

**ESTABLECER LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE TEMPLE  
REALIZADO A TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS Y REVENIDO EN RESISTENCIA A  
LA CORROSIÓN EN UN ACERO AISI/SAE 1045**



**BRYAN HAMIR POVEDA SUAREZ  
CRISTIAN DAVID PRIETO VELANDIA**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS  
FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2014**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA  
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**

**Nº DE RADICACIÓN:** \_\_\_\_\_

**INFORMACIÓN EJECUTORES**

**Ejecutor 1**

Nombre (s):	Cristian David	
Apellido (s):	Prieto Velandia	
Código:	20132375077	
E-mail:	cristian_crue@hotmail.com	
Teléfono fijo:	293-6757	
Celular:	314-3745492	

**Ejecutor 2**

Nombre (s):	Bryan Hamir	
Apellido (s):	Poveda Suarez	
Código:	20131375108	
E-mail:	bryam129@hotmail.com	
Teléfono fijo:	536-5301	
Celular:	313-8959339	

**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Título del Proyecto:	Establecer la influencia del tratamiento térmico de temple realizado a temperaturas intercríticas y revenido en resistencia a la corrosión en un acero AISI/SAE 1045	
Duración (estimada):	16 semanas	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Investigación	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Proyectos científicos y comunitarios	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Materiales y procesos de manufactura	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:	Semillero Progreso En Materiales De Energía (PEMI)	
Áreas del conocimiento que involucra:	Tratamientos térmicos, metalografía	

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Director: (Vo. Bo.)	Carlos Arturo Bohórquez Ávila
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
0. INTRODUCCIÓN	4
1. ASPECTOS CIENTÍFICOS	5
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.2 ESTADO DEL ARTE	5
1.3 JUSTIFICACIÓN	6
2. OBJETIVOS	7
2.1 OBJETIVO GENERAL	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3. MARCO TEÓRICO	8
3.1 ACERO	8
3.2 CONSTITUYENTES MICROSCÓPICOS DE LOS ACEROS	8
3.2.1 Ferrita	8
3.2.2 Cementita	9
3.2.3 Perlita	9
3.2.4 Austenita	9
3.2.5 Martensita	10
3.3 SISTEMA HIERRO – CARBONO	11
3.3.1 Aceros al carbono	12
3.4 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA NORMA AISI-SAE DE LOS ACEROS	12
3.4.1 Acero AISI-SAE 1045 (UNS G10450)	13
3.4.2 Aplicaciones	15
3.5 TRATAMIENTO TÉRMICO	15
3.5.1 Tratamiento normalizado	16
3.5.2 Tratamiento temple	16
3.5.3 Tratamiento intercrítico	17
3.5.4 Tratamiento revenido	18
3.6 CORROSIÓN	19
3.6.1 Definición	19
3.6.2 Efectos de la corrosión	19
3.6.3 Tipos de corrosión	21
3.7 LEY TAFEL	22
4. METODOLOGÍA	26
5 CRONOGRAMA	27
6 PRESUPUESTO DE LA INVESTIGACIÓN	28
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

## 0. INTRODUCCIÓN

En el mundo actual y en nuestra cotidianidad podemos observar una gran cantidad de elementos, máquinas y dispositivos, que son fabricados en acero, éste material es usado tanto por su amplia diversidad de usos, como por sus propiedades físicas y mecánicas, las cuales pueden satisfacer necesidades específicas, sin embargo, éste material no es infalible, y bajo ciertas condiciones podrá perder todas las propiedades que lo hacen un referente a la seguridad estructural en los campos de la construcción y la mecánica.

Dicho fallo al que nos referimos con anterioridad, el causante de gran deterioro o en el peor de los casos, un ciclo de vida corto en elementos constituidos por metales, es la corrosión, la cual se define como una reacción química o electroquímica entre un material y su medio ambiente, que produce el desgaste, y avería del material y sus propiedades. Éste fenómeno de la corrosión trae grandes impactos a la industria, entre éstos se podrán mencionar: el reemplazo de equipos corroídos, mantenimiento preventivo contra la corrosión, contaminación del producto, pérdida de eficiencia en equipos.

Sin embargo, cuando se habla de corrosión es necesario pensar en una relación de material y medio ambiente. El comportamiento corrosivo de un material, no puede ser descrito a menos que el medio ambiente en el cual está expuesto éste sea identificado, y viceversa. Debido a esta premisa será necesario definir un material que sea objeto de estudio frente al fenómeno de la corrosión, dicho material escogido es el acero 1045, el cual es un material común en la industria, al ser un acero al carbono de resistencia media y de bajo costo; es común encontrar este acero como insumo de motores, ejes, bielas, tornillos, entre otras piezas. También es necesario determinar un ambiente al que será expuesto el material, de este modo se define que se presentará la corrosión en un medio ácido (salino).

# 1. ASPECTOS CIENTIFICOS

## 1.1 Planteamiento del problema

Se ve la necesidad de realizar estudios de corrosión, mediante la selección de un proceso que reproduzca las condiciones ambientales corrosivas en un acero AISI/SAE 1045, con un tratamiento térmico como lo es temple en agua, y temple en agua más revenido, a temperaturas intercríticas, debido a que son muy escasos los estudios de corrosión con este tipo de características.

## 1.2 Estado del arte

La industria en el mundo cada día va avanzando y desarrollándose cada vez más, por lo cual hace necesario el establecimiento de estudios, ensayos, investigaciones y/o desarrollos de materiales ya existentes o de nuevos, con el fin de mejorar procesos y evitar al máximo el fallo de piezas y/o estructuras.

Un problema grave que aqueja a la comunidad central de la industria es la corrosión, el cual se define como una reacción química o electroquímica entre un material, usualmente metales, y su entorno, lo cual produce un deterioro del material y de sus propiedades, este puede ocasionar graves problemas y llevar a grandes dificultades a una determinada industria; entre los aspectos más graves que este fenómeno afecta están: el aspecto social, y el aspecto económico, algunas de las consecuencias que se puede llegar a tener en el aspecto económico y tiene un gran impacto , son<sup>1</sup> :

- Hacer remplazar un equipo corroído
- Mantenimiento preventivo
- Paro del equipo debido un fallo de corrosión
- La contaminación de un producto
- Perdida de eficiencia en el proceso
- Sobre diseños
- Perdida de productos o piezas valiosas
- Inhabilidad de usar el material nuevamente en otros productos
- Daños irreparables en un equipo.

De igual manera las consecuencias en el aspecto social también son de alta consideración. Las consecuencias de mayor pretensión a ser solucionadas son relacionadas en los siguientes aspectos<sup>2</sup>:

- Seguridad (Por ejemplo; un fallo repentino puede crear incendios )
- Salud ( Por ejemplo; contaminación gracias al escape del productos generados por la corrosión )

---

<sup>1</sup> DAVIS, J.R. Corrosion: Understanding the basics. Ohio: ASM international, 2000. 574 p.

<sup>2</sup> DAVIS, J.R. Corrosion: Understanding the basics. Ohio: ASM international, 2000. 574 p.

- Agotamiento de recursos naturales, incluidos metales y combustibles, usados para fabricarlos
- Una mala apariencia para la pieza, maquina y/o producto corroído

Mundialmente la industria del acero produce 1500 millones de toneladas y se estima que al año alrededor de 300 millones de toneladas se corree, aproximadamente el 25%, hablando de cifras económicas en Colombia las pérdidas ascienden a más de 26 mil millones de pesos , influyendo de manera considerable e importante al producto interno bruto, aproximadamente el 4% del PIB<sup>3</sup>.

Centrándonos en la industria Colombiana es poca la información que se tiene acerca de la corrosión en los aceros, por consiguiente para el diseño de nuevas máquinas y/o productos muy pocas veces se tiene en cuenta este factor, ni mucho menos como va a reaccionar los materiales con un ambiente específico.

El acero AISI/SAE 1045 es un acero simple al carbono (0.42% - 0.5 % de C), por lo cual se clasifica entre los aceros de medio carbono. En la industria Colombiana el acero AISI/SAE 1045 es de uso frecuente, con este se fabrican piezas para maquinas, ejes, piñonería, en partes de motores y en tornillos, haciéndolo de uso indispensable en esta última, pero muchas veces cuando se diseñan estas partes o se fabrican no se tiene muy claro la velocidad con el cual este se puede corroer, y mucho menos si los tratamientos térmicos más comunes aplicados a este (Templado en agua y templado en agua más revenido) llega a afectar de manera considerable en la duración del material frente a la corrosión, lo cual puede llevar a incrementar costos.

### 1.3 Justificación

La razón de ejecución de este proyecto se basa en la poca información, investigación, y estudios que se tiene de la resistencia a la corrosión, en el acero AISI/SAE 1045 con este tipo de tratamientos térmicos a temperaturas intercríticas, para así generar nuevos estudios académicos a la industria nacional.

---

<sup>3</sup> UNIVERSIA COLOMBIA. Más de 26 mil millones de pesos pierde la industria colombiana debido a la corrosión de materiales. En: UNIVERSIA ( 29 de septiembre de 2013). Disponible en < <http://noticias.universia.net.co/actualidad/noticia/2013/08/29/1045848/mas-26-mil-millones-pesos-pierde-industria-colombiana-debido-corrosion-materiales.html> > (citado en 24 de abril de 2014)

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

- Estudiar el comportamiento a la corrosión en un acero AISI/SAE 1045, templado desde temperaturas intercríticas, mediante un enfriamiento en agua y mediante un enfriamiento en agua más revenido.

### 2.2 Objetivos específicos

- Establecer que método es el más conveniente para recrear el medio salino donde se llevará a cabo el ensayo corrosivo al acero AISI/SAE 1045.
- Precisar la influencia frente a la corrosión cuando aplicamos un tratamiento térmico a un acero AISI/SAE 1045 en un mismo medio de enfriamiento, con revenido y sin revenido.
- Evaluar la resistencia a la corrosión en relación con la pérdida porcentual de masa.
- Hacer un estudio metalográfico al material después de someterlo a corrosión, para determinar las posibles fases existentes y relacionarlas con la resistencia a la corrosión.

### 3 MARCO TEORICO

#### 3.1. ACERO

Desde el inicio de las primeras civilizaciones, el acero ha sido fundamental para el desarrollo y evolución de estas, según el último informe realizado por la Asociación Mundial del Acero en el mes de marzo en el mundo se llegó a producir 141 millones de toneladas de acero en bruto, donde Colombia contribuyo con un estimado de 100 mil toneladas de acero en bruto. <sup>4</sup>.

El acero es una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0,05% hasta menos de un 2%), en algunos casos este puede presentar otros elementos de aleación específicos como el Cr (cromo) o Ni (Níquel), pero estos se agregan con propósitos determinados. Los aceros se clasifican según los elementos de aleación, que producen distintos efectos en el acero, así el acero se puede clasificar en cuatro que son; aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultrarresistentes y aceros inoxidables.

#### 3.2. CONSTITUYENTES MICROSCÓPICOS DE LOS ACEROS

##### 3.2.1. Ferrita

La ferrita es hierro alfa, o sea hierro casi puro, que puede contener pequeñas cantidades de silicio, fósforo y otras impurezas. En los aceros aleados, suelen formar solución sólida con la ferrita o hierro alfa, el níquel, manganeso, cobre, silicio, aluminio, etc.

Cristaliza en el sistema cúbico de cuerpo centrado, estando el cubo elemental formado por 8 átomos, situados en los vértices y uno en el centro. Tiene una resistencia aproximada de 28 Kg/mm<sup>2</sup>, 35% de alargamiento y una dureza de 90 unidades Brinell. Es el más blando de todos los constituyentes del acero, muy dúctil y maleable.

---

<sup>4</sup> WALTERS, Nicholas. Press Releases: March 2014 crude Steel production En : Worldsteel Association ( 22 de Abril de 2014). Disponible en < <http://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2014/March-2014-crude-steel-production-.html>> [citado en 24 de abril de 2014]



### **3.2.2 Cementita**

La cementita es un carburo de hierro  $\text{Fe}_3\text{C}$ , contiene 6.67% de carbono y 93.33% de hierro. Es el constituyente más duro y frágil de los aceros al carbono, su dureza es superior a los 68 Rockwell-C. Siempre que se ataca el acero con reactivos ácidos se evidencia la cementita con un color blanco brillante.

### **3.2.3 Perlita**

Es un constituyente eutectoide formado por capas alternadas de hierro alfa y carburo de hierro  $\text{Fe}_3\text{C}$ , o lo que es lo mismo, ferrita y cementita. Es de composición química constante y definida y contiene aproximadamente 6 partes de hierro y una de carburo, que corresponde a 13.5% de  $\text{Fe}_3\text{C}$  y a 86.5% de Fe y a 0.9% de C y 99.1% de Fe. Tiene una resistencia de 80 Kg/mm<sup>2</sup>, y un alargamiento de 15% aproximadamente.

La perlita aparece en general en el enfriamiento lento de la austenita o por transformación isotérmica de la austenita en la zona de los 650° a 725°.

La ferrita y cementita que componen la perlita aparecen formando laminas paralelas y alternadas. Según la velocidad de enfriamiento, esas láminas aparecen más o menos separadas, y cuando el enfriamiento ha sido bastante rápido, las láminas se acercan bastante, de modo que no se pueden distinguir en el microscopio, incluso con grandes aumentos.

### **3.2.4 Austenita**

Es una solución sólida de carbono o carburo de hierro en hierro gama. Puede contener desde 0.7 hasta 1.7% de carbono y es, por lo tanto, un constituyente de composición variable. Todos los aceros se encuentran formados por cristales de austenita cuando se calientan a temperaturas superiores a las críticas ( $A_{c3}$  o  $A_{cm}$ ), aunque generalmente es un constituyente inestable, se puede obtener esa estructura a temperatura ambiente por enfriamiento rápido de aceros con alto contenido en carbono o de muy alta aleación.

Su resistencia es de 88 a 105 Kg/ mm<sup>2</sup> aproximadamente, su dureza de 300 Brinell y su alargamiento de 30 a 60%. Es poco magnética, blanda, muy dúctil y tenaz. Tiene gran resistencia al desgaste, siendo el constituyente más denso de los aceros.

### **3.2.5 Martensita**

Es el constituyente típico de los aceros templados. Se admite que está formada por una solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en hierro alfa, y se obtiene por el enfriamiento rápido de los aceros desde alta temperatura. Su contenido de carbono suele variar generalmente desde pequeñas trazas hasta 1% de C y algunas veces en los aceros hipereutectoides, aun suele ser más elevado.

Sus propiedades físicas varían con su composición, aumentando su dureza, resistencia y fragilidad con el contenido de carbono, hasta un máximo de C de .90% aproximadamente. Después de los carburos y la cementita, es el constituyente más duro de los aceros. Tiene una resistencia de 170 a 250 Kg/ mm<sup>2</sup>, una dureza de 50 a 68 Rockwell C, y alargamiento de 2.5 a 0.5%, y también es magnética<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> APRAIZ BARREIRO. José. Tratamientos térmicos de los aceros: Constituyentes microscópicos de los aceros. Octava edición. Madrid: Dossat S.A, 1984.

### 3.3 SISTEMA HIERRO – CARBONO

El sistema de aleaciones binario más importante es el hierro-carbono. Los aceros y las fundiciones son los materiales estructurales primarios en todas las culturas tecnológicamente avanzadas, éstos son esencialmente aleaciones hierro-carbono.

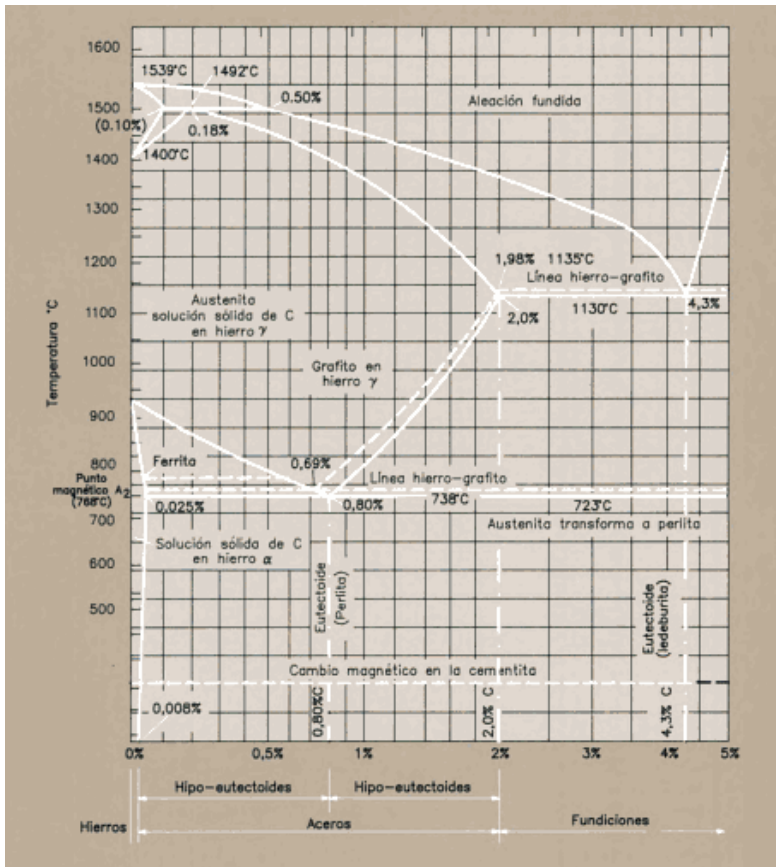


Figura 1 Diagrama de fase hierro-carburo de hierro (Fe-Fe<sub>3</sub>C)

El sistema Fe- Fe<sub>3</sub>C es el diagrama de fase de mayor importancia comercial que encontraremos. Proporciona la principal base científica para las industrias del hierro y el acero. El hierro puro, al calentarse, experimenta dos cambios de la estructura cristalina antes de fundir<sup>6</sup>. A temperatura ambiente la forma estable se llama ferrita o hierro α y tiene una estructura BCC. La ferrita experimenta a 912° C una transformación polimórfica a austenita FCC o hierro γ. La austenita persiste hasta 1394°C, temperatura a la que la

<sup>6</sup> SHACKELFORD. James F. Ciencia de materiales para ingenieros. Tercera edición. México D.F: Prentice Hall. 1995.

austenita vuelve a convertirse en una fase BCC conocida como ferrita  $\alpha$ , que funde a 1538°C. Todos estos cambios aparecen a lo largo del eje vertical izquierdo del diagrama de fases.

El eje horizontal del diagrama de hierro-carbono solo llega hasta el 6.70% en peso de C, concentración que coincide con la del compuesto intermedio carburo de hierro o cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), representado por la línea vertical derecha en el diagrama de fases. Así, el sistema hierro-carbono se puede dividir en dos partes: una rica en hierro, que coincide con la mostrada en el diagrama hierro-carbono y otra parte no mostrada de composición entre 6.70 y 100% de C (grafito puro). Prácticamente todos los aceros y fundiciones tienen porcentajes de carbono inferiores a 6.70% C; por lo tanto, solo se considera la parte rica en hierro del sistema hierro-carburo de hierro.

### **3.3.1 Aceros al carbono**

Más del 90% de aceros que se fabrican en el mundo, son aceros al carbono. Esta clase de aceros contienen diferentes cantidades de carbono y menos del 1.65% de manganeso y el 0.60 % de cobre. Los aceros al carbono tienen diversas aplicaciones en la construcción mecánica, como lo es la fabricación de máquinas, partes móviles de automóviles, marcos de bicicletas, clavos, tornillos, alfileres, entre otros, además es muy usado en la construcción civil como estructura de construcción.

## **3.4 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA NORMA AISI-SAE DE LOS ACEROS**

Gran parte de las normas del instituto Colombiano de normas técnicas (ICONTEC) se basan en las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM) y de la American Iron and Steel (AISI) siendo la última las más usada en el campo industrial.

La AISI usa una nomenclatura tomada de la Society of Automotive Engineers (SAE), en la cual se clasifican mediante números los aceros teniendo en cuenta su composición.

En el sistema AISI-SAE, los aceros se clasifican con cuatro dígitos. El primer dígito especifica la aleación principal, el segundo modifica al primero y los dos últimos dígitos, dan la cantidad de carbono en centésimas. En algunos aceros al cromo de alto carbono hay números de cinco dígitos, los tres últimos dan el porcentaje de

carbono.

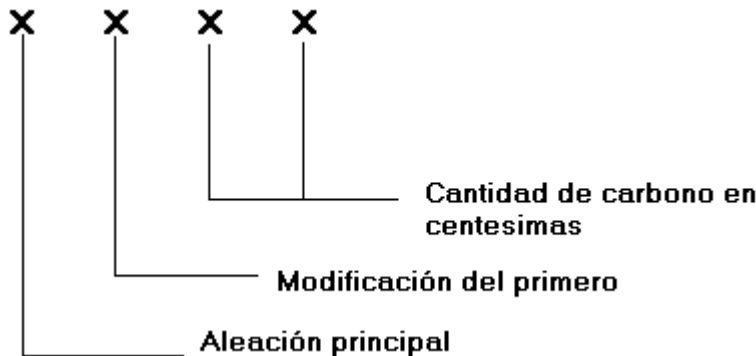


Figura 2 Clasificación de aceros mediante 4 dígitos

En la siguiente tabla se muestra la clasificación según AISI-SAE de diferentes tipos de aceros:

Números y dígitos	Tipo de acero y contenido nominal de aleantes	Números y dígitos	Tipo de acero y contenido nominal de aleantes	Números y dígitos	Tipo de acero y contenido nominal de aleantes
<i>Aceros al carbono</i>		<i>Aceros al níquel-cromo-molibdeno</i>		<i>Aceros al cromo</i>	
10XX(a)	Carbono simples (1.00% de Mn máx.)	43XX	Ni 1.82; Cr 0.50 y 0.80; Mo 0.25	50XXX	Cr 0.50
11XX	Resulfurados	43BVXX	Ni 1.82; Cr 0.50; Mo 0.12 y 0.25; V 0.03 mín	51XXX	Cr 1.02
12XX	Resulfurados y refosforados			52XXX	Cr 1.45
15XX	Carbono simples (1.00-1.65% de Mn máx.)	47XX	Ni 1.05; Cr 0.45; Mo 0.20 y 0.35	<i>Aceros al cromo-vanadio</i>	
<i>Aceros al manganeso</i>		81XX	Ni 0.30; Cr 0.40; Mo 0.12	61XX	Cr 0.60, 0.80 y 0.95; V 0.10 y 0.15 mín
13XX	Mn 1.75	86XX	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.20	<i>Acero al tungsteno-cromo</i>	
<i>Aceros al níquel</i>		87XX	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.25	72XX	W 1.75; Cr 0.75
23XX	Ni 3.50	88XX	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.35	<i>Aceros al silicio-manganeso</i>	
25XX	Ni 5.00	93XX	Ni 3.25; Cr 1.20; Mo 0.12	92XX	Si 1.40 y 2.00; Mn 0.65, 0.82 y 0.85; Cr 0.00 y 0.65
<i>Aceros al níquel-cromo</i>		94XX	Ni 0.45; Cr 0.40; Mo 0.12	<i>Aceros de baja aleantes y alta resistencia</i>	
31XX	Ni 1.25; Cr 0.65 y 0.80	97XX	Ni 0.55; Cr 0.20; Mo 0.20	9XX	Diversos grados o calidades SAE
32XX	Ni 1.75; Cr 1.07	98XX	Ni 1.00; Cr 0.80; Mo 0.25	<i>Aceros al boro</i>	
33XX	Ni 3.50; Cr 1.50 y 1.57	<i>Aceros al níquel-molibdeno</i>		XXBXX	La "B" denota un acero al boro
34XX	Ni 3.00; Cr 0.77	46XX	Ni 0.85 y 1.82; Mo 0.20 y 0.25	<i>Aceros al plomo</i>	
<i>Aceros al molibdeno</i>		48XX	Ni 3.50; Mo 0.25	XXLXX	La "L" denota un acero al plomo
40XX	Mo 0.20 y 0.25	<i>Aceros al cromo</i>			
44XX	Mo 0.40 y 0.52	50XX	Cr 0.27, 0.40, 0.50 y 0.65		
<i>Aceros al cromo-molibdeno</i>		51XX	Cr 0.80, 0.87, 0.92, 0.95, 1.00 y 1.05		
41XX	Cr 0.50, 0.80 y 0.95; Mo 0.12, 0.20, 0.25 y 0.30	(a) XX o XXX, los dos o tres últimos dígitos de estas designaciones, indican el por ciento de carbono después de dividirlos entre 100, salvo en el caso del 9XX de las calidades SAE. Las XX de las calidades SAE designan el esfuerzo de fluencia mínima en ksi.			

Tabla 1 Sistema AISI-SAE de designación de aceros al carbono y baja aleantes

### 3.4.1 Acero AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

El acero AISI-SAE 1045 se encuentra dentro de la clasificación de aceros al carbono al ser acero de medio carbono.

Características generales<sup>7</sup>:

- Es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad.
- Se caracteriza por tener una buena soldabilidad
- Tiene una buena maquinabilidad
- Tiene buenas propiedades frente al impacto
- Responde fácilmente al tratamiento térmico de endurecimiento mediante el temple, específicamente en medios severos como el agua.
- Es de bajo costo respecto a los aceros de baja aleación
- Baja resistencia a la corrosión

Este tiene unas propiedades mecánicas las cuales son las siguientes:

Dureza	163 HB (84Hrb)
Esfuerzo de fluencia	310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo máximo	565 MPa (81900 PSI)
Elongación	16% (en 50 mm)
Reducción de área	40%
Módulo de elasticidad	200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad	57% (AISI 1212 = 100%)

Tabla 2 Propiedades mecánicas del acero AISI/SAE 1045

El acero AISI-SAE 1045 presenta en su composición química los siguientes elementos:

Elemento	C	Fe	Mn	P	S	Si
%Peso	0.43 -0.5	98.51- 98.98	0.6-0.9	Max 0.04	Max 0.05	Max 0.2

Tabla 3 Composición química del acero AISI/SAE 1045

Las propiedades físicas del AISI-SAE 1045 son muy diversas entre las más relevantes se pueden encontrar:

- Densidad :  $7.85 \text{ gr/cm}^3$
- Conductividad térmica :  $52 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$

<sup>7</sup> Cia. General de Aceros S.A. SAE 1020 Y SAE 1045 aceros ingeniería al carbono. Bogotá, 2007, 6p. Disponible en el catálogo en línea de la empresa Cia. General de Aceros S.A:  
<[http://www.cga.com.co/index2.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=14&Itemid=376](http://www.cga.com.co/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=14&Itemid=376)>

- Calor específico :  $460 J/(Kg \cdot ^\circ K)$
- Coeficiente de Poisson : 0.3

Los tratamientos térmicos a los cuales es sometido el acero AISI-SAE 1045 son los siguientes:

TRATAMIENTO TERMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850 – 1100	Arena Seca
Normalizado	856 – 900	Aire
Recocido total	815 – 885	Horno
Recocido posterior al trabajo en frio	595 – 662	Horno Luego aire
Temple	815 - 870	Agua - Aceite
Revenido		Aire

Tabla 4 Diferentes tratamientos térmicos al acero AISI/SAE 1045

### 3.4.2 Aplicaciones

El acero AISI-SAE 1045 se usa en la industria de la construcción y también como material de ingeniería, es ampliamente utilizado para todas las aplicaciones industriales que requieren más resistencia al desgaste y fuerza, sus aplicaciones se encuentran en la fabricación de una gran variedad de tornillos, espárragos, bielas, pinzas hidráulicas y carneros, cigüeñales, barras de torsión, engranajes, pasadores, ejes, una gran variedad de clavijas, una variedad de rollos, postes, árboles, ejes y muchas otras piezas de metal, el acero.

### 3.5 TRATAMIENTO TÉRMICO

Los tratamientos térmicos tienen como objetivo mejorar las propiedades y características de los aceros, y consiste en calentar y mantener las piezas o herramientas de acero a temperaturas adecuadas, durante un cierto tiempo, y enfriarlas luego en condiciones convenientes. De esta forma se modifica la estructura microscópica de los aceros, se verifican las transformaciones físicas y a veces existen también cambios en la composición del metal.

### 3.5.1 Tratamiento normalizado

El normalizado es uno de los tratamientos térmicos más fáciles de efectuar. Se utiliza lo mismo para piezas fundidas, forjadas o mecanizadas, y sirve para afinar la estructura y eliminar las tensiones que suelen aparecer en la solidificación, forja o en otras operaciones posteriores. Como el nombre indica, se da este tratamiento a los aceros para que den con los constituyentes y características que puedan considerarse normales o propios de su composición.<sup>8</sup>

La normalización del acero se lleva a cabo al calentar aproximadamente 37.77° C por encima de la línea de temperatura crítica superior ( $A_1$  o  $A_{cm}$ ) seguida por un enfriamiento en aire quieto hasta la temperatura ambiente.

### 3.5.2 Tratamiento de Temple

Este es un proceso en el cual se incrementa a su máxima dureza al acero, la mayoría de los aceros, con excepción de algunos tipos especiales, pueden ser endurecidos por calentamiento a temperatura elevada y rápido enfriamiento posterior.

Los factores que influyen en este proceso, es la temperatura de calentamiento la cual se ve afectada por la cantidad de carbono que contenga el acero y la velocidad de calentamiento y de enfriamiento. Por lo tanto el nivel de dureza que se obtiene por el tratamiento térmico depende de la velocidad del temple, del contenido de carbono y del tamaño de la pieza.

Normalmente la temperatura a la cual se trata de elevar la temperatura del acero, oscila en los 1000 °C, para luego someterlo a enfriamientos rápidos o bruscos y continuos en agua, aceite o aire.

La capacidad de un acero para transformarse en martensita durante el temple, depende de la composición química del acero y se denomina templabilidad. Así para obtener aceros martensíticos, en realidad, se pretende aumentar la dureza. El problema es que el acero resultante será muy frágil y poco dúctil, porque existen altas tensiones internas.

---

<sup>8</sup> PEREZ PATIÑO, Juan. Tratamientos térmicos de los aceros. Monterrey, 1996, 76h. Trabajo de grado (Postgrado). Universidad Autónoma de Nueva León. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad Autónoma de Nueva León <<http://eprints.uanl.mx/1326/1/1020115008.PDF>>



Los tratamientos térmicos convencionales para producir aceros martensíticos suelen consistir en enfriamientos rápidos y continuos, de un acero austenizado, en un medio de temple, tal como agua, aceite o aire. Las propiedades óptimas de un acero templado se consiguen solo si durante el tratamiento térmico de temple la muestra adquiere un alto contenido en martensita; de lo contrario, si se forma perlita y/o bainita resulta otra combinación de características mecánicas diferentes a las esperadas. Durante el tratamiento térmico del temple es posible enfriar la muestra a velocidad uniforme, aunque la superficie siempre se enfría más deprisa que el interior. Por lo tanto, la austenita se transforma en un tramo de temperatura, obteniendo una posible variación de microestructuras y propiedades.

El tiempo y la temperatura son los factores principales para producir un tratamiento térmico adecuado, el cual produzca una microestructura martensítica a lo largo y ancho de la sección de la pieza, y también dependen de la composición de la aleación, el tipo y carácter del medio de temple, y el tamaño y la forma de la pieza.

### **3.5.3 Tratamiento intercrítico**

Los tratamientos intercríticos que se utilizan con aceros de bajo contenido en carbono, se basan en calentar el acero hasta alcanzar la región bifásica donde coexisten la ferrita y la austenita. A medida que se aumenta la temperatura del tratamiento se incrementa la proporción de austenita, que puede deducirse con exactitud utilizando la regla de la palanca.

Cuando un acero de bajo contenido en carbono se calienta hasta la región intercrítica y luego se enfría rápidamente, la austenita se convierte en martensita y la microestructura final resultante es una mezcla de ferrita, con una alta densidad de dislocaciones, y martensita (en ocasiones también aparece una pequeña proporción de austenita retenida). Se necesita utilizar un medio de enfriamiento muy severo (agua) para formar martensita en los aceros menos templables, sin embargo basta un enfriamiento al aire para lograr transformar la austenita en martensita en los aceros que presentan una cierta templabilidad, ya que aunque se utilicen aceros de bajo carbono, el tratamiento intercrítico genera una austenita con un contenido en carbono muy superior al medio del acero. Estos productos también denominados aceros de fase dual unen una alta resistencia mecánica,

promovida por la presencia de martensita, con una buena ductilidad, conferida por la ferrita.<sup>9</sup>

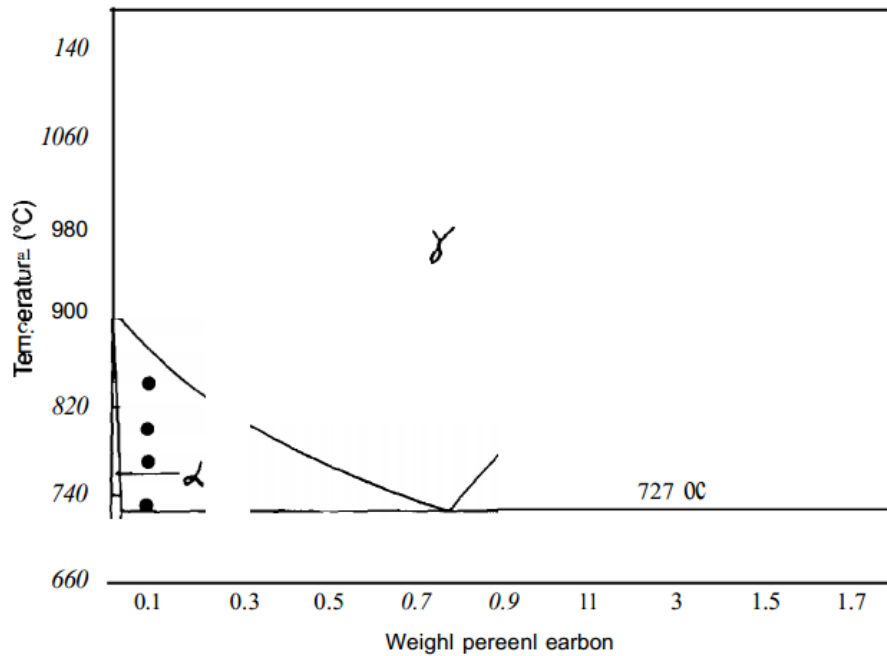


Figura 3 Tratamiento intercrítico

### 3.5.4 Tratamiento revenido

Los aceros después del temple suelen quedar demasiado duros y frágiles para los usos que van a ser destinados. Para solucionar estos problemas se recurre al revenido. Este tratamiento consiste en calentar el acero a una temperatura más baja que su temperatura crítica interior  $A_{c1}$ , enfriándolo luego generalmente al aire y otras veces en aceite o agua.

Así el objetivo primordial del revenido no es eliminar las características del material obtenido mediante el temple, si no modificarlos, disminuyendo la dureza y resistencia, para aumentar la tenacidad y de igual manera eliminar las tensiones internas, que siempre tienen los aceros templados.

<sup>9</sup> BELZUNCE, F.J. Aceros y funciones: Estructuras, transformaciones, tratamientos térmicos y aplicaciones. Oviedo. Universidad de Oviedo, 2001. 203p

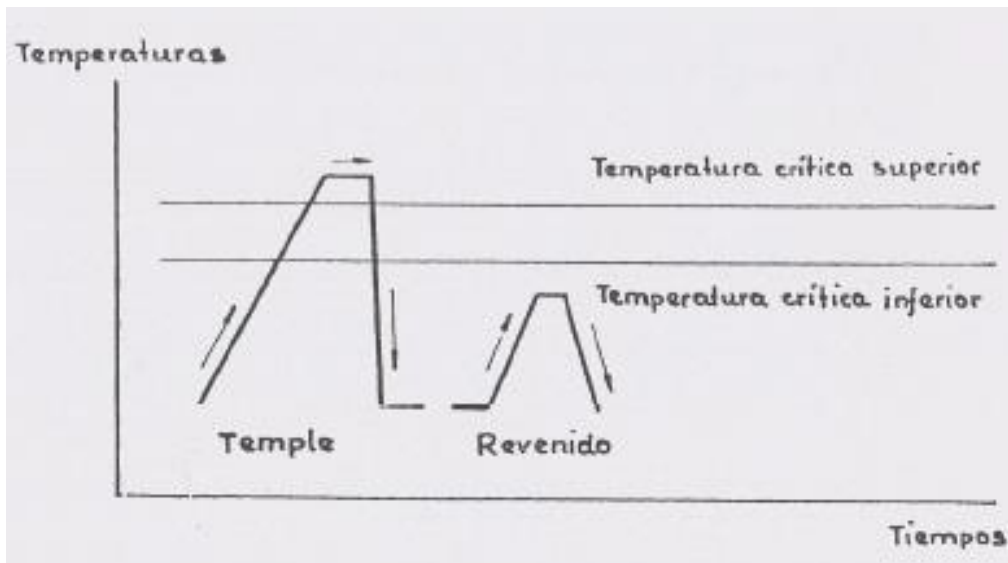


Figura 4 Temple y revenido en los aceros

## 3.6 CORROSIÓN

### 3.6.1 Definición

La palabra corrosión, se deriva del verbo en latín “*Corrodere*” que significa “roer”, esta se puede definir como una reacción química o electroquímica entre un material , generalmente un metal , y su entorno, que produce un deterioro del mismo material y sus propiedades . El entorno se compone de la totalidad circundante en contacto con el material. Los principales factores para describir el entorno son los siguientes : ( a ) El estado físico: gas, líquido o sólido; ( b ) La composición química: constituyentes y concentraciones ; y ( c ) la temperatura. Puede haber otros factores pero estos son los más importantes y relevantes. En resumen, el comportamiento a la corrosión del material depende del ambiente al que está sometido, y la corrosividad de un entorno depende del material expuesto a ese entorno.<sup>10</sup>

### 3.6.2 Efectos de la corrosión

La corrosión diariamente, tiene efectos en el ser humano, tanto directos e indirectos, ya que estos pueden afectar a la vida de servicio útil de nuestras posesiones e indirecta porque afecta a los proveedores y productores de bienes y servicios, ya que estos

<sup>10</sup> DAVIS, J.R. Corrosion: Understanding the basics. Ohio: ASM international, 2000. 574 p.

diariamente tienen que incurrir en costos debido a la corrosión, que luego son trasladados al consumidor, para no tener pérdidas de dinero. De igual manera la corrosión llega a afectar a muchos elementos que podemos encontrarnos diariamente de forma repentina, como por ejemplo, desplome de estructuras de estacionamientos y puentes, colapso de torres eléctricas, daños en edificios, rompimiento de repente en barras de acero, etc. Pero lo más peligroso de la corrosión es que esta se presenta más frecuentemente en grandes plantas industriales, debido a su gran uso de acero. Así las consecuencias que acarrea la corrosión son las siguientes:

- Reemplazo del equipo corroído
- Sobre diseños teniendo en cuenta la corrosión
- Mantenimientos preventivos (Pintura)
- Apagado del equipo, debido a un fallo por la corrosión
- La contaminación de un producto
- La pérdida de eficiencia (El sobre diseño y la corrosión disminuyen la tasa de transferencia de calor en los intercambiadores de calor)
- La pérdida de producto valioso (Un recipiente que se ha corroído)
- No se puede reutilizar el material corroído
- Daños del equipo junto a los elementos que estén cerca del fallo por la corrosión

De igual manera hay otras consecuencias que son sociales. Estos pueden incluir los siguientes aspectos:

- Seguridad , por ejemplo, un fallo repentino puede causar un incendio , una explosión, liberación de productos tóxicos , y el colapso de la construcción
- Salud, por ejemplo, la contaminación por escape de producto desde equipos corroídos o debido a una corrosión propia en el producto.
- El agotamiento de los recursos naturales, incluidos los metales y los combustibles que se utilicen para su fabricación
- El material corroído no tiene muy buen aspecto para el ser humano.

Por último la corrosión llega a afectar a la economía, ya que cada 90 segundos, 1,000 kg de acero se consumen debido a la corrosión en todo el mundo, en este sentido la corrosión es el mayor consumidos de acero en el mundo, ya que aproximadamente el 20% de la producción mundial de hierro y acero se pierde con la corrosión.

En el mundo la corrosión representa entre el 1% y el 5% del PIB de los países del mundo y es más alta para los no industrializados. En el 2012, Colombia tuvo un PIB de USD 321,5 mil millones, la corrosión llegó a representar el 4% del PIB, más o menos USD 13 mil millones al año.<sup>11</sup>

### 3.6.3 Tipos de corrosión

La corrosión se puede presentar en formas muy diferentes. La clasificación se basa generalmente en tres factores:

- Naturaleza del corrosivo: La corrosión puede ser clasificada como " húmeda " o "seca". La primera puede formarse a causa de un líquido o una humedad, y la corrosión seca usualmente se da por la reacción del material con gases a alta temperatura.
- Mecanismo de corrosión: Se trata de cualquiera de las reacciones químicas o electroquímicas directas.
- Apariencia del metal corroído: La corrosión se genera de forma uniforme y en el metal se corroe a la misma velocidad en toda la superficie, o en algunos casos, se puede localizar en solo zonas pequeñas áreas que se llegan a ver afectadas.

También se pueden clasificar según el aspecto, que es particularmente útil en el análisis de fallos, este se basa en la identificación de formas de corrosión por observación visual, ya sea a simple vista o mediante ampliación por medio de instrumentos. La morfología de ataque es la base para la clasificación. Ocho formas de corrosión húmeda (o acuosa) se pueden identificar con base en la apariencia del metal corroído, Estos son:

- Corrosión uniforme o general
- La corrosión por picaduras
- Corrosión de la grieta , incluyendo la corrosión bajo tubérculos o depósitos , corrosión filiforme y corrosión cataplasma
- La corrosión galvánica

---

<sup>11</sup> 1<sup>er</sup> seminario de galvanizado en caliente: Corrosión una amenaza silenciosa. En: Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI): Cámara de Fedemetal [En línea]. (2013)  
<[http://www.andi.com.co/Archivos/file/Fedemetal/CONGRESO\\_GALVANIZADO/TallerFormativodeGalvanizacionporInmersionenCaliente-Modulo%204..pdf](http://www.andi.com.co/Archivos/file/Fedemetal/CONGRESO_GALVANIZADO/TallerFormativodeGalvanizacionporInmersionenCaliente-Modulo%204..pdf)>

- La erosión -corrosión, incluyendo la erosión por cavitación y corrosión de contacto
- La corrosión intergranular , incluyendo la sensibilización y la exfoliación
- Dealloying , incluyendo la pérdida de zinc y la corrosión de grafito
- Ambientalmente asistida grietas, incluyendo el agrietamiento por tensión de corrosión , fatiga corrosión y los daños de hidrógeno

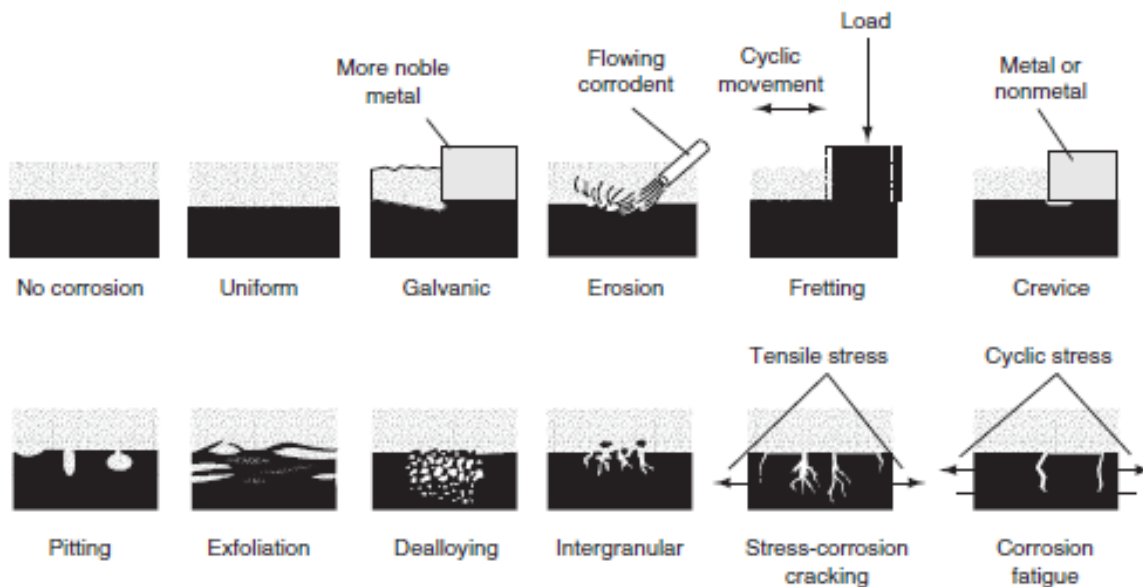


Figura 5 Ilustración esquemática de las formas más comunes de corrosión

### 3.7 LEY TAFEL

La observación y el establecimiento de la relación existente entre la corriente y el potencial del electrodo datan ya casi un siglo, desde que Tafel, en 1905, dedujo de manera teórica, para la reacción de reducción del protón, la ecuación de polarización de un electrodo reversiblemente polarizable, en el cual se desarrolla un sistema casi reversible. Esta ley se expresa por las relaciones siguientes:

- Para una reacción anódica ( $i > 0$ ):  

$$\eta_a = a + b \log i \quad (b > 0)$$
- Para una reducción catódica ( $i < 0$ ):  

$$\eta_a = a' + b' \log |i| \quad (b' > 0)$$

En coordenadas semi-logarítmicas, estas relaciones se representan de la figura 6:

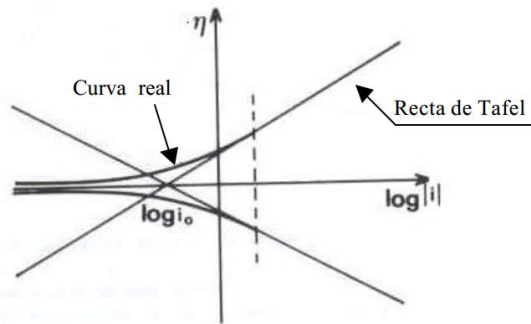


Figura 6 Rectas de Tafel

Estas fórmulas son válidas solamente para una corriente  $i$  suficientemente grande, es decir para un sistema bastante grande, es decir para un sistema bastante alejado del equilibrio. Lo que es evidente, puesto que se debe obtener a  $i=0$  un sobre potencial  $\eta = 0$  y no  $\eta = \pm\infty$  como lo indicaría la ley de Tafel.

Si las reacciones anódicas y catódicas consideradas son las dos reacciones inversas de un mismo sistema casi reversible, las dos rectas de Tafel se cruzan sobre el eje de las abscisas para una densidad de corriente  $i_0$ . Se tiene entonces:

$$-\frac{a}{b} = -\frac{a'}{b'} = \log i_0$$

Con las mismas coordenadas semi-logarítmicas, la curva de la polarización real está constituida de dos ramas, una anódica y otra catódica, siendo cada una asíntota de la recta de Tafel correspondiente.

En coordenadas ordinarias, las curvas de Tafel anódicas y catódicas para un mismo sistema tiene la forma representada en la figura 7:

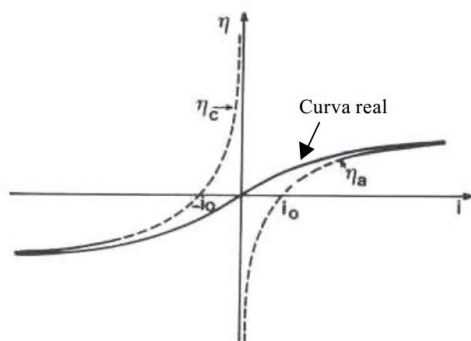


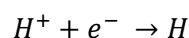
Figura 7 Curvas de la ley de Tafel

Esta ley de Tafel tiene un papel importante en electroquímica y es en la búsqueda de su justificación teórica que se han podido encontrar las hipótesis correctas para el mecanismo de una reacción electroquímica

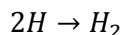
El razonamiento que sugirió Tafel para la interpretación de la reacción de reducción del protón fue el siguiente:

La formación del hidrogeno 2 etapas:

- Una etapa electroquímica



- Una etapa química



Cada una de estas etapas tiene su propia velocidad y en el caso general, las dos velocidades intervienen para fijar la velocidad del proceso global. Es lo que se llama un régimen cinético mixto. En este caso, se muestra en cinética general que el proceso global tiende hacia un régimen estacionario donde las velocidades de las dos etapas son iguales, es decir, en donde la concentración de los átomos de H en la superficie ya no varía. Este régimen se alcanza teóricamente a un tiempo infinito.<sup>12</sup>

Sin embargo, si una de las etapas es mucha más rápida que la otra, el proceso correspondiente alcanza inmediatamente su estado de equilibrio y es el otro proceso el que impone su velocidad a la reacción global (Proceso limitante). Se dice que el régimen

<sup>12</sup> MEAS, Yunny. En Técnicas electroquímicas de corriente directa para la determinación de la velocidad de corrosión: Técnicas electroquímicas para la medición de la velocidad de corrosión. En : UNAM, laboratorio de corrosión (En línea). < <http://depa.fquim.unam.mx/labcorr/libro/Teoriacorrosion.PDF>> (Citado 8 de mayo de 2014)



cinético es puro y el estado estacionario está alcanzando desde el inicio de la reacción electroquímica.

#### 4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la propuesta se seguirán las siguientes actividades:

- Identificar todos los conocimientos previos que tendrán que ser aplicados para el desarrollo del proyecto, tanto en el área de metalografía, tratamientos térmicos, normatividad y corrosión en aceros.
- Compra de material (Acero 1045).
- Preparación de probetas según normatividad para el ensayo de corrosión.
- Tratamiento térmico a la probeta.
- Realizar ensayo de corrosión a las probetas.
- Realizar pruebas metalográficas a las probetas previamente corroídas.
- Toma de datos estadísticos.
- Evaluación y comparación de las características del acero 1045 corroído.

## 5. CRONOGRAMA

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																
ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Búsqueda de información	■	■	■													
Trabajo de campo			■	■	■											
Compra y alistamiento de probetas						■	■									
Prueba de corrosión								■								
Prueba metalográficas									■	■						
Toma de datos específicos							■	■	■	■						
Análisis de datos											■	■				
Comparación de resultados													■	■		
Realización de trabajo escrito											■	■	■	■	■	■

## 6. PRESUPUESTO

Los materiales, pruebas, e insumos que se van a usar en este proyecto están mostrados en la siguiente tabla con su respectivo precio.

Los autores de la propuesta financiarán los materiales, para lo cual se cuenta con un presupuesto de \$400.000 pesos para el desarrollo del proyecto, los cuales se dividirán en la compra de insumos, realización de pruebas e impresiones del documento.

PRESUPUESTO					
INSUMOS					
ITEM	UNIDAD	Nº. DE UNIDADES	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL	FINANCIACIÓN
Probetas de acero 1045	Probeta	12	\$ 4.000	\$ 48.000	Recursos Propios
Prueba de corrosión	Ensayo	1	\$ 200.000	\$ 200.000	Recursos Propios
Transportes	Tiquete a Tunja	4	\$ 15.000	\$ 60.000	Recursos Propios
Fotocopias	Hoja	50	\$ 50	\$ 2.500	Recursos Propios
Impresión Documento Final	Hoja	120	\$ 100	\$ 12.000	Recursos Propios
Encuadernación	Bello Bind	2	\$ 2.500	\$ 5.000	Recursos Propios
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 327.500</b>	
<b>Imprevistos 10% del TOTAL</b>				<b>\$ 32.750</b>	
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 360.250</b>	

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAVIS, J.R. Corrosion: Understanding the basics. Ohio: ASM international, 2000. 574 p.
- UNIVERSIA COLOMBIA. Más de 26 mil millones de pesos pierde la industria colombiana debido a la corrosión de materiales. En: UNIVERSIA ( 29 de septiembre de 2013). Disponible en < <http://noticias.universia.net.co/actualidad/noticia/2013/08/29/1045848/mas-26-mil-millones-pesos-pierde-industria-colombiana-debido-corrosion-materiales.html> > (citado en 24 de abril de 2014)
- WALTERS, Nicholas. Press Releases: March 2014 crude Steel production En : Worldsteel Association ( 22 de Abril de 2014). Disponible en < <http://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2014/March-2014-crude-steel-production-.html> > [citado en 24 de abril de 2014]
- APRAIZ BARREIRO. José. Tratamientos térmicos de los aceros. Octava edición. Madrid – España: Dossat S.A. 1984.
- SHACKELFORD. James F. Ciencia de materiales para ingenieros. Tercera edición. México D.F: Prentice Hall. 1995.
- Cia. General de Aceros S.A. SAE 1020 Y SAE 1045 aceros ingeniería al carbono. Bogotá, 2007, 6p. Disponible en el catálogo en línea de la empresa Cia. General de Aceros S.A: <[http://www.cga.com.co/index2.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=14&Itemid=376](http://www.cga.com.co/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=14&Itemid=376) >
- PEREZ PATIÑO, Juan. Tratamientos térmicos de los aceros. Monterrey, 1996, 76h. Trabajo de grado (Postgrado). Universidad Autónoma de Nueva León. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad Autónoma de Nueva León <http://eprints.uanl.mx/1326/1/1020115008.PDF>
- BELZUNCE, F.J. Aceros y funciones: Estructuras, transformaciones, tratamientos térmicos y aplicaciones. Oviedo. Universidad de Oviedo, 2001. 203p
- 1<sup>er</sup> seminario de galvanizado en caliente: Corrosión una amenaza silenciosa. En: Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI): Cámara de Fedemetal [En línea]. (2013) <[http://www.andi.com.co/Archivos/file/Fedemetal/CONGRESO\\_GALVANIZADO/TallerFormativodeGalvanizacionporInmersionenCaliente-Modulo%204..pdf](http://www.andi.com.co/Archivos/file/Fedemetal/CONGRESO_GALVANIZADO/TallerFormativodeGalvanizacionporInmersionenCaliente-Modulo%204..pdf)>
- MEAS, Yunny. En Técnicas electroquímicas de corriente directa para la determinación de la velocidad de corrosión: Técnicas electroquímicas para la

medición de la velocidad de corrosión. En : UNAM, laboratorio de corrosión (En línea). < <http://depa.fquim.unam.mx/labcorr/libro/Teoriacorrosion.PDF>> (Citado 8 de mayo de 2014)

- CALLISTER. William D. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Volumen 1. Tercera edición. Barcelona - España: Reverté S.A. 1996.
- MOLERA SOLÁ. Pedro. Tratamientos térmicos de los metales. Primera edición. Barcelona - España. Editorial Marcombo S.A. 1991.