMPERATURA?

$$(1100 - 459) (18.9 \text{ LOG } T) = (1000 - 459) (18.9 \text{ LOG } 4)$$

DESPEJANDO Y RESOLVIENDO:

$$T_2 = 12 \text{ MIN.}$$

O SEA QUE PARA OBTENER UNA DUREZA DE 65 ROCKWELL $^{\circ}\text{C}$ HAY QUE DAR
UN REVENIDO A 1100°F DURANTE 12 MIN.

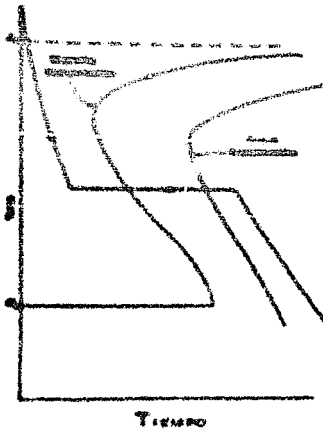
ENFRIAMIENTO INTERRUMPIDOS.

PRINCIPALMENTE HAY DOS TIPOS:

AUSTEMPLE

ESTE PROCESO CONSISTE EN DARLE UN TRATAMIENTO A LA PIEZA AUSTENITICA DESDE SU TEMPERATURA DE ACOSTUMBRAMIENTO HASTA LA BASE DE LA CURVA DE ENFRIAMIENTO CONTROLADO Y EN MANTENERLA DURANTE ESTE TIEMPO EL ENFRIAMIENTO Y DESPUES QUE EL ACERO ENFRIA UNA VELOCIDAD MAS RAPIDA EN LA FORMA DE REACCION MARTENSITICA.

FIGURA No. 42



CONDICIONES AL ENFRIAR PARA OBTENER UN ROVEDIDO AUSTENITICO

EN LA FIGURA No. 42 SE ILUSTRAN COMO ES ESTE TIPO DE TRATAMIENTO. -

SOLO QUE PARA MAYOR COMODIDAD ESTO SE ACOSTUMBRA ILUSTRAR SOBRE UNA CURVA "S"

EL PROPÓSITO DE ESTE TRATAMIENTO ES OBTENER EN TODA LA PIEZA UNA ESTRUCTURA - -

MARTENSITICA, ESTRUCTURA QUE APARTE DE TENER UNA DUREZA ACEPTABLE POR SU MAGNIFI--

CAS PROPIEDADES DE DUCTILIDAD, TENACIDAD Y RESISTENCIA AL IMPACTO.

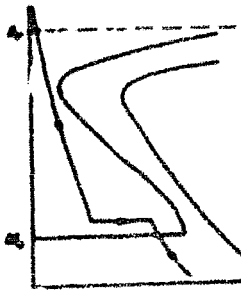
MARTEMPLA

UNO DE LOS PELIGROS DE TEMPLAR UNA PIEZA, ES QUE SIENDO DIFERENTES

Las velocidades de crecimiento de los nervios y de la superficie, en la superficie que el cambio de estructura a Martensita (acompañado del correspondiente cambio de volumen) resulta mayor tanto más alejado de la superficie. Esto puede producir (debido a la existencia de los nervios de volumen) un abastecimiento en la pieza. Aun así, para el caso de un tratamiento en superficie de la superficie de cada pie de la pieza se debe tener en cuenta que este fenómeno, para ser eficaz debe ser un fenómeno que ocurra en el eje de la pieza.

En este procedimiento se ha un calentamiento rápido a la pieza de los dos lados, la temperatura para ser elevada a los 100, se mantiene así hasta que la temperatura se haya elevado en toda la sección y luego se le da el enfriamiento final (Figura No. 43)

FIGURA No. 43



Tiempo

CONDICIONES AL ENFRIAR PARA OBTENER UN TEMPLADO MARTENSITICO.

RECOCCIDO.

A PESAR DE QUE TAMBIEN EL RECOCCIDO DEBEN EL NORMALIZADO Y EL ESPERDIZADO SON UNOS TRATAMIENTOS EN LOS QUE SE OBTIENE UNA ESTRUCTURA ESPECIFICA, SIEMPRE Y CUANDO SE REFINAN UNA YA EXISTENTE, ES INTERESANTE CONOCERLOS.

Se conoce con el nombre de RECOCIDO CUALQUIER OPERACION DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO QUE PRODUCE UN ALLANAMIENTO. MAS ESPECIFICAMENTE ESTA OPERACION PUEDE SER DE TRES TIPOS :

RECOCIDO DE ELIMINACION DE TENSIONES

RECOCIDO COMPLETO

RECOCIDO PARA CRISTALIZAR

EN EL RECOCIDO DE PROCESO EL ACERO ES CALENTADO A UNA TEMPERATURA ABajo O CERCA DE LA TEMPERATURA CRITICA INFERIOR Y ENFRIADO A CUALQUIER VELOCIDAD. EN EFECTO SE ALLANAN EL ACERO Y SELEVAN LOS ESPUESOS INTERNOS. COMERCIALMENTE LA OBLIGA ES CALENTAR EL ACERO ENTRE 1000°F Y 1200°F., SIENDO SU USO EN RELACION CON LA PRODUCCION DE LAMINA Y ALAMBRON.

EL RECOCIDO TOTAL CONSISTE EN CALENTAR EL ACERO A 100°F ABajo DE LA TEMPERATURA CRITICA SUPERIOR (FIGURA No. 44), SOSTENERLO A ESTA EL TIEMPO DESEADO Y DAR DESPUES UN ENFRIAMIENTO MUY LENTO COMO LO SERIA EN UN HORN. LOS PROPOSITOS DE ESTE PROCESO SON MEJORAR LA DUCTILIDAD, SELEVAR ESPUESOS INTERNOS CAUSADOS POR TRATAMIENTOS ANTERIORES Y REFINAR EL TAMANO DE GRANO (CON LAS CONSECUENCIAS CORRELADAS). EN VARIOS CASOS EXISTE UN RECOCIDO AL TRANSFORMARSE ISOTERMICAMENTE EL ACERO A TEMPERATURAS ABORIA DE LA PARTE DE LA CURVA ^S. ES TO SE CONOCE COMO " RECOCIDO ISOTERMICO "

NORMALIZADO

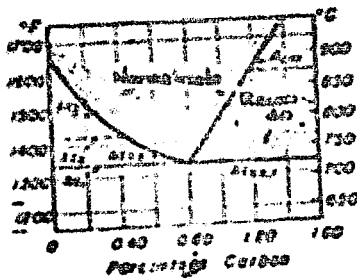
EL TERMINO NORMALIZADO DEFINE UN CALENTAMIENTO MAS O MENOS 100°F ABORIA DE LA TEMPERATURA CRITICA SUPERIOR (FIGURA No. 44) SEGUIDO POR UN ENFRIAMIENTO EN AIRE QUIETA. EL PROPOSITO DE ESTE TRATAMIENTO ES REFINAR EL TAMANO DE GRANO ANTES DE TEMPLAR , ENDURECER LIGERAMENTE AL ACERO O REDUCIR LAS SEDEGACIONES EN PIEZAS DE FUNDICION.

UN ACERO HIPOEUTECTICO QUE CONSISTE DE FERRITA Y PERLITA CRUE-

SA, SERA MAS FACIL DE MAQUINAR SI LA FERRITA Y LA CEMENTITA ESTA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA, LO QUE SE OBTIENE CON UN RECOCIDO. EN UN ACERO MUY SUAVE SE DIFICULTA PARA EL MAQUINADO, PERO COMO EL NORMALIZADO AUMENTA LA DUREZA, EL ACERO SE VOLVERA MAS FRAGIL Y FACIL DE MAQUINAR.

ES IMPORTANTE EL HACER NOTAR QUE LAS PROPIEDADES FISICAS OBTENIDAS EN UN ACERO AL NORMALIZADO, A MENUDO SATISFACEN LAS CONDICIONES DE TRABAJO.

FIGURA No. 44

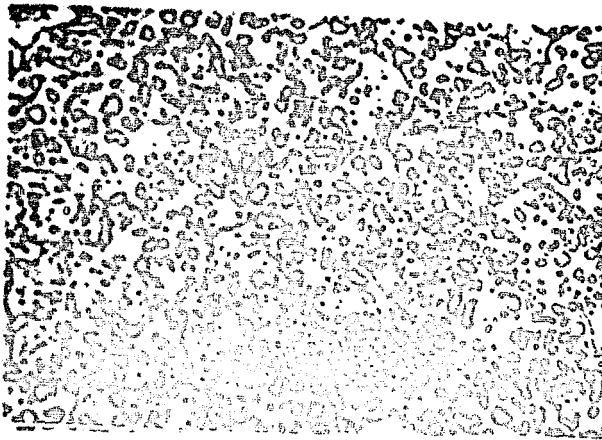


TEMPERATURAS PARA NORMALIZAR Y RECOCIDO

ESFEROIDIZADO

SI SE DA AL ACERO UN REVENIDO A UNA TEMPERATURA UN POCO ABajo DE LA TEMPERATURA A_{c1} , LA CEMENTITA SE AGLOMERA EN PEQUEÑAS ESFERAS RODEADAS DE FERRITA (FIGURA No. 45). CON ESTO EL ACERO ES MAS TENAZ Y SOBRE TODO NOTABLEMENTE MAS MAQUINABLE.

FIGURA No. 49



MICROESTRUCTURA DE UN ACERO ENDURECIDO (500 X)

ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL.

MUCHAS VECES SE PRESENTA EL CASO QUE UNA PIEZA DEBA POSEER UNA --
SUPERFICIE MUY DURA, RESISTENTE AL USO Y A SU VEZ UNA GRAN TENACIDAD, USUALMEN
TE ESTA COMBINACION NO ES OBTENIBLE EN UN ACERO AL QUE SE HA DADO UNO DE LOS TRA
TAMIENTOS TERMICOS ANTES ENUNCIADOS, YA QUE SI ES TRATADO PARA OBTENER UNA DU
REZA SUPERFICIAL MAXIMA SERA MUY FRAGIL Y SI ES TRATADO PARA SER TENAZ YA NO --
CUMPLIRA CON EL REQUISITO DE DUREZA.

PARA OVIAR LOS PROBLEMAS SUSOICINOS SE HAN DESARROLLADO DIFEREN
TES PROCESOS QUE SE AGRUPAN BAJO EL NOMBRE DE ° ENDURECIMIENTO SUPERFI
CIAL °.

SON PRINCIPALMENTE :

A) CARBURACION

- b) CARBURACION
- c) CARBONITRACION
- d) NITRACION

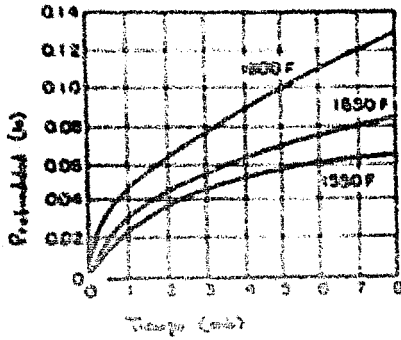
A CONTINUACION DAREMOS UNA IDEA GENERAL DEL MECANISMO Y FIN DE CADA PROCESO ANTES CONVENIENDO PARA PROFUNDIZAR EN ESTE TEMA VER LAS CITAS BIBLIOGRAFICAS QUE HANOS.

CARBURACION.

EN GENERAL LOS ACEROS CON CONTENIDO BAJO DE CARBON SON MAS TENACES QUE LOS ALTO CARBON PERO SU TEMPLABILIDAD ES MENOR, DESIDO A ESO CUALQUIER MEDIO QUE HAGA AUMENTAR EL CONTENIDO DE CARBON EN LA SUPERFICIE DE UN ACERO BAJO CARBON A PROPORCIONES EUTECTOIDIAS, DARA LOS RESULTADOS DESIADOS,, PREVIENTDO QUE AL ACERO LE SEA DADO EL TRATAMIENTO TERMICO DESIDO. EL USO DE ACEROS -- ALZADOS SERA BENEFICIOSO YA QUE MEJORA LA TENACIDAD, TEMPLABILIDAD Y RESISTENCIA AL USO.

EL AUMENTO DEL PORCENTAJE DE CARBON EN LA SUPERFICIE DE UNA PIEZA, SE OBTIENE FISICAMENTE BODEANDO ESTA DE ALGUN MEDIO (SOLIDO, LIQUIDO O GASEOSO) QUE TENGA UN CONTENIDO MUY ALTO DE CARBON Y CALENTANDOLA A UNA TEMPERATURA -- (GENERALMENTE 100° F ARRIBA DE LA CRITICA SUPERIOR) EN DONDE HAYA UNA GRAN DIFUSION, CONSECUENCIA DE LO CUAL SERA UNA PENETRACION DEL CARBON. EL TIEMPO A LA TEMPERATURA DE CARBURACION ES EL FACTOR MAS IMPORTANTE EN EL CONTROL DE LA PROFUNDIDAD A QUE PENETRA EL CARBON. LA FIGURA NO. 46 NOS RELACIONA EL TIEMPO Y LA PROFUNDIDAD PARA DIFERENTES TEMPERATURAS DE CARBURACION

FIGURA No. 46



RELACION DE LA PROFUNDIDAD CON EL TIEMPO PARA ACEROS CARBONIZADOS.

CON EL PROCESO ANTERIOR AUMENTABA MUCHO EL CONTENIDO DE CARBONO EN LA SUPERFICIE, Y ESTE AUMENTO CONTINUABA CON LA PROFUNDIDAD, CON LO QUE SE OBTIENE UNA GAMA MUY AMPLIA DE ESTRUCTURAS (FIGURA No. 47), SIENDO LAS MAS INTERIORES LAS MAS DURAS.

FIGURA No. 47



DIFERENTES ESTRUCTURAS QUE MUESTRAN LA VARIACION DEL CONTENIDO DE CARBONO EN UNA PIEZA CARBONIZADA

GENERALMENTE LOS MEDIOS USADOS PARA CARBURAR SON :

1).- SOLIDOS

EL MEDIO QUE SERVIRA LA PIEZA TENIDA COMO FUNCION PRINCIPAL SUPLENIR CARBON EN SU MEDIO NO HAY ASORCION DE CARBONO SI SE REMUEVE TODO EL AIRE O EL OXIGENO POR LO QUE SE CREE QUE LA CARBURACION OCURRE POR UNA REACION ENTRE EL FIERRO Y MONOXIDO DE CARBONO :

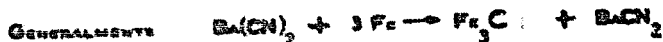


DESPLAZANDOSE ESTAS REACCIONES HACIA LA DERECHA AL AUMENTAR LA TEMPERATURA.

GENERALMENTE UN MEDIO SOLIDO PARA CARBURAR ESTA CONSTITUIDO POR CARBON DE MADERA, COQUE, CARBONADO DE SODIO Y CARBONATO DE BARIO.

EL PROPOSITO DE ESTOS CARBONATOS ES DAR EL CO_2 PARA INICIAR LAS REACCIONES.

2).- LIQUIDOS



3).- GASES.

LO MAS USADO ES METANO

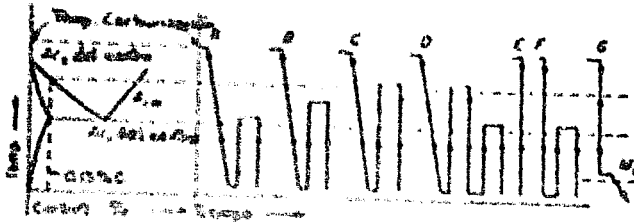


EL TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR A LA CARBURACION VARIADA Y DEPENDE BASICAMENTE DEL PROPOSITO A QUE SE DESTINA LA PIEZA.

EN LA FIGURA NO. 48 APARECEN LOS DIESE TIPOS MAS COMUNES DE TRATA

TIEMPOS TERMINADOS DESPUES DE LA CARBURACION, EL TIPO DE ACEROS EN QUE GENERALMENTE SE DE USAR Y SUS CONSECUENCIAS EN LA SUPERFICIE Y EN EL CENTRO DE LA PIEZA.

FIGURA No. 48



TREATAMIENTOS TERMINADOS DESPUES DE CARBURACION

TRATAMIENTO	SUPERFICIE	CENTRO
A PREFERIBLEMENTE PARA ACEROS DE GRANO FINO	REFINADA ; EL CARBURO EN EXCESO NO SE DISUELVE	NO REFINADO, BLANDO Y MAQUINABLE.
B PREFERIBLEMENTE PARA ACEROS GRANO FINO.	AUMENTO DEL GRANO. ALGUNA DISOLUCION DEL CARBURO EN EXCESO.	PARCIALMENTE REFINADO. MAS RESISTENTE QUE EN A.
C PREFERIBLEMENTE PARA ACEROS GRANO FINO.	AUMENTO DEL GRANO. SE FAVORECE LA SOLUCION DE CARBURO EN EXCESO. EN ACEROS DE ALTA ALEACION SE FAVORECE LA RETENCION AUSTENITICA.	REFINADO. MAXIMA DUREZA Y RESISTENCIA. LA MEJOR COMBINACION DE PROPIEDADES.
D EL MEJOR PARA ACEROS GRANO GRUESO.	REFINADO. SE FAVORECE LA DISOLUCION DEL CARBURO EN EXCESO Y SE MINIMIZA LA RETENCION AUSTENITICA.	REFINADO. BLANDO Y MAQUINABLE MAXIMA TENACIDAD Y RESISTENCIA AL IMPACTO.
E SOLO PARA ACEROS DE GRANO FINO.	NO REFINADO, EXCESO DE CARBURO DISUELTO, AUSTENITA RETENIDA, DISTORSION MINIMIZADA.	ENDURECIMIENTO TOTAL

TRATAMIENTO

SUPERFICIE

CENTRO

F

SOLO PARA ACEROS DE GRANO FINO.

REFINADO. SOLUCION DEL EXCESO DE CARBONO FAVORABLE. RETENCION AUSTENITICA MINIMIZADA.

DUREZA BAJA., TENACIDAD ALTA.

G

TEMPERADO MANTENIDIDO

NO REFINADO. EXCESO DE CARBONO DISUELTO, AUSTENITA RETENIDA. DISTORSION MINIMIZADA.

TAMBIEN PRESENTAMOS EN LA TABLA No. 9. EL PROCESO GENERAL PARA VARIOS

ACEROS CARBURADOS .

TABLA No. 9

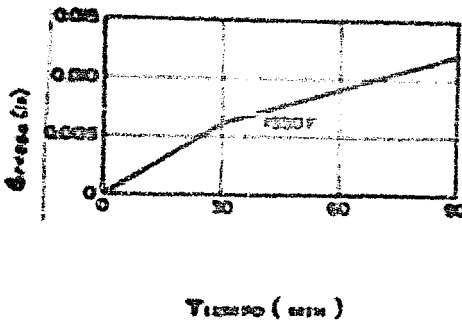
TRATAMIENTOS TERMICOS PARA ACEROS CARBURADOS

ACERO No. SAE	TEMPERATURA APROXIMADA DE TRANSFORMACION (°F)		TIPO DE TRATAMIENTO O PREFEREN- DO (FIG. No.)	MEDIO EMPRIAN- TE	RETENCION DE AUSTENITA
	SUPERFICIE Ac_1	CENTRO Ac_3			
1015	1355	1565	A. D. F.	H2O	MUY LIGERA
1019	1350	1550	A. D. F.	H2O	MUY LIGERA
1117	1345	1520	A. D. F.	H2O	LIGERA
1320	1325	1500	E. C.	ACEITE	LIGERA
3115	1355	1500	E. C.	"	MODERADA
3310	1330	1435	C. D. F.	"	FUERTE
4119	1395	1510	E. C.	"	MODERADA
4320	1350	1475	C. E.	"	FUERTE
4615	1335	1485	E. C.	"	MODERADA
4815	1300	1440	C. E.	"	FUERTE
8620					
8720	1350	1540	E. C.	"	MODERADA

CIANURACION.

Es un proceso muy parecido al carburizado líquido solo que aquí el baño es de cianuro de sodio fundido. En la Figura No. 49 se ve la penetración obtenida por el cianurado. Es importante el que la capa obtenida en este proceso es muy delgada.

FIGURA No. 49

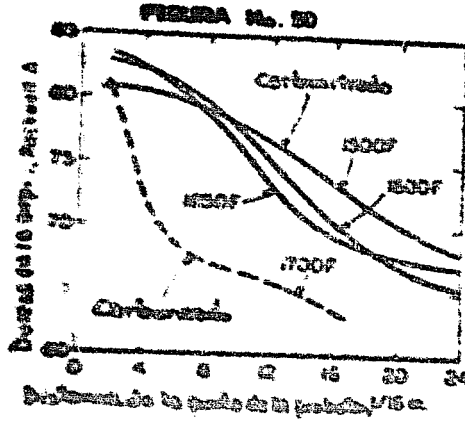


GRUESA DE LA CAPA DE CIANURO CONTRA TIEMPO AL CIBURAR

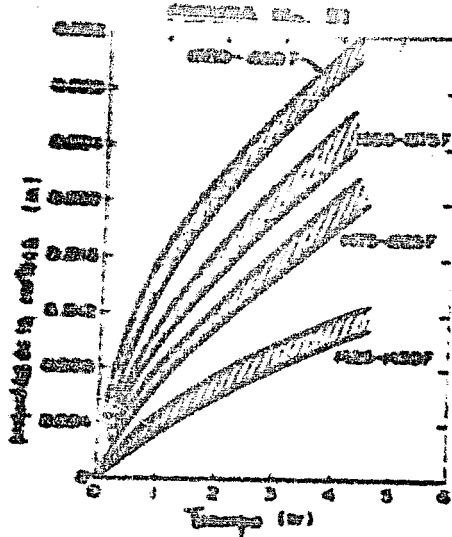
CARBONITRURACION.

Es una modificación del carburado con gas, por la adición de amoníaco amoníaco, lo que causa que la superficie absorba NITRÓGENO y CARBONO., esto provoca un aumento en la templabilidad del acero (debida al N_2), mayor solubilidad del carbono en la austenita y baja la temperatura crítica inferior.

La Figura No. 50 nos compara la templabilidad de aceros carburados y aceros carbonitrurados, la Figura No. 51 nos dice la penetración del carbonitrurado.



Comportamiento de las curvas de temperatura y concentración

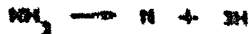


Creación de la corteza vs tiempo al carbonitrurar

NITROTRATAMIENTO

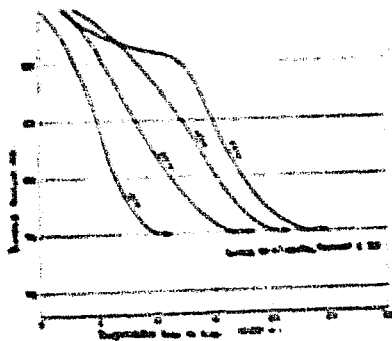
Es el proceso mediante el cual se aumenta la dureza de la superficie de una pieza al someterla en contacto con una atmósfera de nitrógeno, sin necesidad de desplazamiento. Esto se debe a la absorción de nitrógeno mediante por

LA REACCIÓN.



Los que producen componentes duros y resistentes al uso. Antes del revenido es necesario por un tratamiento térmico desarrollar las propiedades que se requieren en el cuerpo de la pieza, siendo en general necesaria una estructura de martensita templada y aliente de espesores residuales. Generalmente se usa para lograr este propósito una atmósfera de amoníaco anhidro. La Figura No. 22 muestra los cambios en dureza y penetración en varios ciclos de tiempo hechos en este proceso.

FIGURA No. 22



DUREZA VS GRUESO DE LA CORTEZA EN DIFERENTES CICLOS DE REVENIDO

Debido a que el agregar elementos como ALUMINIO, CROMO, VANADIO, TITANIO, TUNGSTENO, MOLIBDENO Y MANGANESO AUMENTA LA FACILIDAD DE NITRIFICAR, LOS ACEROS QUE SE USARAN CON ESTE PROPÓSITO DEBERÁN FAVORABLEMENTE TENER UNA COMPOSICIÓN ESPECIAL. LAS SERIES 8000 CUMPLEN CON ESTOS REQUISITOS, PERO NO OBTIENEN UNA DUREZA TAN GRANDE COMO AQUELLOS ACEROS QUE CONTIENEN ALUMINIO.

ES POR ESO QUE SE HA CREADO UNA SERIE ESPECIAL DE ACEROS CONOCIDOS COMO **NITRALLOYS**.. EN LA TABLA No. 10 SE DA LA COMPOSICION DE ALGUNOS DE ESTOS ACEROS.

TABLA No. 10
COMPOSICION DE ACEROS PARA NITRURAR

ACERO	C	Co	Mo	Al	Si	Mn
NITRALLOY 133 (Tipo G)	0.30-0.40	0.90-1.40	0.15-0.25	0.85-1.20	0.20-.40	0.40-0.70
NITRALLOY 133 (Modif.)	0.30-0.40	1.40-1.80	0.30-0.45	o	o	o
NITRALLOY M (3.2% Ni)	0.20-0.27	1.00-1.30	0.20-0.30	o	o	o
NITRALLOY EZ (0.15-0.25% S _o)	0.30-0.40	1.00-1.20	0.15-0.25	o	o	0.50-1.10

APARTE DE POSEER UNA ALTA DUREZA, LOS ACEROS NITRURADOS SON MAS RESISTENTES A LA CORROSION Y TIENEN UN LIMITE DE DURACION MAYOR, QUE LOS ACEROS ACORRUBADOS.

CAPÍTULO IV

ACEROS MAS COMUNES

CLASIFICACION DE LOS ACEROS

Se acostumbra clasificar los aceros desde los siguientes puntos

de vista :

- TIPO.- Método por el que se fabrica.
- CLASE.- De acuerdo con su forma y uso.
- GRADO.- De acuerdo con su composición química.
- CALIDAD.- Dependiendo del método que sigue al fabricarlo.

Actualmente limitaremos a discutirlo sobre la clasificación de los aceros por su grado.

Según este concepto los aceros se clasifican básicamente en :

Aceros :	Aceros al Carbono	Bajo carbono 0.10 - 0.30 % C
		Medio carbono 0.30 - 0.60 % C
		Alto carbono 0.60 - 1.20 % C
	Aceros Aleados	Baja aleación (menos de 10% de elementos de aleación)
		Alta aleación mas de 10 %

Con el objeto de uniformar estas clasificaciones, la AISI (American Iron and Steel Institute) y la SAE (Society of Automotive Engineers) han dado un modo de clasificar los aceros, en el cual mediante cuatro cifras quedan comprendidos todos los tipos de acero de baja aleación. De los cuatro cuatros usados, el primero indica el grupo a que pertenece el acero (Carbono, Acero al níquel, Acero al cromo, etc. . . .). El segundo el número que

FUNCION DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION EN EL ACERO.

Los aceros al carbono usan donde la resistencia y otras condiciones de trabajo no son muy severas, a temperaturas ordinarias y en atmosferas que no sean de naturaleza corrosiva., sin embargo debido a su baja templeabilidad su uso se limita a secciones soldadas en que si se pudiese desarrollar una resistencia aceptable.

Debido a todas las limitaciones anteriores, es necesario agregar ciertos elementos de aleacion, los que basicamente tienen la funcion de aumentar la templeabilidad de los aceros., aunque tambien se pueden usar para otros fines.

En igualdad de circunstancias siempre se debera preferir un acero al carbono a un aleado ya que estos ultimos son mas caros y requieren un tratamiento mas delicado.

La adiccion de otros elementos al acero, modifica el diagrama de equilibrio igualmente disminuyendo las temperaturas criticas y modificando la localizacion de los puntos caracteristicos de este diagrama. Al agregar algunos elementos aleados sin embargo pueden aparecer nuevas fases tales como -- porciones de la aleacion no solubles, o caseidos. Resumiendo los principales efectos de estas aleaciones son:

- 1.- Formar soluciones solidas o compuestos intermetalicos.
- 2.- Alterar las temperaturas criticas.
- 3.- Cambiar la solubilidad del carbono en el fierro alfa o en el fierro gamma.
- 4 - Variar la velocidad de la descomposicion de la austenita.

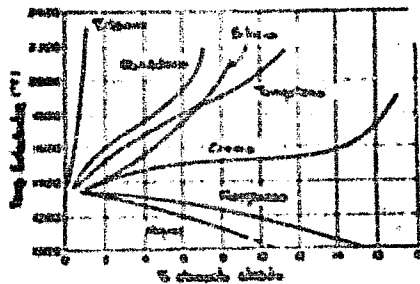
3.- DISMINUIR EL RECLARECIMIENTO CAUSADO POR EL REVENIDO.

COMPARANDO ORDENAMENTE LOS ELEMENTOS ALEADOS, CONVIENE OBTENER DIFERENTES COMBINACIONES DE LOS ESPECTOS ANTERIORES, LO QUE GENERALMENTE TIENE COMO PROPÓSITO EL AUMENTAR LA TEMPERATURA.

EFFECTO EN LAS TEMPERATURAS DE TRANSFORMACION.

EL ADESGAR Ciertos ELEMENTOS ALTERA LA TEMPERATURA EN QUE EL FIERRO PASA DE ESTADO A FIERRO ALFA, ASI COMO LA TEMPERATURA DE TRANSFORMACION EUTECTOIDICA (FIGURA No. 53).

FIGURA No. 53

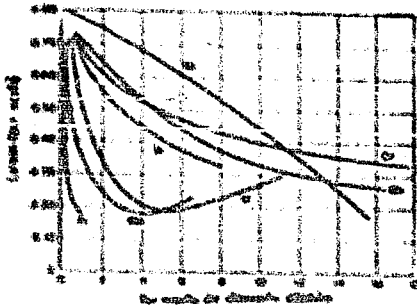


EFFECTO DE LOS ELEMENTOS ALEADOS EN LA TEMPERATURA EUTECTOIDICA

EL ESPECTO PUEDE SER AUMENTAR O DISMINUIR ESTA., SIN EMBARGO PUEDE PASAR QUE LA TEMPERATURA CRITICA AL ENFRIAR BAJE Y LA TEMPERATURA CRITICA AL CALENTAR AUMENTE.

UN EFFECTO QUE TIENE TAMBIEN GRAN SIGNIFICANCIA ES EL ALTERAR LA COMPOSICION DEL COMPUESTO EUTECTOIDICO COMO PODEMOS APPRECIARLO EN LA FIG.No.54.

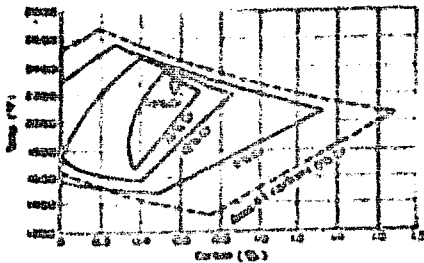
FIGURA No. 54



Efecto de los elementos aleados en la composición eutéctica.

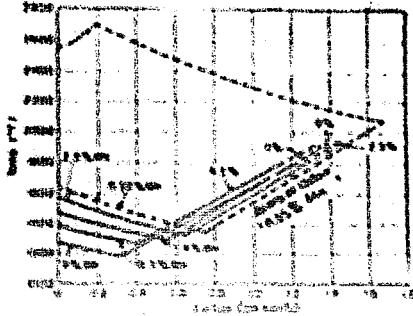
En las Figuras Nos. 53 y 54 podemos ver el efecto causado al agregar diferentes porcentajes de Carbono y Manganeso tanto en las temperaturas de transformación, como en la composición eutéctica. Con el Manganeso vemos que la austenita se transforma a ferrita a temperaturas menores al aumentar su porcentaje. Elementos como este aumentan la diferencia entre las temperaturas críticas al enfriar y al calentar y se conocen como "ELEMENTOS ESTABILIZADORES DE LA AUSTENITA".

FIGURA No. 53



Efecto del Carbono en la región Austenítica.

FIGURA No. 56

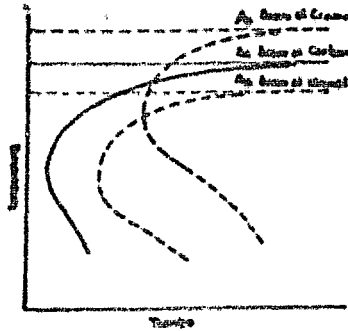


Efecto del Niquel en la Curva Austenitica

EFFECTO EN LA VELOCIDAD CRITICA DE ENFRIAMIENTO.

La Figura No. 57 nos ilustra el desplazamiento de la Curva S^2 al agregar elementos aleados. Esto puede tener como consecuencia benéfica la disminución de la velocidad crítica de enfriamiento.

FIGURA No. 57



Efecto Esquemático del Cromo y el Niquel en el Diagrama de Transformación Isoérmica.

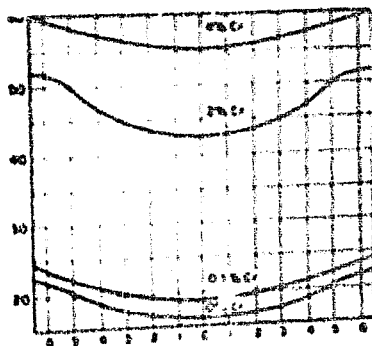
EFFECTO EN LA TEMPLABILIDAD.

LOS FACTORES QUE MAS AFECTAN LA TEMPLABILIDAD SON :

- 1).- COMPOSICION MEDIA DE LA AUSTENITA.
- 2).- HOMOGENEIDAD DE LA AUSTENITA.
- 3).- TAMAÑO DE GRANO AUSTENITICO
- 4).- INCLUSIONES NO METALICAS EN LA AUSTENITA.
- 5).- CARBONOS Y NITRÓGENO QUE SE DISUELVEN EN LA AUSTENITA.

LA FIGURA No. 58 MUESTRA QUE LA TEMPLABILIDAD AUMENTA CUANDO SE ACERCA CON FRECUENTES INTERVALOS DE GRANO DE CALIENTAN HASTA TOTAL DISOLUCION DE LOS CARBONES. DE LO QUE SE DEUCE QUE LOS ELEMENTOS QUE PORTAN CARBONES CON TENDENCIA A DISOLVERSE EN LA FERRITA, AUMENTAN LA TEMPLABILIDAD CUANDO SE DISUELVEN ANTES DE TEMPLAR. SI LOS CARBONES NO SE DISOLVIERAN LIMITARIAN EL AUMENTO DEL TAMAÑO DE GRANO, EFECTO QUE CAUSAN TAMBIEN LAS INCLUSIONES NO METALICAS Y QUE SE ACENTUAN YA QUE ESTAS INCLUSIONES INTENSIFICAN LA NUCLEACION.

FIGURA No. 58



EFFECTO DEL CARBONO EN LA DUREZA DE UNA BARRA DE S/80
1 S/80

FRAGILIDAD AL TEMPLAR.

LA TENACIDAD DE ALGUNOS ACEROS ES A VECES MENOR QUE LA DEL ACERO -
TEMPLADO, CUANDO ES REVENIDO A 1150°F Y ENFRIADO LENTAMENTE. A ESTE FENOMENO
SE LE LLAMA **FRAGILIDAD AL TEMPLAR** Y SE PRESENTA POR EJEMPLO EN ACEROS QUE
CONTENGAN **COBRO** Y **NIQUEL**. ASI EN ESTOS ACEROS ES DE GRAN IMPORTANCIA EL TRATAR
DE EVITAR ESTE RANGO DE TEMPERATURAS AL REVENIR. APARENTEMENTE LO ANTERIOR SE
DEBE A LA PRECIPITACION DE UNA FASE INTERMEDIA.

LA TABLA N.º 12, NOS MUESTRA LOS EFECTOS GENERALES DE VARIOS ELE-
MENTOS DE ALIACION. EFECTOS QUE SE ENCUENTRAN A CONTINUACION :

TABLA EN LA HOJA SIGUIENTE :

ACEROS AL MANGANESO.

LOS ACEROS DE LAS SERIES 10XX Y 11XX CONTIENEN ESTE ELEMENTO COMO IMPUREZA. EL USO DEL MANGANESO ENTRE 1.6 Y 1.9 % AUMENTA LA DUREZA Y RESISTENCIA A LA TENSIÓN EN EL ACERO Y AL DAR UN TRATAMIENTO TÉRMICO SE OBTIENE UNA DUCTILIDAD BUENA.

ACEROS DE LA SERIE 1300 (ACEROS INTERMEDIOS AL MANGANESO) DESARROLLAN BUENA DUCTILIDAD PERO UNA RESISTENCIA A LA TENSIÓN INFERIOR A LA QUE SE OBTENDRÍA EN UN ACERO AL CARBONO CON UN AUMENTO DE COSTO MUY PEQUEÑO.

EN PARTES PARA NORMALIZADAS, ACEROS ENTRE 1 Y 1.7 % DE MANGANESO Y 0.8 % DE CARBONO SON MUY USADOS.

EN ACEROS DE ALTO CONTENIDO DE MANGANESO (11 - 14 % Mn) Y 1.2 % C. LA VELOCIDAD CRÍTICA DE ENFRÍAMIENTO DISMINUYE NOTABLEMENTE DE TAL MODO QUE SE PUEDEN TEMPLAR EN AIRE.

ACEROS AL NIQUEL.

CON ESTE ELEMENTO SE AUMENTA NOTABLEMENTE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DISMINUYENDO LA DUCTILIDAD Y TENACIDAD. TAMBIÉN DISMINUYE LA TEMPERATURA DE AUSTENIZACIÓN Y LA VELOCIDAD CRÍTICA DE ENFRÍAMIENTO. PUEDE TAMPORAMÉN UNA BUENA COMBINACIÓN DE PROPIEDADES CON SOLO NORMALIZAR.

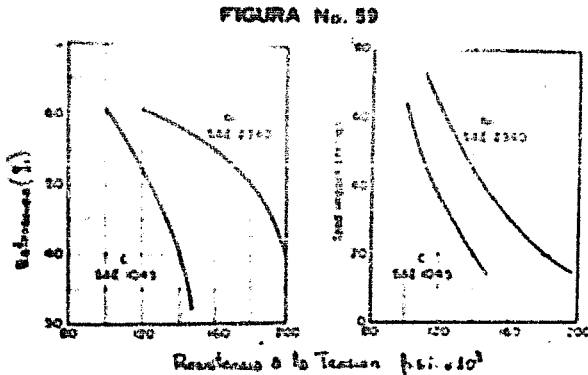
ESTOS ACEROS SON LOS DE LA SERIE 2XXX, PERO EN 1958 FUERON DEJADOS DE PRODUCIR.

LA SERIE 23XX ES MUY USADA YA QUE DESARROLLA LAS MISMAS PROPIEDADES QUE UN ACERO AL CARBONO PERO CON MENORES PORCENTAJES DE ESTE ELEMENTO Y CON

UN EMPRIAMIENTO MENOS RAPIDO.

EL ACERO 2315 (5 % Ni) SE HA EMPLEADO PREFERENTEMENTE PARA CARBURIZAR EN CONDICIONES SEVERAS. APARTE DE DAR GRAN RESISTENCIA AL USO, CON UN CUERPO MUY FUERTE.

LA FIGURA No. 59 COMPARA PROPIEDADES DE UN ACERO AL Ni CON UNO AL CARBONO.



COMPARACION EN LAS DIFERENTES PROPIEDADES FISICAS DE UN ACERO AL NIQUEL Y UNO AL CARBONO.

ACEROS AL CROMO.

EL CROMO AUMENTA LA DUREZA, LA RESISTENCIA A LA TENSION Y LA RESISTENCIA AL USO., PERO SON ACEROS FRAGILES AL REVENIDO, POR LO QUE AL DARLES ESTE TRATAMIENTO HAY QUE TENER CUIDADOS MUY ESPECIALES.

LOS ACEROS BAJO-CROMO DE LA SERIE 50XX SON DE BAJA COSTO, Y EN ELLOS SE INTENSIFICA LA ACCION DEL CARBONO EN EL ACERO. LOS DE LA SERIE 51XX QUE CONTIENEN ENTRE 0.15 y 0.65 % DE C y 0.7 y 1.15 % Cr POSEEN UNA TENACIDAD MUY BAJA, PROPIEDAD QUE PUEDE SER UTIL EN ALGUNOS CASOS.

ACEROS AL NIQUEL-CROMO.

LA COMBINACION DE ESTOS ELEMENTOS AUMENTA LA DUCTILIDAD Y TENACIDAD (DEBIDO AL NIQUEL) ASI COMO LA RESISTENCIA A LA TENSION, DUREZA SUPERFICIAL Y TEMPLABILIDAD (DEBIDO AL CROMO). A PESAR DE TODO EL DEFECTO DE FRAGILIDAD - AL REVENIR PREVALECE.

HAY UNA RELACION DE 2.5 DE NIQUEL POR 1 DE CROMO PARA FACILITAR AL MAXIMO EL TRATAMIENTO TERMICO.

GENERALMENTE ESTOS ACEROS SE USAN EN LOS MISMOS CASOS QUE LOS ACEROS AL NIQUEL. LOS DE LA SERIE 31XXI DAN EXCELENTES PROPIEDADES A BAJO COSTO -- (UN EJEMPLO DE SU USO ES EN FLECHAS).

LOS DE LA SERIE 33XXI SE USAN DONDE SE REQUIERE UNA PENETRACION DE LA DUREZA AL CARBURAR, MAYOR.

ACERO AL MOLIBDENO.

ESTE ELEMENTO SE USA EN ACEROS ALEADOS, ACOMPAÑADO DE OTROS ELEMENTOS EN PEQUEÑAS CANTIDADES, TENIENDO LA CUALIDAD DE ACENTUAR LOS EFECTOS DE ESTOS ULTIMOS. SE USA ENTRE 0.15 Y 0.60 %.

LOS RESULTADOS AL
ACERAR MOLIBDENO SON :

- 1.- MAYORES TEMPERATURAS DE REVENIDO PARA OBTENER PROPIEDADES SIMILARES A LAS DE ACEROS AL CARBONO
- 2.- MAYOR DUCTILIDAD Y TENACIDAD PARA UN LIMITE ELASTICO DADO
- 3.- MAS MACHINABILIDAD A MAYOR DUREZA.
- 4.- MAYOR TEMPLABILIDAD SOBRE TODO SI HAY CROMO.

5.- Se reduce LA FRAGILIDAD AL REVENIR.

6.- Mayor tiempo a LA TEMPERATURA DE AUSTENIZACION.

LAS SERIES 40XX, 44XX Y 45XX SON ACEROS DE BAJO COSTO Y CON PROPIEDADES SUPERIORES A LAS DE LOS ACEROS AL CARBONO.

LAS SERIES 41XX SON BARATAS Y TIENEN GRAN TEMPLABILIDAD, DUCTILIDAD Y SON MAS FACILES DE SOLDAR., SU USO ES MUY EXTENDIDO.

LAS SERIES 43XX Y 47XX TIENEN UNA TEMPLABILIDAD MUY BUENA Y SE USAN EN SECCIONES MUY GRANDES. POCOS APARTE GRAN RESISTENCIA A LA TENSION Y A LA DUCTIBILIDAD DEBIDO AL NIQUEL. APARTE DE BUENA TENACIDAD Y RESISTENCIA AL USO Y A LA FATIGA.

ACEROS AL VANADIO.

ESTE ELEMENTO ACTUA DE UN MODO SIMILAR AL MOLIBDENO, ACENTUANDO LAS PROPIEDADES QUE IMPARTEN OTROS ELEMENTOS. APARTE EL VANADIO DISMINUYE LA TENDENCIA AL CRECIMIENTO DE GRANO Y AUMENTA LA RESISTENCIA A LA FATIGA.

LOS ACEROS DE LA SERIE 61XX SE PREFIEREN DONDE ES NECESARIA UNA GRAN RESISTENCIA A LA TENSION Y UNA GRAN RESISTENCIA A LA FATIGA. ACEROS BAJO CARBONO DE ESTA SERIE SON BUENOS PARA CARGAR DEBIDO A QUE EL CRECIMIENTO DE GRANO ES PEQUEÑO.

ACEROS AL TUNGSTENO.

ESTOS ACEROS SE USAN MUCHO PARA HERRAMIENTAS Y CADOS.

EL TUNGSTENO SE DISUELVE EN EL FIERRO GAMMA Y PERMANECE EN SOLU-

CIÓN AL CAMBIAR A FIERRO ALFA. EN LA FORMA DISUELTA AUMENTA LA TEMPLABILIDAD.

Ciertas combinaciones de Tungsteno, Cromo y Vanadio minimizan la tendencia a agrietarse las piezas al templar.

ACEROS AL SILICIO

Aceros con 0.5 - 4.5 % de Silicio se usan como materiales suaves magnéticos para transformadores. Este elemento disminuye el tamaño de grano y la solubilidad del Carbono en el Hierro.

Ya que el Silicio aumenta la fragilidad el máximo porcentaje en que se usa es de 4.0

Los aceros de la serie 32XX tienen un gran radio de elasticidad por lo que se usan mucho para resortes.

ACEROS AL BORO.

El Boro sirve de sustituto del Manganeso, Niquel, Cromo o Molibdeno. Un pequerísimo porcentaje de Boro (0.001 % B) aumenta fuertemente la templabilidad.

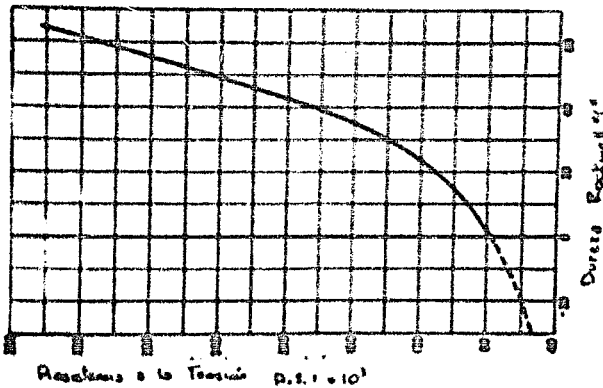
CAPITULO V

PROPIEDADES FISICAS EN LOS ACEROS Y SU RELACION A LA TEMPLABILIDAD

DUREZA Y RESISTENCIA A LA TRACCION

EL VALOR DE LA RESISTENCIA A LA TRACCION GENERALMENTE SE DETERMINA
SOMIENDO UNA CARGA EN CONDICIONES STANDARD Y EN UNA MAQUINA ESPECIALMENTE DISE-
ÑADA PARA ESTO. ESTA PROPIEDAD TAMBIEN PUEDE SER DETERMINADA ADECUADAMENTE -
POR MEDIO DE LA DUREZA. LA FIGURA No. 60 ASI COMO LA TABLA No. 2 QUE INCLUIMOS
EN EL APENDICE SON INDICIA LA RELACION QUE HAY ENTRE LA DUREZA Y LA RESISTENCIA A
LA TRACCION.

FIGURA No. 60



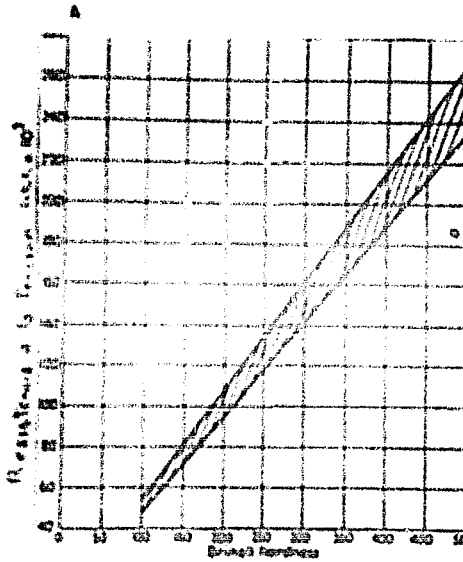
1 Kc-cm² =
14.05 p.s.i.

RESISTENCIA A LA TRACCION P.S.I. x 10³

RELACION APROXIMADA ENTRE LA DUREZA EN GRADO ROCKWELL [°]C[°] Y LA RESISTEN-
CIA A LA TRACCION EN P.S.I.

LA DUREZA DADA EN UNIDADES ROCKWELL "C" GUARDA UNA RELACION LOGARITMICA CON LA RESISTENCIA A LA TRACCION AL ESTAR DADA EN GRADOS BRINELL LA RELACION ES LINEAL (FIGURA No. 61).

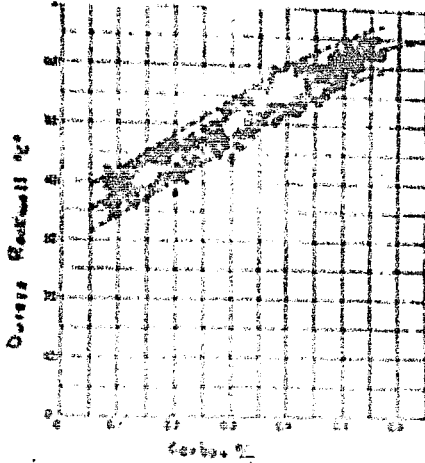
FIGURA No. 61



RELACION ENTRE LA DUREZA BRINELL Y LA RESISTENCIA A LA TRACCION P. S. I.

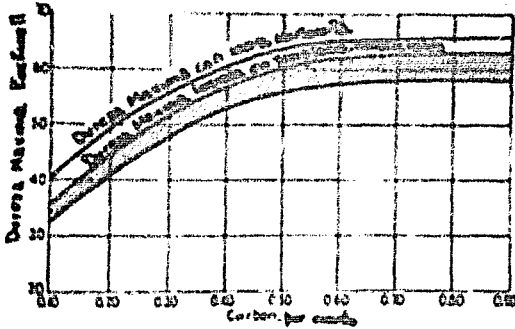
LA DUREZA MAXIMA ASI COMO LA MAXIMA RESISTENCIA A LA TRACCION QUE SE PUEDEN OBTENER EN UN ACERO DEPENDEN UNICAMENTE DEL CONTENIDO DE CARBONO. FIGURAS Nos 62 y 63. EL QUE ESTAS PROPIEDADES SE DESARROLLEN AL MAXIMO DEPENDE DEL PORCENTAJE DE MANTENITA OBTENIDO AL TEMPLAR. SIN EMBARGO ESTA DUREZA DISMINUYE AL DAR EL REVENIDO.

FIGURA No. 62



RELACION ENTRE LA DUREZA Y EL PORCENTAJE DE CARBONO

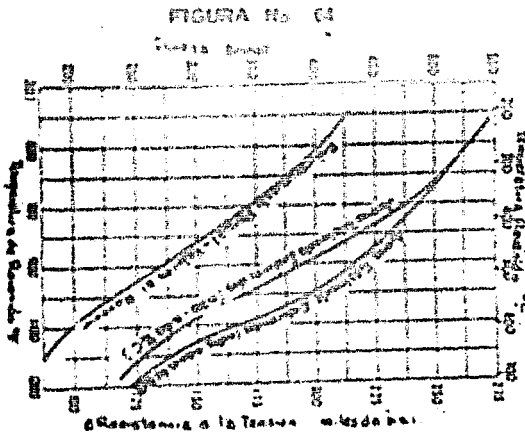
FIGURA No. 63



RELACION ENTRE LA DUREZA Y EL PORCENTAJE DE CARBONO DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE MARTENSITA.

TANTO LA DUREZA COMO LA RESISTENCIA A LA TRACCION PRESENTAN VALORES EN EL MISMO NIVEL TRATAMIENTOS DE ESTRUCTURAS PERLITICA FINA O MARTENSITICA REVE

... LO QUE DEMUESTRA QUE NO ES LO MAS IMPORTANTE OBTENER LA MAXIMA DUREZA -
 SINO MAS BIEN TENER VALORES APROPIADOS DE ESTA PROPIEDAD Y UNA DUCTILIDAD, RESIS-
 TENCIA AL IMPACTO Y TENACIDAD ACEPTABLES. SIN EMBARGO EN PARTES EN QUE LAS -
 CONDICIONES DE SERVICIO SE LIMITAN A PROPIEDADES OBTENIBLES POR UNA ESTRUCTURA
 PERLITICA, DEBE DE PREFERIRSE ESTA POR RAZONES DE COSTO. LA FIGURA NO. 64, NOS
 MUESTRA LA VARIACION DE LA DUREZA CON LA TEMPERATURA DE REVENIDO. LAS LINEAS -
 SUPERIORES CORRESPONDEN A UNA ESTRUCTURA 100% MARTENSITICA, MIENTRAS QUE LA -
 LINEA INFERIOR CORRESPONDE A UNA ESTRUCTURA NO ENDURECIDA TOTALMENTE.



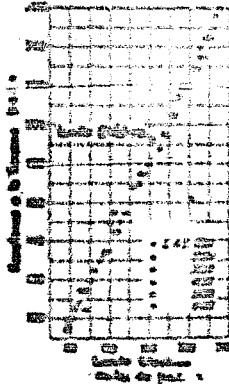
Efecto de la Temperatura de Revenido en la Dureza Brinell.

LIMITE APARENTE

AL EFECTUAR LA PRUEBA DE TRACCIONNO ES FACIL DETERMINAR EL LIMITE
 ELASTICO. EN ACEROS A LOS QUE NO SE HA DADO TRATAMIENTO TERMICO, ESTE PUNTO SE
 NOTA POR UN PEQUEÑO REGRESO DE LA AGUJA DE LA MAQUINA PRUBADORA. Y EN ACEROS A
 LOS QUE SE HA DADO UN TRATAMIENTO TERMICO ESTE PUNTO SE DETERMINA CUANDO --
 EL ALARGAMIENTO ES DE 0.2% EN 50 MM.

SIN EMBARGO PARA EVITAR TODOS ESTOS ERRORES SE HA VISTO QUE ASA -
CADA CONTENIDO DE CARBON HAY UNA RELACION LINEAR ENTRE LA RESISTENCIA A LA TRAC -
CION Y EL LIMITE ELASTICO DE LOS ACEROS COMO LO PODEMOS APRECIAR EN LA FIGURA -
No. 63 . Y A SU VEZ LA FIGURA No. 66 NOS RELACIONA LA DUREZA RESISTENCIA A LA TEN -
SION Y UN PORCENTAJE QUE CORRESPONDE AL PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA A LA TRACCION
A QUE ES IGUAL EL LIMITE ELASTICO. LA LINEA DIBUJADA DE LA DERECHA CORRESPON -
DE A ACEROS NO ENDURECIDOS TOTALMENTE.

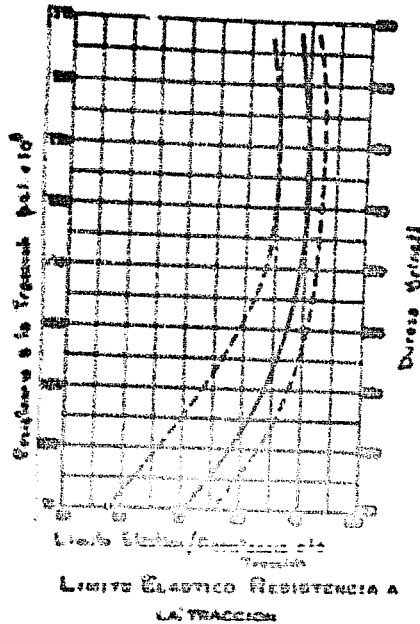
FIGURA No. 63



RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA TRACCION Y EL LIMITE ELASTICO.

FIGURA No. 64

FIGURA No. 68



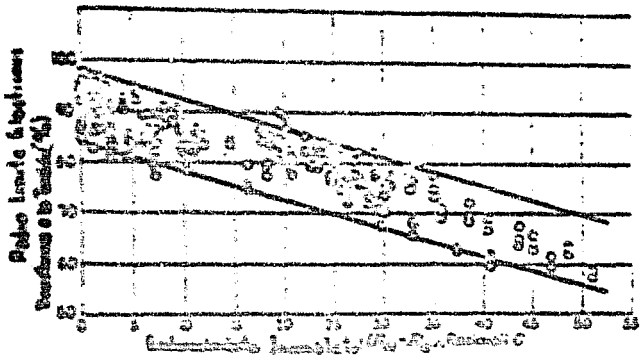
RATIO LIMITE ELASTICO RESISTENCIA A LA TENSION, PARA DIFERENTES VALORES DE LA RESISTENCIA A LA TRACCION.

PARA ACEROS EN QUE EL ENDURECIMIENTO NO ES TOTAL LA FIGURA NO. -

67 MUESTRA LA RELACION ENTRE EL COCIENTE LIMITE ELASTICO RESISTENCIA A LA TRACCION CONTRA LA DIFERENCIA (RM - RQ) DONDE RM = DUREZA MAXIMA QUE SE PUEDE DESARROLLAR Y DEPENDE DEL CONTENIDO DE CARBONO Y RQ = DUREZA OBTENIDA AL TEMPLAR.

UN LIMITE ELASTICO BAJO PUEDE NO SER DE MAYOR CONSECUENCIA, SI NO VA A HABER CARGAS ALTAS. EN CASOS EN QUE SE NECESITE UN LIMITE ELASTICO GRANDE LO PREFERIBLE SERA USAR UN ACERO AL VANADIO.

FIGURA No. 67



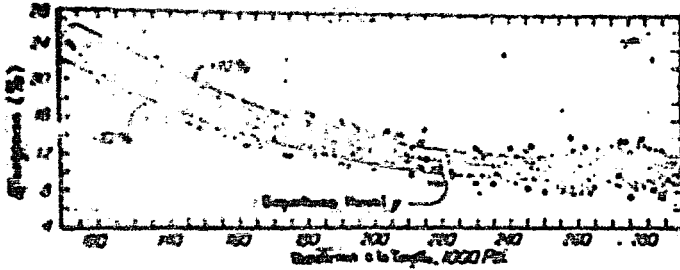
EFEECTO DE UN ENDURECIMIENTO INCOMPLETO EN LA RELACION LIMITE
ELASTICO RESISTENCIA A LA TRACCION

DUCTILIDAD.

LA DUCTILIDAD DE UN ACERO SE DETERMINA MEDIANTE EL ALARGAMIENTO Y LA ESTRIACION, Y ESTAS PROPIEDADES SON A SU VEZ DIRECTAMENTE PROPORCIONALES A LA RESISTENCIA A LA TENSION, SIEMPRE Y CUANDO LA ESTRUCTURA SEA EN SU MAYORIA MARTENSITICA Y NO HAYA CARGAS RESIDUALES.

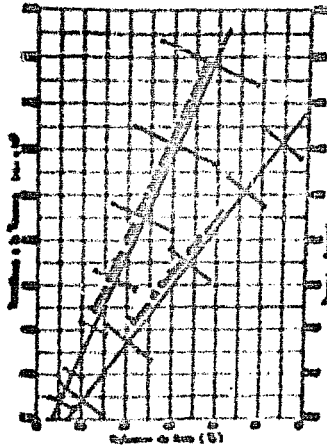
LA FIGURA NO. 68, NOS REPRESENTA LA RELACION ENTRE EL ALARGAMIENTO LA RESISTENCIA A LA TRACCION; A SU VEZ LA FIGURA NO. 69 NOS REPRESENTA LA RELACION ENTRE LA REDUCCION DE AREA Y LA RESISTENCIA A LA TRACCION.

FIGURA No. 68



RELACION ENTRE EL ALARGAMIENTO Y LA RESISTENCIA A LA TRACCION.

FIGURA No. 69



RELACION ENTRE LA ESTIRACION Y LA RESISTENCIA A LA TRACCION.

EN ACEROS QUE TENGAN 0.10 % C Y 0.20 % C LA DUCTILIDAD NO SE VE AFECTADA POR UN ENDURECIMIENTO INCOMPLETO.. PERO EN ACEROS CON 0.40 % C LA TEMPLABILIDAD YA TIENE UNA INFLUENCIA MARCADA SOBRE LA DUCTILIDAD. EL AUMENTO

DE LA TEMPERATURA DE REVENIDO HACE AUMENTAR LA DUCTILIDAD EN MAYOR GRADO QUE DISMINUIR LA RESISTENCIA A LA TRACCION.

ESTA PROPIEDAD SE VE MUY AFECTADA POR SEGRESACIONES E INCLUSIONES POR LO QUE DEBE TENERSE GRAN CUIDADO EN LAS PRACTICAS DE ACERACION.

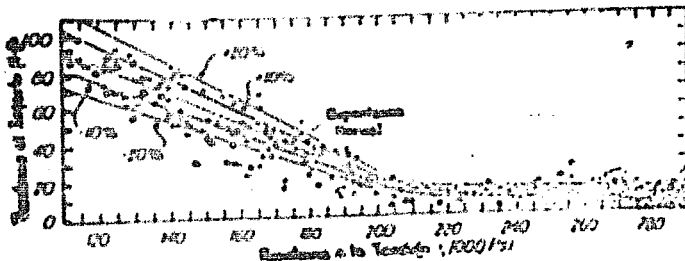
TENACIDAD A LA MUESCA Y RESISTENCIA AL IMPACTO.

LA RESISTENCIA DE UN ACERO AL SUJETARSE A LA PRUEBA DE LA MUESCA O SUJETARSE A LA PRUEBA DE IMPACTO VARIA INVERSIAMENTE CON LA RESISTENCIA A LA TENSION Y EL LIMITE ELASTICO. SIEMPRE Y CUANDO LA ESTRUCTURA SEA COMPLETAMENTE MARTENSITICA Y NO HAYA CARGAS RESIDUALES.

LOS ACEROS DE GRANO FINO POSEEN UNA RESISTENCIA AL IMPACTO MAYOR QUE LOS DE GRANO GROSSO. DISMINUYENDO NOTABLEMENTE ESTA PROPIEDAD CON INCLUSIONES. UNA RESISTENCIA A LA TRACCION MUY ALTA VA ACOMPAÑADA GENERALMENTE DE UNA RESISTENCIA AL IMPACTO MUY BAJA.

LA FIGURA No. 70, NOS MUESTRA LA RELACION DE LA RESISTENCIA A LA TRACCION Y LA RESISTENCIA AL IMPACTO DADO POR LA PRUEBA IZOD.

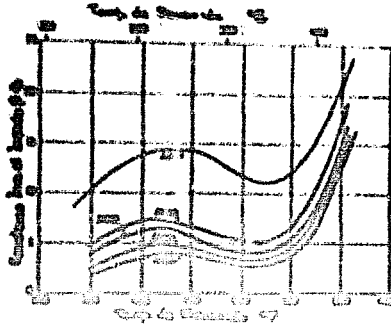
FIGURA No. 70



RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA TRACCION Y LA RESISTENCIA AL IMPACTO.

LA FIGURA No. 71 NOS MUESTRA LA VARIACION DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO VALOR IZOD CON DIFERENTES TEMPERATURAS DE REVENIDO. AQUI SE PODRA VER -
 QUE ESTE VALOR AUMENTA NOTABILMENTE CUANDO EL REVENIDO ES SUPERIOR A 800° F.

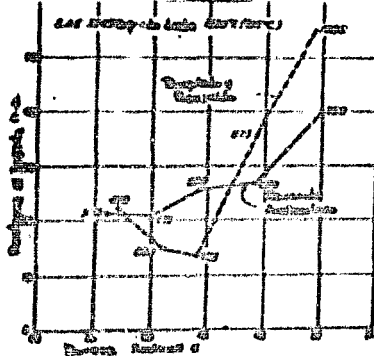
FIGURA No. 71



VARIACION DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO (IZOD) CON LA TEMPERATURA DE REVENIDO.

LA RESISTENCIA AL IMPACTO PUEDE LA ANOMALIA DE DISMINUIR SI LA TEMPERATURA DE REVENIDO ES ENTRE 550 Y 700° F. EN LA FIGURA No. 72 SE VE COMO PERO NEGRO Y SE COMPARA CON LO QUE OCURRE AL DAR UN REVENIDO AUSTENITICO EN QUE NO EXISTE ESA DISMINUCION. EL PROBLEMA RESUCITADO NO HA TENIDO OTRA SOLUCION SIN O REVENIR ABAJO DE 500° O ARRIBA DE 800° F.

FIGURA No. 72



COMPARACION ENTRE LA RESISTENCIA AL IMPACTO PARA DIFERENTES VALORES DE LA RESISTENCIA A LA TRACCION AL TEMPLAR Y REVENIR Y AL DAR UN TEMPLADO AUSTENITICO.

LOS VALORES IZOD DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO PARA ACEROS DE GRA
NO FINO, PUEDEN CALCULARSE A PARTIR DE LOS VALORES DE LA DUREZA AL TEMPLAR, Y
AL TEMPLAR Y REVENIR MEDIANTE LAS SIGUIENTES FORMULAS :

I = VALOR IZOD DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO FT-LB

$$(\text{ABAJE DE 45 ROCKWELL C} = 2.8 (51.7 - R_T) - \frac{(RM - RQ) 2.35}{100}$$

RQ = VALOR DE LA DUREZA AL TEMPLAR ROCKWELL °C°

I = (ARRIBA 45 ROCKWELL C) = (VALOR EN LA CURVA SUPERIOR DE
LA FIG. No. 73 - $\frac{(RM - RQ) 2.35}{100}$

R_T = DUREZA AL REVENIR.

RM = DUREZA MAXIMA PARA EL CONTENIDO DE CARBON (ROCKWELL
°C°)

EJEMPLO :

CALCULAR EL VALOR IZOD DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO EN UN ACERO -
8645 CON UNA DUREZA DE 33 ROCKWELL °C°.

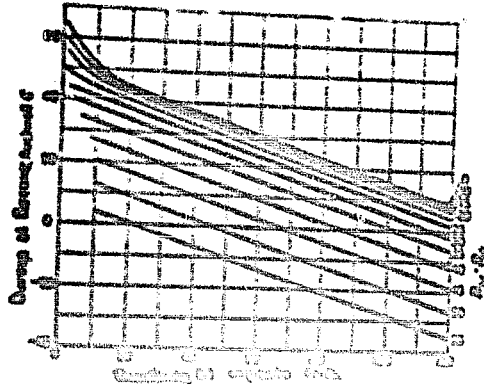
LA DUREZA MAXIMA PARA UN ACERO CON 0.45 % C = 59.7 ROCKWELL -
°C° . Y TAMBIEN UNA DUREZA AL TEMPLAR DE 57.6 ROCKWELL °C° AL CENTRO DE UNA
BARRA DE 1 PULGADA.

$$I = 2.8 (51.7 - 33.0) - \frac{(59.7 - 57.6) 2.35}{100}$$

$$I = 52.3 \text{ PY - LB.} = 17.30 \text{ M-Kg.}$$

FIGURA No. 71 (PAGINA SIGUIENTE).

FIGURA No. 73

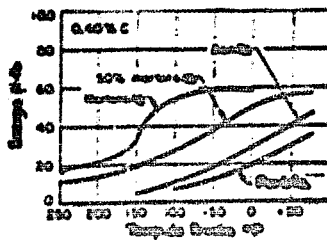


RELACION ENTRE EL GRADO DE ENDURECIMIENTO AL TEMPLAR LA RESISTENCIA AL IMPACTO Y LA DUREZA AL REVENIR.

SIN EMBAZOS PARA EVITAR ESTOS CALCULOS PODEMOS HACER USO DE LA -

FIGURA No. 74.

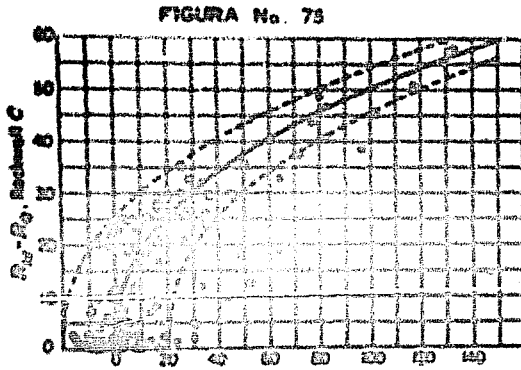
FIGURA No. 74



DISMINUCION DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO CON DIFERENTES GRADOS DE ENDURECIMIENTO AL TEMPLAR.

Es de GRAN IMPORTANCIA AL SELECCIONAR UN ACERO EL CONOCER LA TEM-

PERATURAS A LA QUE TRABAJA, YA QUE A TEMPERATURAS BAJA CERO DISMINUYE NOTABLEMENTE LA RESISTENCIA AL IMPACTO COMO LO DEMUESTRA LA FIGURA No. 75. EN ESTA FIGURA SE VE TAMBIEN LA VENTAJA DE UNA ESTRUCTURA 100% MARTENSITICA PARA ESTE TIPO DE FATIGA.

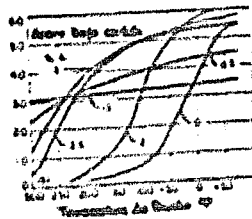


RESISTENCIA AL IMPACTO FT - LB

VALORES DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO A TEMPERATURAS BAJA CERO CON DIFERENTES PORCENTAJES DE MARTENSITA.

EL USO DE NIQUEL COMO ELEMENTO DE ALEACION MEJORA NOTABLEMENTE LA RESISTENCIA AL IMPACTO DE UNA PIEZA A BAJAS TEMPERATURAS (FIGURA No. 76).

FIGURA No. 76



VALORES DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO A TEMPERATURAS BAJA CERO AL AÑADIR DIFERENTES PORCENTAJES DE NI.

RESISTENCIA A LA FATIGA.

LA RESISTENCIA A LA FATIGA ES PROPORCIONAL A LA RESISTENCIA A LA TRACCION EN EL RANGEN DE 35 A 65 PORCIENTO. POR LO QUE ACEROS CON BAJA DUREZA TENDRAN UNA RESISTENCIA A LA FATIGA PREFERA.

EN GENERAL UNA ESTRUCTURA 100% MARTENSITICA ES LO QUE MEJOR RESPONDE A ESTA CLASE DE TRABAJO. SIN EMBARGO UNA ESTRUCTURA BAINITICA QUE SE OBTIENGA MEDIANTE UN TRATAMIENTO AUTOMATICO HA PROBADO SER LO MEJOR EN ESTE TIPO DE CARGAS.

PIECAS SUJETAS A UN ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL DESARROLLAN UNA RESISTENCIA A LA FATIGA MAS ADECUADA, PROPORCIONALMENTE CUANDO ESTE ENDURECIMIENTO SE OBTUVO POR MEDIO DE UN TRATADO.

MAQUINABILIDAD

AL SELECCIONAR UN ACERO ESTE CONC PUEDE TENER UNA GRAN IMPORTANCIA. LAS DOS ESTRUCTURAS MAS MAQUINABLES PERLITA LAMELAR GRUESA Y CARBONOS ESPERDIZADOS. LOS ACEROS AL CROMO Y A. CROMO-VANADIO PRESENTAN VENTAJAS ESPECIALES PARA OBTENER LAS ESTRUCTURAS ANTERIORES.

COSTO

AL SELECCIONAR UN ACERO POR SU TEMPLABILIDAD, PARA UN PROPOSITO DETERMINADO FRECUENTEMENTE ENCONTRAMOS QUE DOS O MAS ACEROS SATISFACEN LOS REQUISITOS DEBEADOS, Y EN ESOS CASOS EL FACTOR DECISIVO SERA EL COSTO.

CUANDO POSAMOS USAR ACEROS AL CARBONO LA SELECCION SEGUN EL CRITERIO COSTO SERA OPTIMA. AL AÑADIR ELEMENTOS ALEADOS EL COSTO IRA AUMENTANDO.

SIN EMBARGO LA ADICION DE ELEMENTOS ALEADOS AL ACERO NO ES EL UNICO FACTOR EN EL AUMENTO DEL COSTO., SINO QUE HAY QUE PONER ESPECIAL ATENCION EN QUE TAN COSTOSO ES EL TRATAMIENTO TERMICO NECESARIO, ASI COMO LA FACILIDAD DE CONSEGUIR EL TIPO DE ACERO.

QUE SEA QUE FINALMENTE TODO SE LIMITARA A HACER UN BALANCE ECONOMICO, DEL QUE SEGURAMENTE RESULTARA LA SELECCION MAS AFINADA.

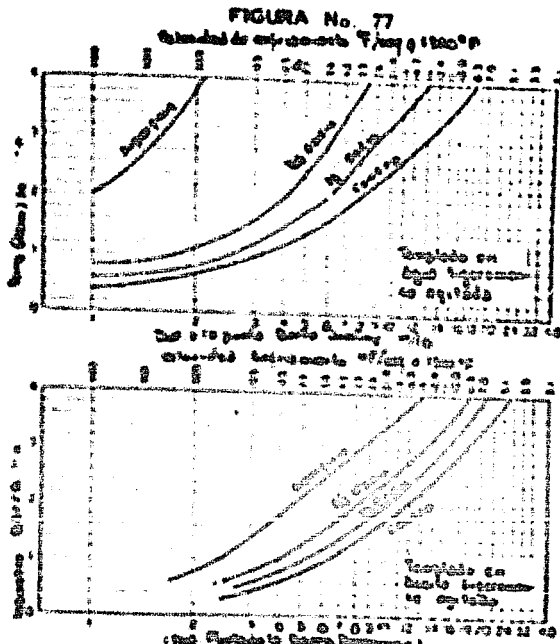
METODO PARA SELECCIONAR UN ACERO CON BASE EN SU

TEMPERABILIDAD

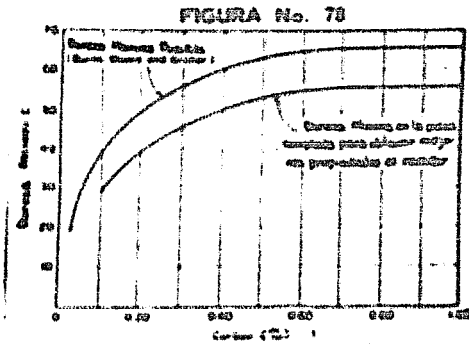
PARA MAYOR FACILIDAD AL DESCRIBIR ESTE METODO LO ILUSTRAREMOS VA
DALENTAMENTE CON UN EJEMPLO.

Se requiere una flecha de dos pulgadas de diametro con un limite
elastico de 120000 Libs l_n^2 . Debido al tipo de trabajo que efectua una flecha,
su tenacidad y resistencia al impacto necesitan ser altas, por lo que escogerse-
mos una estructura de carburo de tungsten como la mas apropiada para llenar -
los requisitos de trabajo.

MEDIANTE LA FIGURA No. 66, vemos que un limite elastico de 120000
P. S. I., corresponde a una dureza de 310 grados Brinell, o sea 29 grados Rock-
well C. Si suponemos que la pieza va a ser templada en aceite, y que la estruc-
tura debe ser de 50 % Martensita hasta el centro, mediante la FIGURA No. 77,
se ve que un diametro de 2 in. corresponde a una distancia a la punta de la pro-
beta Jominy de 12 16 in.. . PARA TENER UN MARGEN VAMOS A HACER LOS CALCULOS A
35 GRADOS ROCKWELL C°



ABORA MEDIANTE LA FIGURA No. 78 DETERMINAMOS LA DUREZA MINIMA AL
 TEMPLAS QUE TENDRAN ACEROS CON DIFERENTES CONTENIDOS DE CARBONO. SE VEN LAS DI-
 FERENTES BANDAS DE TEMPLABILIDAD Y POR EJEMPLO PARA ACEROS QUE TENGAN 40% C
 O SEA UNA DUREZA DE 50 ROCKWELL "C" SE VE CUAL TIENE COMO MINIMO ESTA DUREZA
 EN 12 16 IN. ENCONTRANDO EL ACERO 4340M.



LA TABLA No. 13 INDICA LA SELECCION CON DIFERENTES PORCENTAJES DE

CARBON :

TABLA No. 13

CONTENIDO CARBON	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
DUREZA REQUERIDA AL TEMPLAR	45	48	50	52	53
ESPECIFICACION DE TEMPLADILIDAD.	J ₄₅ = 12	J ₄₈ = 12	J ₅₀ = 12	J ₅₂ = 12	J ₅₃ = 12
ACERO DEL FECTHADO	- - -	4340H	4340H	- - -	4150H
DUREZA MEDIDA EN ESTE ACERO A LA DISTANCIA	- - -	49	51	- - -	53

VA CON LOS TRES ACEROS OBTENIDOS DE VERA CUAL SELECCION ES MAS ECONOMICA Y DE CALIDAD A DISE TEMPERATURA Y QUE TIEMPO SE DARA AL REVENCIO.

INDICA Y DE CALIDAD A DISE TEMPERATURA Y QUE TIEMPO SE DARA AL REVENCIO.

ILUSTRAMOS AHI EL EJEMPLO DEL ACERO 4150H. LA TEMPERATURA DE REVENCIO EN PES NEGAS DE CALCULA POR LA FORMULA :

INDICA Y DE CALIDAD A DISE TEMPERATURA Y QUE TIEMPO SE DARA AL REVENCIO.

$$N_T = (RQ - D - B) + BTA$$

CALCULANDO A PARA EL ANALISIS QUIMICO :

4340H

C	0.40	Si	0.27
Mn	0.70	Ni	1.82
P	0.020	Cr	0.80
S	0.020	Mo	0.25

CONSIDERAREMOS QUE LA TEMPERATURA ES DE 1100° F.

LA TABLA No. 14 SIMPLIFICA ESTE METODO. LAS COLUMNAS DEL LADO IZQUIERDO DAN LOS RESULTADOS DE DUREZA, RESISTENCIA A LA TENSION Y LIMITE ELASTICO. A SU VEZ LAS COLUMNAS DE LA DERECHA NOS ENSEÑAN DIFERENTES DIAMETROS O -- ANCHORES DE SECCIONES PLANAS. EN LAS CLASES P-1, -- P-7 ES CUANDO SE REQUIERE UNA DUREZILLA MUY BUENA Y ALTA RESISTENCIA AL IMPACTO. AQUI ES REQUISITO UNA ESTRUCTURA MINIMA DE 60% MARTENSITA Y TEMPERATURAS DE REVENIDO MAYORES DE 600° F. LAS CLASES Q-1, -- Q-7 NO REQUIEREN PROPIEDADES TAN SEVERAS.

USANDO SIEMPRE UN EJEMPLO DE LA FORMA, EN ESTA TABLA LA SELECCION SERA DIFERENTE YA QUE EN LAS CLASES P-1^{Q-7} SE CONSIDERA UNA ESTRUCTURA CON SOLAMENTE UN 60% DE MARTENSITA. PARA UN MINIMO DE 125000 P.S.I. DE LIMITE ELASTICO NO HAY DATO EN LA COLUMNA P-4 (1 1 2 A 2^o), SIN EMBARGO COMO EN LA P-3 LA SELECCION ES UN ACERO 4137 Y EN LA P-5 ES UN ACERO 4132. SUPONEMOS QUE EL ACERO SELECCIONADO ES UN 4140H.

CONCLUSIONES:

- 1).- De todo lo expuesto anteriormente resulta la importancia que posee la templabilidad en los aceros, ya que aparte de ser básica esta propiedad en la selección de un acero, nos permite determinar los tratamientos térmicos que se le deben dar así como la eficacia de estos.
- 2).- Haberlos considerado el tratamiento térmico que deberá llevar una pieza, el más conveniente es probar la eficacia de éste en el laboratorio, y en caso que los resultados no sean correctos variar ligeramente las condiciones de este tratamiento hasta obtener los resultados deseados.
- 3).- En esta tesis se realizó el tratamiento de piezas vertidas en Estados Unidos de América, ya que son las más empleadas en México. En la industria industrial las normas más usadas son las de la ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS), aquí los aceros no están sujetos a una clasificación sino que únicamente son conocidos por una clave.
- 4).- En esta tesis se habló únicamente de aceros al carbono y aceros baja aleación, sin embargo cuando las condiciones de trabajo sean más severas, se deberán considerar los aceros con alto porcentaje de aleación.
- 5).- El método usado para seleccionar un acero dado en esta tesis, es más directo pero su uso se recomienda únicamente a personas con cierta práctica en este tipo de problemas.
- 6).- Siempre será importante seleccionar el acero para una pieza al conocer que tipos de acero ha sido costumbre usar en piezas similares, el hacer esto nos permitirá conocer las ventajas o desventajas de la selección - llevada a cabo. Para ello recomendamos la referencia No. 25 en la bibliografía.

A P E N D I C E

TABLA No. 1

C		F		C		F		C		F		C		F		C		F	
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

TABLA DE CONVERSION °F - °C. LA TEMPERATURA DE ENMEDIO ES LA QUE SE QUIERE -
 CONVERTIR (°F °C). SE LEE A LA DERECHA PARA CENTIGRADOS Y A LA IZQUIERDA PARA
 FAHRENHEIT

TABLA No. 2

Código	Descripción	Unidad		Código	Descripción	Unidad	Código	Descripción	Unidad
		Valor	Unidad						
100		100		100		100		100	
101		101		101		101		101	
102		102		102		102		102	
103		103		103		103		103	
104		104		104		104		104	
105		105		105		105		105	
106		106		106		106		106	
107		107		107		107		107	
108		108		108		108		108	
109		109		109		109		109	
110		110		110		110		110	
111		111		111		111		111	
112		112		112		112		112	
113		113		113		113		113	
114		114		114		114		114	
115		115		115		115		115	
116		116		116		116		116	
117		117		117		117		117	
118		118		118		118		118	
119		119		119		119		119	
120		120		120		120		120	
121		121		121		121		121	
122		122		122		122		122	
123		123		123		123		123	
124		124		124		124		124	
125		125		125		125		125	
126		126		126		126		126	
127		127		127		127		127	
128		128		128		128		128	
129		129		129		129		129	
130		130		130		130		130	
131		131		131		131		131	
132		132		132		132		132	
133		133		133		133		133	
134		134		134		134		134	
135		135		135		135		135	
136		136		136		136		136	
137		137		137		137		137	
138		138		138		138		138	
139		139		139		139		139	
140		140		140		140		140	
141		141		141		141		141	
142		142		142		142		142	
143		143		143		143		143	
144		144		144		144		144	
145		145		145		145		145	
146		146		146		146		146	
147		147		147		147		147	
148		148		148		148		148	
149		149		149		149		149	
150		150		150		150		150	

RELACION ENTRE VALORES DE DUREZA EN DIFERENTES UNIDADES

TABLA No. 7

Número AEE	No. de Elemento				Número AISI.
	C	Mn	P Max.	S Max.	
1006	0.08-0.14	0.25-0.50	0.015	0.005	C1006
1009	0.09-0.14	0.25-0.50	0.015	0.005	C1009
1010	0.09-0.14	0.25-0.50	0.015	0.005	C1010
1011	0.11-0.14	0.25-0.50	0.015	0.005	C1011
1012	0.13-0.14	0.25-0.50	0.015	0.005	C1012
1013	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1013
1014	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1014
1015	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1015
1016	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1016
1017	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1017
1018	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1018
1019	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1019
1020	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1020
1021	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1021
1022	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1022
1023	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1023
1024	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1024
1025	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1025
1026	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1026
1027	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1027
1028	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1028
1029	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1029
1030	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1030
1031	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1031
1032	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1032
1033	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1033
1034	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1034
1035	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1035
1036	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1036
1037	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1037
1038	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1038
1039	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1039
1040	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1040
1041	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1041
1042	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1042
1043	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1043
1044	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1044
1045	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1045
1046	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1046
1047	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1047
1048	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1048
1049	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1049
1050	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1050
1051	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1051
1052	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1052
1053	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1053
1054	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1054
1055	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1055
1056	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1056
1057	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1057
1058	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1058
1059	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1059
1060	0.15-0.20	0.25-0.50	0.015	0.005	C1060

COMPOSICION QUIMICA DE ACEROS AL CARBONO

TABLE No. 4

ALTA	C	DE	VI	Q	IS
1000	1000	1000	1000	1000	1000
900	900	900	900	900	900
800	800	800	800	800	800
700	700	700	700	700	700
600	600	600	600	600	600
500	500	500	500	500	500
400	400	400	400	400	400
300	300	300	300	300	300
200	200	200	200	200	200
100	100	100	100	100	100
0	0	0	0	0	0

Competition Quinica vs Accaron Alacans Standard

BIBLIOGRAFIA

- 1.- DONALD S. CLARK WILBUR R. VARNEY.
PHYSICAL METALLURGY FOR ENGINEERS. SECOND EDITION. D. VAN - -
NOSTRAND COMPANY. 1962.
- 2.- GILBERT E. DOAN.
THE PRINCIPLES OF PHYSICAL METALLURGY. MC GRAW HILL BOOK CO. -
THIRD EDITION. 1953.
- 3.- ROBERT F. MEHL.
THE STRUCTURE AND RATE OF FORMATION OF PEARLITE.
TRANSACTIONS OF THE AMERICAN SOCIETY FOR METALS. VOL. 29. 1941
PAG. 813.
- 4.- R. A. GRANGE J. M. KIEFER.
TRANSFORMATION OF AUSTENITE ON CONTINUOUS COOLING AND ITS RELA-
TION TO TRANSFORMATION AT CONSTANT TEMPERATURES.
TRANSACTIONS OF THE AMERICAN SOCIETY FOR METALS. VOL. 29. 1941.
PAG. 89.
- 5.- METAL PROGRESS DATA SHEETS. 1954.
- 6.- BRUCE CHALMERS. PHYSICAL METALLURGY. JOHN WILEY SONS. 1959.
- 7.- R. M. NEHERMANN, V. J. LUNAN, A. R. TROIANO.
THE INFLUENCE OF BAINITE ON MECHANICAL PROPERTIES. TRANSACTIONS
OF THE AMERICAN SOCIETY FOR METALS. VOL. 49, 1957 PAG. 409.
- 8.- WALTER CRAFTS JOHN L. LAMONT.
HARDENABILITY AND STEEL SELECTION.
FITZMAN PUBLISHING CORPORATION. 1969.
- 9.- REPUBLIC ALLOY STEELS. REPUBLIC ALLOY STEEL CORPORATION.
1961
- 10.- 1965 BOOK OF ASTM STANDARDS. PART 3. AMERICAN SOCIETY FOR
TESTING MATERIALS.
- 11.- F. ERDMANN - JESNITZER AND W. BERNHARDT.
MOST SHORTNESS AND GRAIN BOUNDARY FORMATION IN STEEL. ARCHIV -
FÜR DAS EISENHÜTTENWESEN. 29 (6) JUNI 1938 PAG. 353-357.
- 12.- ALBERT SAUVEUR.
THE METALLOGRAPHY AND HEAT TREATMENT OF IRON AND STEEL. MC. -
GRAW HILL BOOK CO. FOURTH EDITION. 1935.

- 13.- **GEORGE L. KIML.**
METALLOGRAPHIC LABORATORY PRACTICE. THIRD EDITION MC. GRAW HILL
BOOK CO. 1942.
- 14.- **L. D. JAFFE EDWARD GORDON.**
TEMPERABILITY OF STEELS, TRANSACTIONS OF THE AMERICAN SOCIETY -
FOR METALS. VOL. 49. 1957. PAG. 339.
- 15.- **ISOTHERMAL TRANSFORMATION DIAGRAMS.**
THIRD EDITION. UNITED STATES. STEEL CO. 1963.
- 16.- **METALS HANDBOOK.**
EIGHTH EDITION, AMERICAN SOCIETY FOR METALS. 1964.
FIRST AND SECOND VOLUMES.
- 17.- **R. T. ROLFE.**
STEELS FOR THE USER. THIRD EDITION. PHILOSOPHICAL LIBRARY 1956.
- 18.- **GEORGES M. ENES WILLIAM E. FONTAINE.**
ELEMENTS OF HEAT TREATMENT.
FIRST EDITION. JOHN WILEY & SONS. 1953.
- 19.- **F. JOHNSON**
HEAT TREAT OF CARBON STEELS. FIRST EDITION. CHEMICAL PUBLISHING
CO. 1946.
- 20.- **MODERN STEELS AND THEIR PROPERTIES.**
SIXTH EDITION. BETHLEHEM STEEL COMPANY. 1961.
- 21.- **THOMAS G. DICKES SAMUEL J. ROSENBERG.**
HEAT TREATMENT AND PROPERTIES OF IRON AND STEEL.
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. MONOGRAPH 16. 1960.
- 22.- **JANET Z. BRIGGS CHARLES M. PARKER.**
DESIGN GUIDE ALLOY STEELS.
MACHINE DESIGN. JUNE 6, 1963.
- 23.- **D. L. AVERBACH.**
TOOL STEELS. CLIMAX MOLYBDENUM CO.
- 24.- **E. C. ROLLASON.**
FUNDAMENTAL ASPECTS OF MOLYBDENUM ON TRANSFORMATION OF STEEL.
CLIMAX MOLYBDENUM CO.
- 25.- **ALLOY STEELS PAY OFF. CLIMAX MOLYBDENUM CO. DECEMBER 1953.**
- 26.- **THREE KEYS TO SATISFACTION.**
CLIMAX MOLYBDENUM CO.

27.- D. K. BULLENS.

STEEL AND ITS HEAT TREATMENT. FOURTH EDITION. 2 VOLUMES.
JOHN WILEY & SONS INC. 1939.

28.- EDGAR C. BAIN HAROLD W. PAXTON.

ALLOYING ELEMENTS IN STEEL. SECOND EDITION. AMERICAN SOCIETY FOR
METALS 1961.

29.- M. A. GROSSMANN E. C. BAIN.

PRINCIPLES OF HEAT TREATMENT FIFTH EDITION. AMERICAN SOCIETY FOR
METALS. 1964