



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**“EFECTO DEL TIEMPO Y LA TEMPERATURA EN LA
ESTRUCTURA DE UN ACERO DE ALTO MANGANESO 13 % Mn”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A:
JUAN FRANCISCO TEJADA BUENO**

ASESOR: Dr. HECTOR ENRIQUE CURIEL REYNA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS:

A la H. **“UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO”**

Por permitirme realizar mi formación profesional en ella y por el reconocimiento que se nos da a los profesionistas gracias a ella.

Al Dr. Héctor Enrique Curiel Reyna

Por su paciencia y apoyo que me brindo como asesor para la realización de esta tesis y por la persona tan respetable que en él se encuentra, mi mas profundo agradecimiento.
Gracias.

Al C. Dr. Tomas Rangel Ortiz

Por todo su tiempo y conocimiento que dedico para la realización de esta tesis.

DEDICATORIAS:

Con este trabajo cumplo uno de tantos sueños que tengo el cual no hubiera podido realizar sin el apoyo y aliento de mi familia y en especial mis padres:

Lydio Tejada Mora

Maria de la Luz Bueno Teran

A quienes sin escatimar esfuerzos han dedicado gran parte de su vida en mi educación, por todos esos consejos que me dan para formarme como una persona de provecho y quienes día a día me motivan para seguir adelante.

Les agradezco inmensamente toda la confianza que en mi depositaron.

Esta tesis la dedico a ustedes como agradecimiento.

A mis hermanas y primo:

Dra. Andrea P. Tejada Bueno

Lydia Luz Tejada Bueno

Felipe Padron Tejada

A quienes les agradezco sus consejos apoyo y compañía que me ayudaron a culminar este gran paso en mi vida.

A mi novia:

Diana Infante Ramírez

Por la paciencia y comprensión que me ha tenido en todo momento así como su compañía que me motiva a superarme día a día y por la confianza y apoyo que su familia puso en mi.

INDICE

CAPITULO I	Introducción.....	1
CAPITULO II	Generalidades.....	2
	2.1 Composición química y efectos en las propiedades del acero Hadfield.....	4
	2.2 Tratamiento térmico del acero de alto manganeso.....	11
	2.3 Calentamiento en los aceros al manganeso.....	13
	2.4 Estructuras metalúrgicas.....	19
	2.5 Propiedades de los aceros al alto manganeso.....	21
CAPITULO III EXPERIMENTACION		
	3.1 Método experimental.....	25
	3.2 Preparación de las muestras.....	28
	3.3 Diseño de experimentos.....	29
	3.4 Resultados obtenidos.....	31
	3.5 Efecto de la temperatura sobre la estructura del acero hadfield.....	32
	3.6 Discusión del resultado.....	42
	3.7 Conclusiones.....	43
	BIBLIOGRAFIA.....	44

CAPITULO I

INTRODUCCION

Los aceros con alto Manganeso y alto Carbono llamados también Hadfield, en honor de su descubridor, son usados en aquellos servicios donde se requiere que el material tenga resistencia al alto impacto con abrasión o alto impacto con fricción metal-metal, como ejemplos industriales de estos usos tenemos: Industria minera en sus molinos, quebradoras, martillos de molienda, industria de ferrocarriles en los cambios de vías, industria de movimientos de tierras en los dientes de cargadores frontales, etc.

Estos usos se deben a las propiedades metalúrgicas del acero, por su alto contenido de Carbono y Manganeso que estabilizan a la austenita por medio de un enfriamiento rápido. Esta condición de estabilización es de forma meta-estable, ya que con una cantidad de energía, sea mecánica o térmica, se precipitan carburos en zonas preferenciales, obteniéndose de esta forma una modificación muy marcada en las propiedades mecánicas del acero Hadfield.

Cuando el material tiene una deformación muy alta, el porcentaje de carburos de Manganeso aumenta hasta el límite de la fragilización del acero, que producirá la fractura del material. Esta ruptura no sólo está presente por el trabajo mecánico continuo del servicio normal, sino también por un fenómeno térmico. La desestabilización de la austenita provocada por la temperatura, produce la formación de carburos en lugares específicos de la estructura del acero que formará grietas en el material.

CAPITULO II

GENERALIDADES.

Los aceros austeníticos al Manganeso, también llamados aceros Hadfield, son aleaciones extremadamente tenaces y no magnéticas; en las cuales su mecanismo de endurecimiento por transformación ha sido suprimido por el alto contenido de Manganeso y un rápido enfriamiento desde alta temperatura. Se caracterizan por su alta resistencia, ductilidad y su excelente resistencia al desgaste.

En forma de fundición o conformado mecánico, son requeridos en varias industrias por su resistencia a la abrasión y alto impacto o a la fricción metal-metal.

El rango de composición a la cual los aceros al manganeso retienen una estructura austenítica a baja temperatura es amplia, sin embargo, los contenidos de Carbono y Manganeso no son los adecuados para grandes secciones de piezas para conservar la estructura de austenita, el efecto de masa en la pieza es rápidamente producido después del enfriamiento, por los microconstituyentes que se presentan, que son productos de la transformación de la austenita.

Existen varios tipos de acero Hadfield, que se basan en los porcentajes de carbono y manganeso, pero con la adición de elementos de aleación como: Cromo, Níquel, Molibdeno, Vanadio, Titanio y Bismuto. Son aceros modificados para productos que requieren la fabricación de piezas con tamaños de sección grande, aumento de solubilidad de las estructuras de la austenita, etc.

Estos aceros Hadfield o alto Manganeso se norman en A.S.T.M. A-128 (tabla I).

TABLA I.- RANGOS DE COMPOSICION DE LOS ACEROS FUNDIDOS AUSTENITICOS DE ALTO MANGANESO.

ASTM A128	COMPOSICION						
grado	C	Mn	Cr	Mo	Ni	Si(máx)	P(máx)
A.....	1.05-1.35	11.0 min	...	...	...	1.00	0.07
B-1.....	0.9-1.05	11.5-14.0	...	...	...	1.00	0.07
B-2.....	1.05-1.2	11.5-14.0	...	...	...	1.00	0.07
B-3.....	1.12-1.28	11.5-14.0	...	...	...	1.00	0.07
B-4.....	1.2-1.35	11.5-14.0	...	...	...	1.00	0.07
C.....	1.05-1.35	11.5-14.0	1.5-2.5	...	...	1.00	0.07
D.....	0.7-1.3	11.5-14.0	...	...	3.0-4.0	1.00	0.07
E-1.....	0.7-1.3	11.5-14.0	...	0.9-1.2	...	1.00	0.07
E-2.....	1.05-1.45	11.5-14.0	...	1.8-2.1	...	1.00	0.07
F.....	1.05-1.35	6.0-8.0	...	0.9-1.2	...	1.00	0.07

2.1 COMPOSICION QUIMICA Y SUS EFECTOS EN LAS PROPIEDADES DEL ACERO HADFIELD.

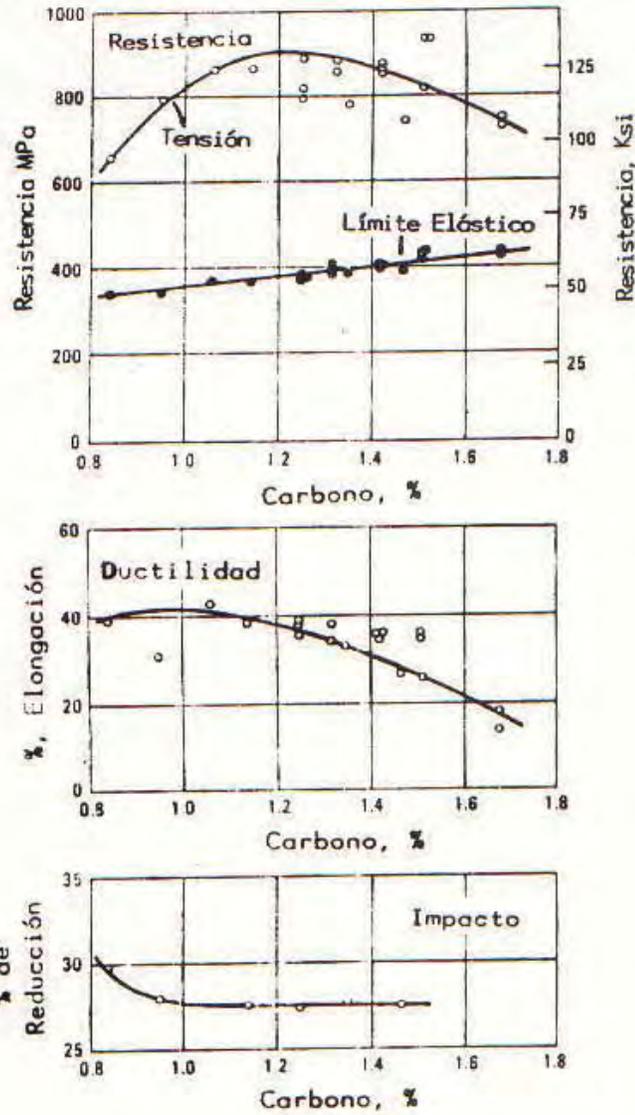
Aceros fundidos.- La mayoría de las fundiciones, su composición nominal contiene 1.2% de Carbono y de 12% a 13% de Manganeso como elementos fundamentales. La producción industrial usa entre 1.00% al 1.40% de Carbono y de 10% a 14% de Manganeso según la norma A.S.T.M. teniendo generalmente el punto medio de esta composición química; en los límites inferiores decrece la resistencia a la tensión.

El Carbono tiene efecto en el límite elástico, porque al disminuir también decrece el límite elástico, este efecto se enmascara por el tamaño de cristal, sin embargo, el porcentaje óptimo es de 1.15%.

Los niveles elevados de Carbono (figura. 1) causan problemas en el tratamiento térmico del acero. Los contenidos bajos de Carbono ayudan a eliminar el efecto de fragilización por precipitación de carburos, por abajo del límite de enfriamiento.

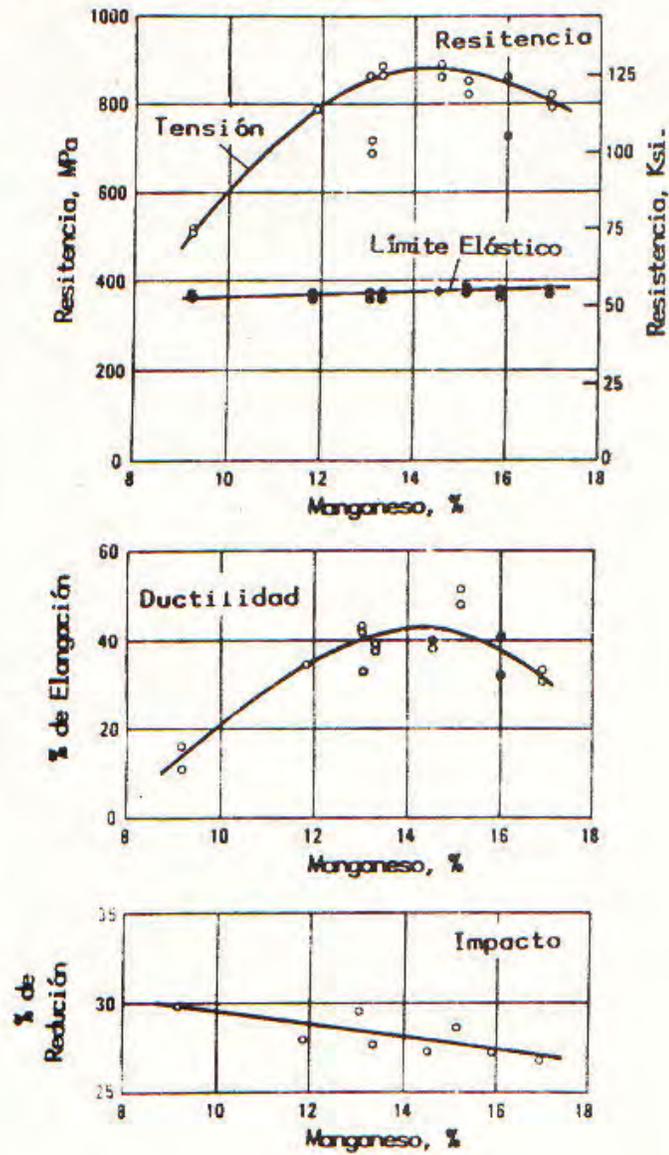
El Manganeso con límites de 10% a 14%, no tiene un efecto significativo en el límite elástico, pero sí beneficia la resistencia a la tensión y la ductilidad (figura.2), con menos del 10% de Manganeso, la resistencia mecánica decrece rápidamente y la falla puede ser en la mitad de tiempo normal de uso; por abajo del 8% de Manganeso, el acero tiende a endurecerse al aire por la formación de estructuras de transformación metalúrgica.

Fig. 1.- Cambio de las propiedades Mecánicas con el contenido de Carbono en un acero Austenítico con 13 % de Manganeso.



Los datos son de un acero fundido, que fue templado desde 1100°C en agua.

Fig. 2.- Cambio de las propiedades Mecánicas con el contenido de Manganeso, en un acero - Austenítico con 1.15 % de Carbono.



Los datos son de un acero fundido que fue templado desde 1100 °C en agua.

La composición química no permite cualquier transformación a la austenita, cuando las aleaciones son templadas en agua desde por arriba de A_{cm} (límite de la cementita). Esto significa que pierde ductilidad en secciones gruesas el material, el efecto se debe a la precipitación de carburos intercrystalinos en los bordes de cristal (figura. 3).

El efecto del porcentaje de Carbono y Manganeso sobre la temperatura M_s (temperatura de inicio de la transformación martensítica) de una austenita totalmente homogénea se observa en la figura 4.

El comportamiento de un acero Hadfield depende básicamente del contenido presente de Carbono y Manganeso.

El silicio se agrega en la fabricación de fundiciones con un porcentaje menor de uno; los porcentajes hasta 1% son para elevar el límite elástico y reducir la ductilidad del acero.

El Silicio y Fósforo son dos elementos nocivos por arriba 2.2% y 0.07% respectivamente; el primero decrece la resistencia a la tensión y el segundo da fragilidad en Caliente.

El Fósforo reduce la soldabilidad del acero cuando está presente, el máximo es de 0.05% para evitar su ruptura.

Fig. 3.- Solubilidad del Carbono en un acero con 13% de Manganeso.

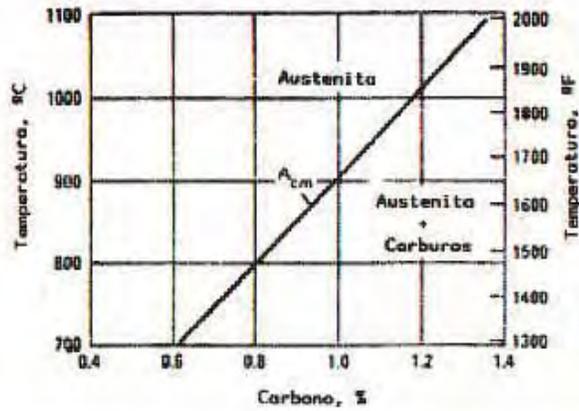
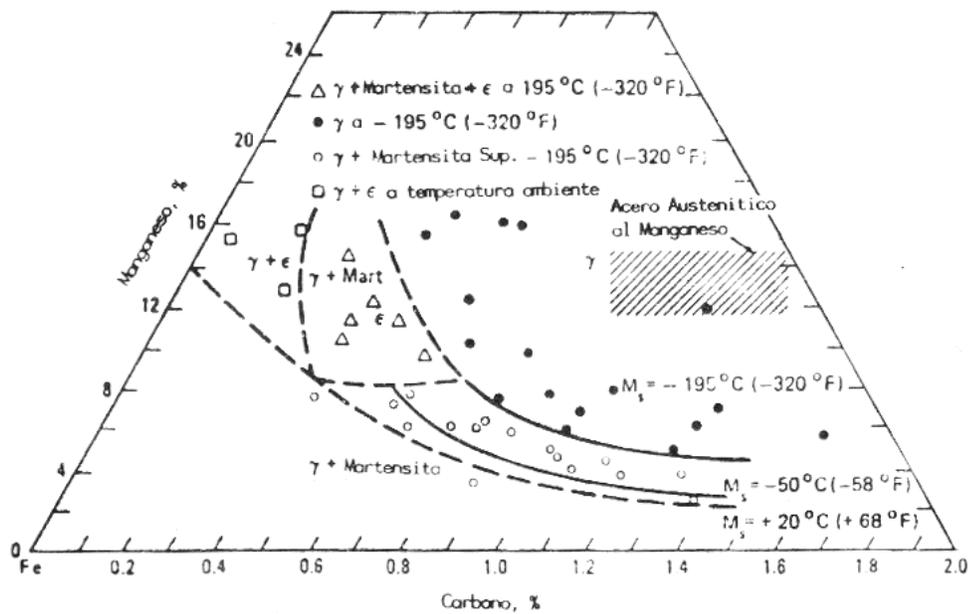


Fig. 4.- Variaciones de la temperatura M_s con los contenidos de carbono y manganeso.

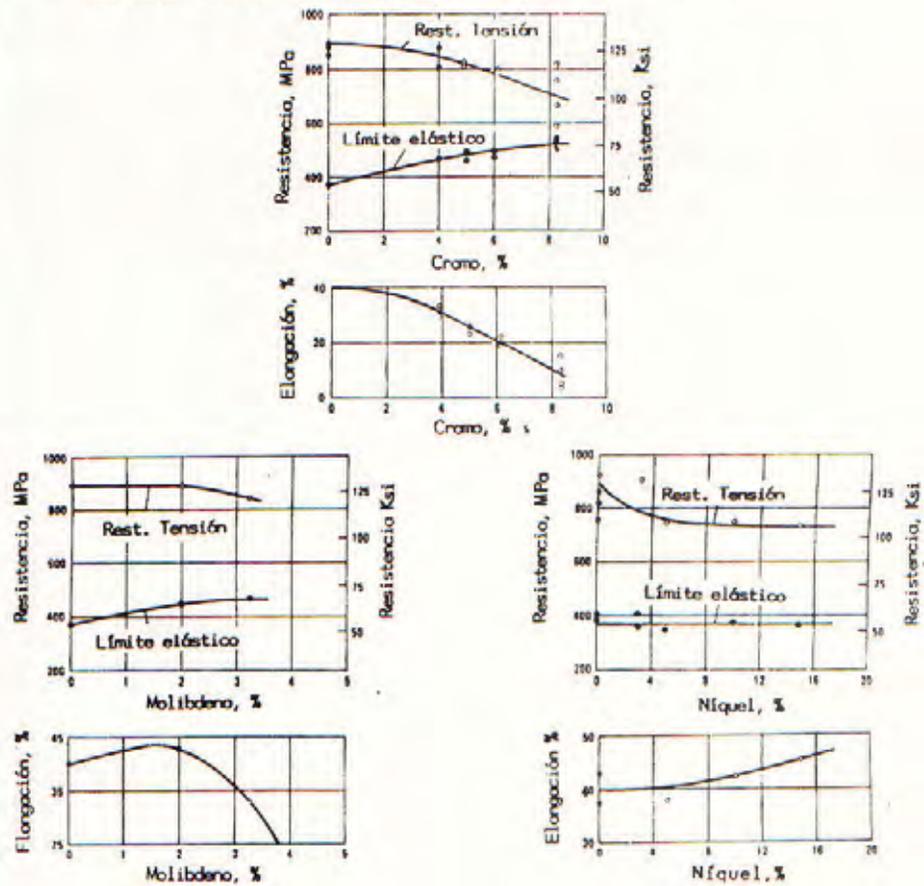


Los elementos de aleaciones tales como, Cromo, Molibdeno y Níquel también modifican el límite elástico, resistencia a la tensión y ductilidad selectivamente (figura 5).

Níquel.- Aumenta considerablemente la estabilización de la austenita por efecto austenitizante de la estructura del fierro.

Cromo.- Este es un elemento que depende del porcentaje de Carbono presente en el acero, con contenidos bajos no tiene el efecto en la estabilización de la austenita, pero si en las propiedades mecánicas. A mayor concentración se verá favorecida la formación de Martensita y de carburos intercrystalinos.

Fig. 5.- Efecto en las propiedades mecánicas de un acero de alto manganeso con los contenidos de NIQUEL, MOLIBDENO y CROMO.



Acero fundido, tratado a 1100°C y templado en agua.

2.2 TRATAMIENTO TERMICO DEL ACERO DE ALTO MANGANESO.

Las características de un acero al Alto manganeso en resistencia y tenacidad después del temple en agua, se debe a la homogenización de la estructura austenítica, sin embargo, pueden aparecer carburos que dependiendo de su continuidad y localización, imparten fragilidad en el material.

La figura 3 nos muestra el resultado de la relación entre la temperatura de calentamiento y la concentración de Carbono, para obtener las estructuras de un acero de alto manganeso. Para alcanzar la máxima resistencia, las temperaturas de austenitización deben de ser por arriba de A_{cm} (límite de la cementita) y de esta forma el acero pueda ser totalmente austenítico y el Carbono completamente solubilizado en la estructura de la austenita.

Los rangos de temperatura comunes usados para austenitización completa son de 990°C a 1100°C , el tiempo de permanencia no es crítico pero se puede establecer entre 30 a 45 minutos por pulgada de sección. Sin embargo, el temple de un acero de alto Manganeso si presenta dificultades en piezas robustas, ya que para extraer la temperatura de ellas es tardado, produciendo precipitación de carburos que pueden causar fracturas internas en el material.

El aumento del porcentaje de Carbono favorece la precipitación de carburos intercrystalinos y aciculares. Sin embargo, en las curvas de temperatura-tiempo-transformación de los aceros austeníticos de alto Manganese, que tengan una composición química similar, al modificar uno de ellos con 2% de molibdeno, y al compararlos entre si, el 2% de molibdeno tiende a retrasar considerablemente el periodo de incubación de carburos intercrystalinos; la transformación perlítica, y la precipitación de carburos aciculares transcristalinos

También estos aceros tienen un elevado riesgo de decarburización por el porcentaje de carbono presente y su elevada temperatura de austenitización; cuando sucede el fenómeno de decarburización, la transformación de la austenita a otros componentes, principalmente a Martensita, generan esfuerzos entre las zonas y el riesgo de formación de fracturas entre ellas es elevado.

2.3 CALENTAMIENTO EN LOS ACEROS AL MANGANESO.

Cuando se calienta un acero de alto Manganeso por arriba de 318 °C, su fragilización se verá aumentada por la transformación de la austenita meta-estable a carburos de Manganeso que se precipitan a borde de cristal, la precipitación se ve favorecida entre más alta sea la temperatura del sobrecalentamiento y que no sobrepase A_{cm} (límite de cementita).

Las propiedades mecánicas de los aceros con 13% de Manganeso entre 45 °C y 205 °C, los hacen excelentes para múltiples aplicaciones, no se recomienda en aplicaciones de desgaste para altas temperaturas por su estructura inestable entre 260 °C y 870 °C. En altas temperaturas carecen de resistencia mecánica y ductilidad. La resistencia a la tensión, límite elástico y elongación entre -195 °C y 98 °C para aceros conformados mecánicamente con 1.4% Carbono, 12.5% Manganeso y 0.12% Silicio se muestran en la tabla II.

Los aceros fundidos a -73 °C conservan el 85% de sus propiedades de resistencia al impacto (tabla III), dando un factor de seguridad mayor que los aceros ferríticos, en servicios que demanden alto impacto con abrasión, fricción metal-metal a baja temperatura.

Asociada a la fragilización de alta temperatura, por el sobrecalentamiento por arriba de 300 °C, existen cambios también en las propiedades físicas por las transformaciones metalúrgicas existentes.

TABLA II.- PROPIEDADES MECANICAS DE UN ACERO CON 1,4 %C - 12 %Mn
A VARIAS TEMPERATURAS.

TEMPERATURA °C	RESISTENCIA A LA TENSION lb/in ²	LIMITE ELASTICO lb/in ²	ELONGACION %	DUREZA H.V.
98	151,000	63,000	56	518
91	163,000	58,000	68	...
23	151,000	67,000	48	524
23	158,000	43,000	62	...
22	151,000	53,000	47	...
- 30	150,000	70,000	36	470
- 97	147,000	62,000	25	...
-110	138,000	76,000	25	438
-150	137,000	101,000	12	317
-195	137,000	124,000	4	251
-200	136,000	117,000	4	...

TABLA III.- RESISTENCIA AL IMPACTO (CHARPY "V").

COMPOSICION, %				PRUEBA DE IMPACTO			
C	Mn	Si	Ni	A 240C (75 OF)		A -730C (-100 OF)	
				J	ft-lb	J	ft-lb
1.03	12.9	0.52	...	128	94.5	71	52.5
1.18	13.0	0.50	...	144	106.0	79	58.5
1.19	14.6	0.50	...	141	104.0	79	58.5
0.84	12.5	0.48	3.46	136	100.0	108	80.0
1.17	12.7	0.53	3.56	142	104.5	119	88.0

Tanto la composición química y temperatura influyen en los cambios de conductividad y expansión térmica (tabla IV).

La expansión térmica es una característica de los aceros al Manganeso como la que presentan los aceros austeníticos inoxidables Cromo-Níquel. El cambio en longitud es de 1.5 veces mayor que los aceros ferríticos.

Su coeficiente de expansión térmica lineal es de $18 \text{ mm/m}^{\circ}\text{C}$ (figura 6). Las transformaciones de la austenita a otras estructuras, como carburos y perlita modifican el coeficiente de expansión térmica en 360°C y 760°C .

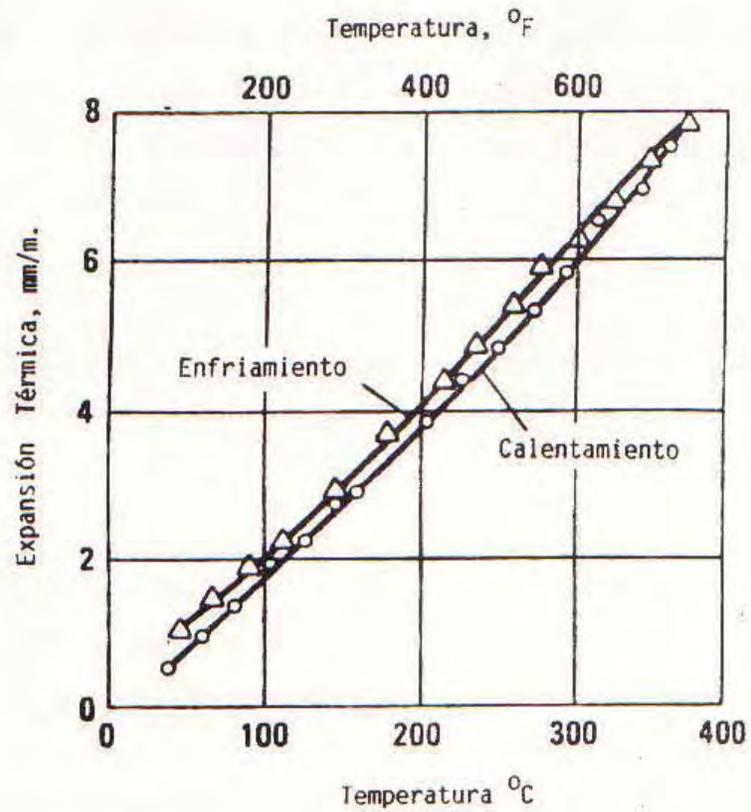
TABLA IV.- EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN ACERO CON 13 %Mn.

TEMPERATURA °C	CALOR ESPECIFICO MEDIO J/Kg-K	COEFICIENTE MEDIO DE EXPANSION TERMICA DESDE 0 °C $\mu\text{m}/\text{m-K}$	RESISTENCIA ELECTRICA $\text{n}\Omega\text{-m}$	CONDUCTIVIDAD TERMICA W/m-K
0	494	...	6.65	13.2
50	510	...	7.11	14.0
100	527	18.01	7.57	14.9
150	553	...	8.02	15.7
200	573	19.37	8.47	16.5
250	590	...	8.89	17.4
300	603	20.71	9.31	18.0
350	607	...	9.69	18.6
350 \pm 650	(a)	(a)	(a)	(a)
700	...	20.49	11.53	21.8
750	...	...	11.80	21.8
800	...	21.86	12.11	22.2
850	...	...	12.40	22.4

NOTA.- La composición del acero es de: 1.22%C, 13.0%Mn, 0.22%Si, 0.03%P, 0.01%S, 0.07%Ni, 0.03%Cr, 0.07%Cu, 0.004%Al.

(a).- Dependerán los valores del tiempo y temperatura, sobre la cantidad de transformación de la Austenita.

Fig. 6 .- Expansión térmica de un acero con 13% de manganeso.



Composición del acero: 1.18%C, 13% Mn, 0.5% Si
tratado térmicamente a 1100°C por 2 horas y -
templado en agua.

2.4 ESTRUCTURAS METALURGICAS.

La estructura cristalina fundamental de los aceros Hadfield o alto Manganeso es el cúbico de caras centradas, esta estructura se presenta por efecto austenitizante del Manganeso, a la concentración del 13%, para presentar la estructura gama del hierro.

La presencia de estructuras como carburos, perlita o Martensita dependerán de la velocidad de enfriamiento, masa de la pieza y composición química.

Los aceros de Manganeso se consideran como materiales frágiles (tabla V), pero con la adición de elementos de aleación o contenidos de Carbono del 1.1% aproximado, sus propiedades se mejoran significativamente. En la aplicación de soldaduras, tanto en material base como el de aporte tiene los mismos comportamientos por el efecto del calentamiento.

El manejo de la composición química es para evitar la formación de carburos y las transformaciones de la austenita, para evitar o reducir la probabilidad de fractura del acero austenítico, en la solidificación o por el efecto del enfriamiento cuando se calienta.

TABLA V.- PROPIEDADES MECANICAS DE ACEROS AL MANGANESO FUNDIDOS.

C	COMPOSICION, %			OTRO	LIMITE ELASTICO Ksi	RESISTENCIA A LA TENSION Ksi	ELONGACION %	REDUCCION DE AREA %	RESISTENCIA AL IMPACTO		DUREZA HB
	Mn	Si							J	Ft-lb	
ACEROS AL CARBONO.											
0.85	11.2	0.57	...	...	64	14.5	...	...	...	...	...
0.95	13.0	0.51	...	...	61	14.0	...	...	...	...	...
1.11	12.7	0.54	...	...	52	65	4.0	...	...	...	...
1.27	11.7	0.56	...	...	52	2.0	...	...	...	...	...
1.28	12.5	0.94	...	...	48	1.0	...	3.4	2.5	245	...
1.36	20.2	0.60	...	...	62	1.0	...	...	...	283	...
ACEROS AL MANGANESO, 1Mo.											
0.61	11.8	0.17	1.10 Mo	46	103	27.5	23	...	...	163	...
0.75	13.9	0.58	0.90 Mo	49	107	39.5	30	...	...	183	...
0.83	11.6	0.38	0.96 Mo	50	101	30.0	29	...	...	163	...
0.89	14.1	0.54	1.00 Mo	52	100	29.5	22	...	...	196	...
1.16	13.6	0.60	1.10 Mo	58	81	13.0	15	...	...	185	...
0.93	13.6	0.67	0.96 Mo	53	74	11.0	16	72	53	188	...
0.99	12.6	0.60	0.87 Mo	...	67	6.0	...	...	...	...	...
0.98	12.6	0.60	0.87 Mo	...	63	4.0	...	...	...	...	...
0.95	12.6	0.60	0.87 Mo	50	56	4.0	4	...	...	...	...
1.30	13.1	0.78	0.99 Mo	...	63	2.0	...	8	6	230	...
1.33	19.8	0.60	0.99 Mo	...	73	2.5	...	...	...	231	...
ACEROS AL MANGANESO, 2Mo.											
0.52	14.3	1.47	2.40 Mo	54	87	15.5	13	...	...	220	...
0.70	13.6	0.63	2.00 Mo	52	114	41.0	29	...	...	180	...
0.75	14.1	0.99	2.00 Mo	53	108	34.5	27	...	...	183	...
0.91	14.1	0.60	2.00 Mo	57	102	27.5	21	...	...	196	...
1.24	14.1	0.64	3.00 Mo	64	87	7.5	10	...	...	235	...
1.40	12.5	0.62	2.10 Mo	61	80	3.5	5	...	...	228	...
1.34	12.0	0.43	2.20 Mo	60	63	3.5	7	...	...	235	...
ACEROS AL MANGANESO, 3.5Ni.											
0.75	13.0	0.95	3.65 Ni	43	95	36.0	26	...	...	150	...
0.80	13.5	0.53	3.61 Ni	...	77	26.0	...	...	...	...	...
0.91	13.3	0.53	3.38 Ni	...	74	24.0	...	...	...	...	...
ACEROS 6Mn-1Mo.											
0.90	5.8	0.37	1.46 Mo	47	49	2.0	...	9	7	181	...
1.00	6.0	0.43	1.03 Mo	48	53	2.0	3	...	...	195	...
0.89	6.3	0.60	1.20 Mo	...	48	1.0	...	...	...	...	...
1.27	6.1	0.42	1.07 Mo	53	58	1.0	1	3	2	273	...

2.5 PROPIEDADES DE LOS ACEROS AL ALTO MANGANESO.

Propiedades físicas.- Las propiedades físicas de un acero al Manganeso son compiladas en los siguientes datos (tabla VI).

El coeficiente de expansión es semejante a los materiales austeníticos, y las propiedades físicas se ven alteradas por efecto de la temperatura y tiempo, posiblemente por la presencia de otras estructuras que imparten fragilidad al material.

Propiedades magnéticas.- El material es no-magnético por su estructura austenítica, pero su inestabilidad de austenita cuando sufre una transformación por efecto térmico o mecánico a estructuras como Martensita, perlita o carburos, el magnetismo será detectable en proporción a la austenita transformada.

Propiedades mecánicas.- La resistencia a la tensión se ve favorecida por el endurecimiento por trabajo, propiedad significativa de los aceros al alto Manganeso, el límite elástico también se modifica en función a la deformación (tabla VII). Estas dos propiedades se ven influenciadas a tres parámetros que son: composición química, tratamiento térmico y tamaño de cristal austenítico.

TABLA VI.- PROPIEDADES MECANICAS DE ACEROS TIPO AUSTENITICOS AL MANGANESO.

TIPO	COMPOSICION QUIMICA, %						R.T. Ksi	L.E. Ksi	ELONG. %	R.A. %	DUREZA HB
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo					
C-Mn	1.0-1.4	11-14	0.2-1.0	...	...	...	100-145	50-57	30-65	39-45	185-210
	1.11	12.7	0.54	...	...	...	65	52	4	...	...
							90	52	25	35	
							66	47	18	25	
	1.1-1.4	11-14	0.2-0.6	...	...	...	131-158	43-67	40-63	35-50	170-200
C-Mn-Cr	1.1-1.2	12-13	0.5	1.8-2.1	...	...	96-147	58-68	27-59	26-38	205-215
							82	53	31	29	
							81	56	20	19	
C-Mn-Ni	0.6-0.9	12-14	0.5-0.9	...	3.4-3.6	...	90-132	42-49	40-88		150-180
	0.8-0.9	13-15	0.9-1.3	...	2.8-4.0	...	134-146	46-56	74-87	45	180
C-Mn-Mo	0.7-1.0	12-14	0.4-0.6	...	...	1.0	106-137	50-59	37-67	30-39	179-207
							80-133	42-55	27-61	26-60	
	1.15	12-14	0.5	...	...	1.0	120-144	56-74	45-53	31-37	202-207
	0.72	13				1.0	145-147	53-54	60-72	43-49	187

TABLA VII.- PROPIEDADES MECANICAS EN UN ACERO AUSTENITICO CON 13% MANGANESO, QUE FUE CALENTADO A 425 °C POR 48 HORAS.

C	Mn	Si	Ni	Mo	*TAMAÑO DE GRANO	TEMPLADO		CALENTAMIENTO	
						RESISTENCIA A LA TENSION Psi	ELONG. %	RESISTENCIA A LA TENSION Psi	ELONG. %
1.31	12.9	0.33	...	...	G.B.	111,250	35.5	96,250	1.0
					G.F.	134,500	42.5	96,250	1.0
1.20	13.0	0.50	...	...	G.B.	110,000	49.0	98,750	3.5
					G.F.	129,400	48.0	99,500	2.0
1.03	12.9	0.52	...	...	G.B.	108,750	39.5	93,750	11.0
					G.F.	131,750	46.0	109,500	12.5
1.17	12.7	0.53	3.56	...	G.B.	112,500	48.0	88,000	3.5
					G.F.	115,250	48.0	99,000	4.5
1.15	12.8	0.51	...	0.98	G.B.	130,000	48.5	107,000	19.0
					G.F.	138,000	49.0	108,250	23.0

* G.B. = GRANO BASTO.

G.F. = GRANO FINO.

En los aceros al manganeso entre mayor sea su sección, la ductilidad y resistencia a la tensión disminuyen, excepto cuando por un control evitamos la presencia de un cristal basto de austenita en la solidificación.

Propiedades de impacto.- Los aceros al alto manganeso son resistentes al alto impacto, estos datos dependen de la calidad del tratamiento térmico y tamaño de la pieza. En general a bajas temperaturas las propiedades al impacto se conservan excelentes (tabla VIII).

TABLA VIII.- PRUEBA DE IMPACTO PARA SOLDADURAS DE ACEROS AL ALTO MANGANESO.

TEMPERATURA DE PRUEBA °C	VALORES ft-lb
25	118
- 17	96
- 60	80
-100	55

3.1 METODO EXPERIMENTAL.

Para el inicio de ésta investigación se tomó como muestra base un acero Hadfield, que estuviera bajo la norma de A.S.T.M. A-128-84.

	ACERO MUESTRA	A.S.T.M. A 128.
	% ELEMENTO	% ELEMENTO
CARBONO	1.16	0.9 - 1.4
MANGANESO	12.00	11.0 - 14.0
SILICIO	0.46	1.00 máx.
FOSFORO	0.04	0.07 máx.
AZUFRE	0.03	0.04 máx.
CROMO	0.10	
MOLIBDENO	0.10	
NIQUEL	0.15	

Propiedades físicas, eléctricas y térmicas mostradas por el acero al alto manganeso o hadfield

Coefficiente de expansión térmica lineal (De 21°C a 315°C) (mm/m°C)	18
Resistividad eléctrica (m Ωm)	6.88
Conductividad térmica (W/mK)	13.6

Tabla 9

Propiedades mecánicas del acero al alto manganeso ó hadfield

Dureza Vickers-2	189 - 195
Resistencia a la tensión (MPa)	850 - 900
Limite elástico (MPa)	370
Elongación (%)	38 - 40
Reducción de área (%)	27 – 28
Resistencia al impacto (J)	144

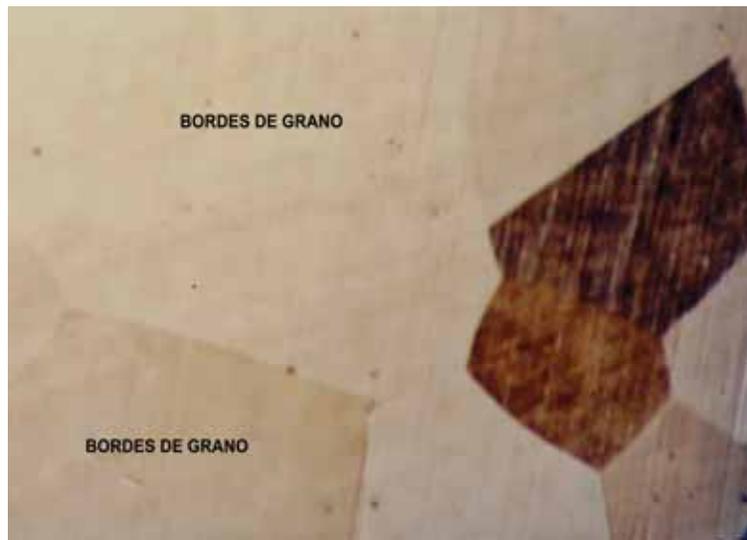
Tabla 10

En la toma de las muestras para cada ensayo experimental, se les dio una condición inicial metalúrgica, la cual fue realizada de la siguiente forma:

a).- Tratamiento térmico de homogenización a 1100°C , con una hora de permanencia, empacada con grafito para evitar la decarburización.

b).- Temple al agua a temperatura ambiente.

La estructura inicial que se obtiene se muestra en la fotografía 1.



**Fotografía 1.- Estructura austenítica que se obtuvo por tratamiento térmico de solubilidad a 1100°C
Tomada a 600X**

3.2 PREPARACION DE LAS MUESTRAS

Una vez hecho el experimento planteado, las muestras resultantes se prepararon de la siguiente forma:

Corte de la muestra.

Montaje en bakelita

Desbaste en lijas de agua.

Pulido con Alumina.

Ataque con reactivos químicos específicos.

Observación al microscopio metalográfico.

Toma de fotografías.

Toma de durezas.

Los equipos que se usaron en esta investigación fueron:

Horno de mufla de 1 100°C.

Equipo de metalografía.

Microscopios metalográficos.

Durómetro universal.

Cortadora de disco.

Las técnicas de la metodología fueron las siguientes:

Metalografía.

Microscopia Óptica.

Toma de Durezas.

3.3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

AFECTACION DE LA TEMPERATURA.

El experimento planteado, fue con el objetivo de observar como afecta la temperatura a la estructura metalúrgica del acero Hadfield.

La temperatura de homogenización de estos aceros de acuerdo a la literatura y a los experimentos preliminares es de 1100 °C o mayores, sin embargo, el comportamiento de la estructura a temperaturas menores, a un tiempo determinado es el que se experimentará, ya que en los enfriamientos pasará por dichas temperaturas que son las que más influyen en sus propiedades físicas y mecánicas.

Se prepararon 8 muestras de aproximadamente 15 mm³, que se homogenizaron conforme a la metodología y se llevaron a un calentamiento a diferentes temperaturas de:

300 °C

400 °C

500 °C

600 °C

700 °C

800 °C

900 °C

1000 °C

Durante 4 horas de permanencia, empacadas con grafito y posteriormente fueron enfriadas bruscamente en agua a temperatura ambiente.

A cada una de las probetas se les preparó para su estudio metalográfico y toma de durezas con Vickers con 2 Kg. de carga.

3.4 RESULTADOS OBTENIDOS.

Las condiciones de uniformidad que dieron el punto de inicio de cada experimento, para obtener los resultados, fueron:

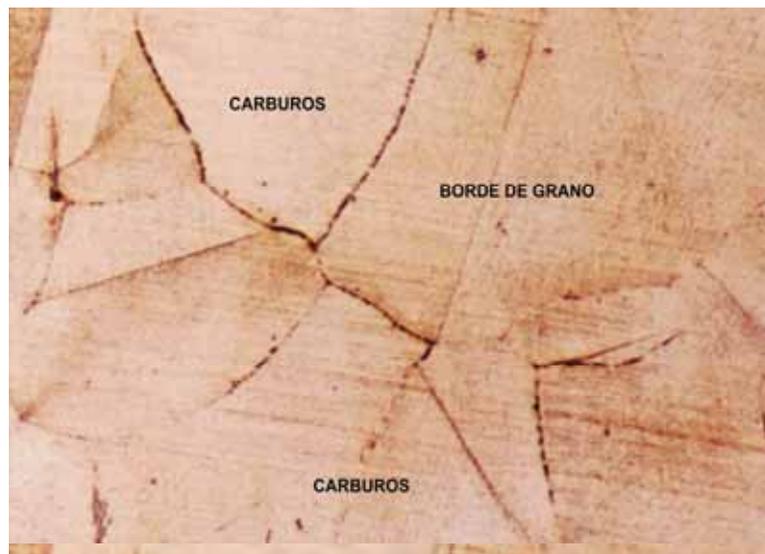
Temperatura de austenitización para una homogenización de la estructura, es de 1100 °C.

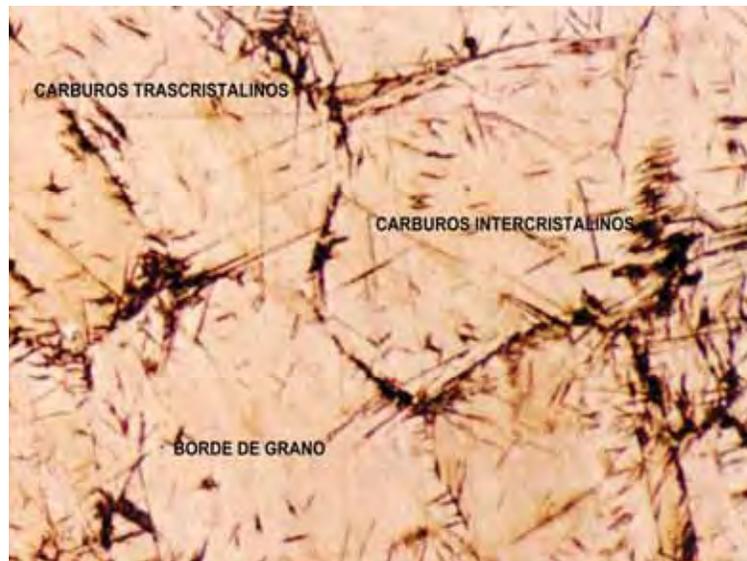
El tiempo de calentamiento dependía de la masa a calentar, pero el tiempo de permanencia ideal fue de una hora, por el tipo de material, el medio de enfriamiento más rápido fue el agua a temperatura ambiente.

3.5 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA ESTRUCTURA DEL ACERO HADFIELD.

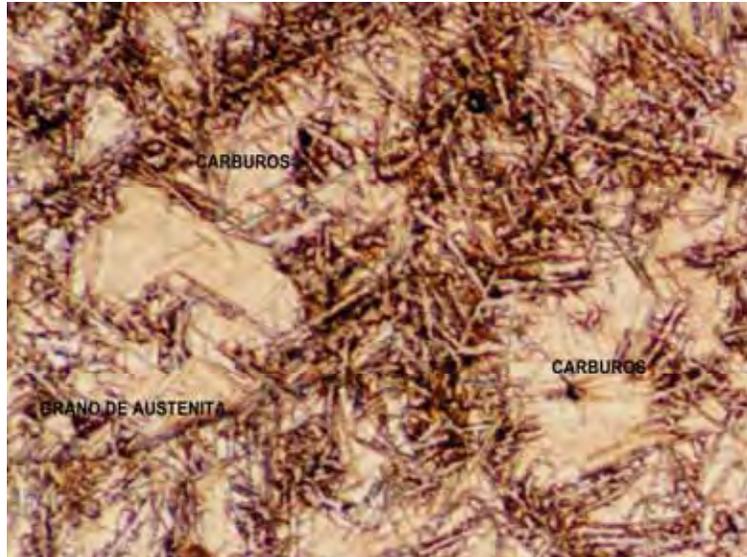
Las ocho probetas ensayadas en condiciones iniciales semejantes, presentan cambios estructurales metalúrgicos de forma siguiente:

Probeta de 300 °C.- Estructura austenítica como matriz y carburos no-continuos intercristalinos en pequeña cantidad. (Fotografía 2)





Probeta de 400 °C.- Matriz de Austenita, carburos intercristalinos continuos y carburos intracristalinos aciculares. (Fotografía 3)



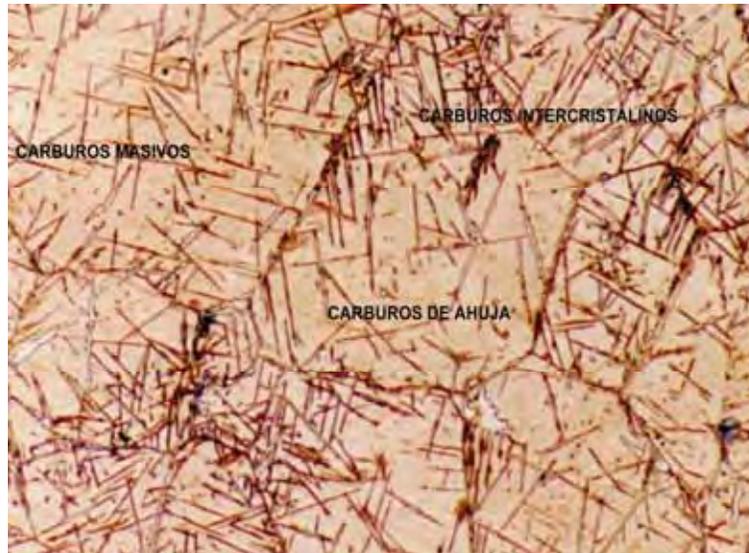
Probeta de 500 °C.- Matriz austenítica, con gran cantidad de carburos aciculares intracristalinos y carburos intercristalinos continuos. (Fotografía 4)



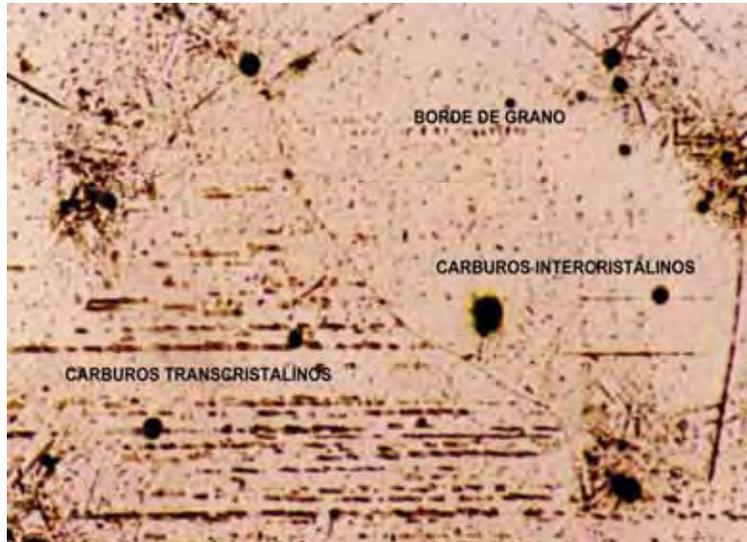
Probeta de 600 °C.- Matriz de Austenita, carburos intercristalinos y carburos aciculares en menor cantidad. (Fotografía 5)



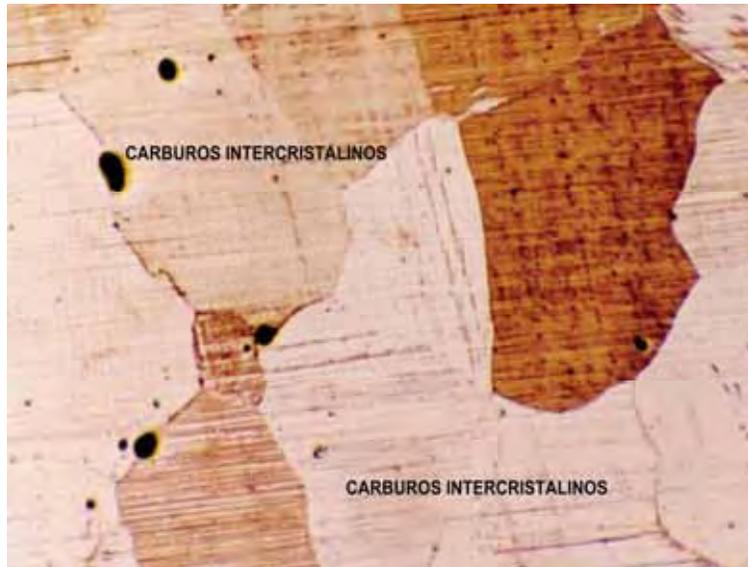
Probeta de 700 °C.- Matriz de Austenita, rodeada de carburos intercrystalinos y carburos aciculares intracrystalinos. (Fotografía 6)



Probeta de 800 °C.- Matriz de Austenita, carburos intercristalinos y carburos aciculares en menor cantidad. (Fotografía 7)



Probeta de 900 °C.- Matriz de Austenita, con carburos intercristalinos no continuos (Fotografía 8)



Probeta de 1000 °C.- Matriz de Austenita, con algunos carburos pequeños intercristalinos (Fotografía 9)

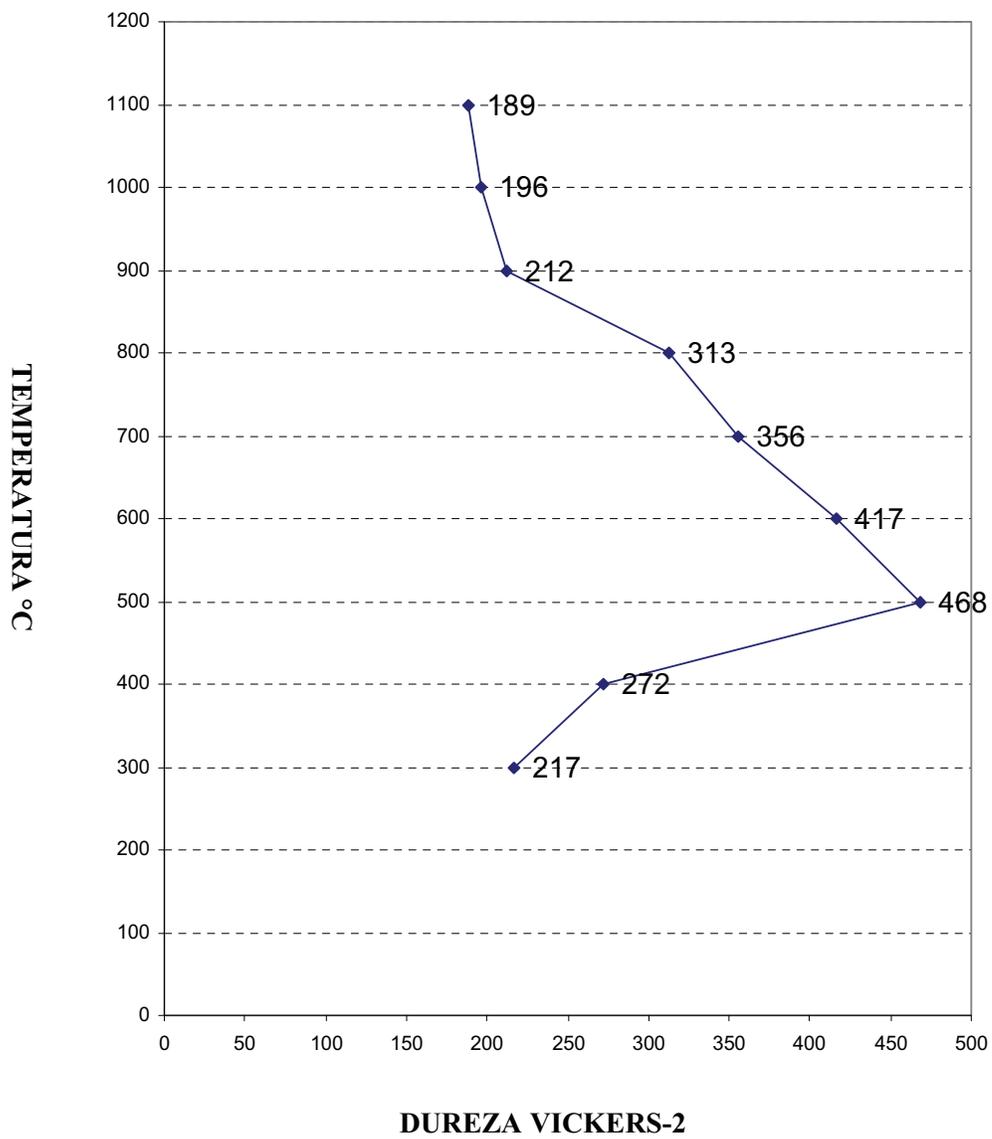
Los ensayos de dureza promediados de 30 lecturas presentaron los siguientes datos:

TEMPERATURA °C	DUREZA Vickers-2
300	217
400	272
500	468
600	417
700	356
800	313
900	212
1000	196

Tabla 11

La muestra tratada a 1100 °C es de 189 Vickers 2, la cual es la original.

Estos datos se graficaron y se muestran en la figura 7



**Figura 7.- Grafica de durezas promedio, de las estructuras
obtenidas por el efecto de la temperatura**

3.6 DISCUSION DEL RESULTADO

Las pruebas preliminares fueron la base para obtener la estructura fundamental de austenita de cristal basto, en estado meta-estable y cuyas condiciones se vieron favorables en:

- 1100 °C de calentamiento
- 1 hora de permanencia
- Enfriamiento de temple en agua a temperatura ambiente

La precipitación de carburos empieza en los bordes de cristal y su crecimiento es progresivo de acuerdo a la temperatura y tiempo de permanencia.

Posteriormente la precipitación se realiza en los planos preferenciales en el interior de los cristales.

La mayor precipitación de carburos se obtiene en 500 °C y 700 °C.

La cantidad de carburos es mínima en las temperaturas de 300 °C y 1000 °C.

3.7 CONCLUSIONES

Este experimento de 8 probetas, nos muestra que el acero presenta una sensibilidad a la temperatura, sin embargo existe un rango donde el material sufre un gran cambio en su estructura que es 400 °C a 800°C.

La precipitación de carburos intercristalinos y carburos transcristalinos en planos preferenciales es de gran abundancia, que hacen que cambien las propiedades mecánicas radicalmente, esto se da de manifiesto en las fotografías 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 de los resultados.

Este fenómeno de cambio se ve corroborado con la grafica de la dureza, tomadas en dichas muestras y graficando sus promedios.

Dependiendo de la temperatura la presencia de los carburos de manganeso comienzan a ser esféricos y pequeños, en la zona intercristalina (300°C), hasta donde son masivos transcristalinos (600°C) pasando por las etapas de carburos escasos, carburos continuos intercristalinos, aciculares escasos transcristalinos y abundantes grandes transcristalinos.

La matriz del acero se conserva básicamente de austerita.

BIBLIOGRAFIA

1. - Borik, F., W Scholz, Climax Molybdenum company, 1971.
2. - Tasker, J., Intermountain Minerals Symposium, 1982.
3. - Maratray, f., T. Norman, Climax Molybdenum Company, 1961.
4. - Hall L, American Society for Metals, 1966.
5. - Gregory E., M. Bartie, The Welding Institute vol3, 1980.
6. - Todd J., Climax Molybdenum Company, 1975.
7. - Jackson J., Climax Molybdenum Company, 1981.
8. - Tomota Y., M. Strum y J. Morris, Metallurgical Transaction vol. 18, p.p. 1073-1081, 1987.
9. - Adler P., G. Olson y W. Owen, Metallurgical Transaction A., vol. 17A., p.p. 1725-1737, 1986.
10. - Doepken H., H. Cbipin et aL, Austenitic Manganese steel vol. 4, p.p. 66.1-66.40, 5a. edition, American Welding Society, 1986.

11. -Metal Handbook, vol. 9, p.p. 568-588, 9a Edition, American Society for Metals, 1983.
12. - Borik F., W. Scholz, Journal of Materials, 1971.
13. - Fabert H., Symposium Materials for The Mining Industry, p.p. 163-168, 1974.
14. -Welding Handbook, A.W.S., 40. vol. 7a. Edition, pp. 195-209, 1984.
15. -"Fundamentals of Physical Metallurgy", John Verhoeven, John-Wiley y Son' Inc. 1989.
16. -"Tool Steel", 4a. Edition, George A. Roberts and Robert a. Cary, American Society for Metals, 1985.
17. -"Metallography, Principles and Practice", Vander Voort, Mc. Graw-Hill, p.p. 212-216, 1984.