

Ingeniería UC

Universidad de Carabobo

farteaga20@gmail.com

ISSN (Versión impresa): 1316-6832

VENEZUELA

2005

Félix R. Moreno F. / Wilman J. Salazar C. / Laura A. Sáenz P.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO A LA FATIGA EN ACEROS

AISI 4340 Y AISI 4140 TRATADOS TÉRMICAMENTE CON RECOCIDOS Y  
NORMALIZADOS

*Ingeniería UC*, diciembre, año/vol. 12, número 003

Universidad de Carabobo

Valencia, Venezuela

pp. 40-45

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Universidad Autónoma del Estado de México

<http://redalyc.uaemex.mx>



# Evaluación del comportamiento mecánico a la fatiga en aceros AISI 4340 y AISI 4140 tratados térmicamente con recocidos y normalizados

**Félix R. Moreno F., Wilman J. Salazar C. y Laura A. Sáenz P.<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones en Mecánica

Email: lsaenz@uc.edu.ve

## Resumen

En este trabajo se estudia el comportamiento a fatiga de aceros al carbono (AISI 4140 y AISI 4340). Los ensayos de fatiga se realizaron en condiciones de flexión rotativa. Se utilizaron barras calibradas de media pulgada de diámetro (1/2") y las probetas fueron maquinadas de acuerdo a la norma ASTM-E-606. Las muestras poseen entallas en V, y se dividieron en tres series utilizando 16 probetas para cada condición. Las condiciones utilizadas son: condición original, y condiciones tratadas térmicamente por recocido y normalizado. Las propiedades mecánicas de esfuerzo de fluencia y resistencia a la tracción fueron determinadas acorde con la norma ASTM A-370. La relación entre el esfuerzo alternante y el número de ciclos de vida del material se determinaron con una expresión conocida como la ley de Basquin. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis de algunas superficies de fractura de las muestras rotas, por la técnica de microscopía electrónica de barrido (MEB). Los resultados indican que los dos aceros aumentaron su resistencia a la fatiga con el tratamiento térmico normalizado al ser comparados con la condición original, sin embargo con el recocido se obtuvo una disminución de los valores de resistencia a la tracción, resistencia a la fatiga y dureza. Finalmente, el estudio de las superficies de fractura de las muestras de fatiga demuestra que los mecanismos de fractura son facetas de clivaje y coalescencia de cavidades.

**Palabras Clave:** Aceros AISI 4140 y AISI 4340, comportamiento a fatiga, recocido y normalizado.

## Evaluation of the mechanic fatigue behavior on AISI 4340 and AISI 4140 steels thermal treated

### Abstract

In this work the fatigue behaviour of carbon steels (AISI 4140 AND 4340) has been evaluated. The fatigue tests have been performed in rotative- flexion conditions. The tests were provided by the manufacture as calibrated bars of approximately ½ " diameter and were machined according to the ASTM E-606. The samples were notched in V and divided in three series of 16 samples. The conditions are: original condition, and recovery and normalized treatment. The mechanical properties of the samples evaluated were ultime tensile strength and yield strength according to the ASTM A-370. The relation between the alternative and cycles number of life of material has determined with the expression denominated Basquin law. Additionally, the characterization of the fracture surfaces was realized in the broken samples in the fatigue tests applying the technique of scanning electronic microscopy (SEM). The results showed that the two steels increased the strength fatigue when normalized treatment was used, but reduced the strength when recovery treatment was applied when the two steels are compared with the original condition. Finally, the study of the fracture surfaces of the fatigue samples determined that the fracture mechanics were facets cleavages and coalescence dimples.

**Keywords:** Carbon steel AISI 4140 and AISI 4340, fatigue behavior, recovery treatment and normalized treatment.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde el año de 1850, se ha conocido que un metal sometido a esfuerzos fluctuantes o repetitivos fallará a un esfuerzo mucho menor que el requerido

por causa de fractura de una simple aplicación de carga. Las fallas ocurren bajo condiciones de carga dinámica las cuales son llamadas fallas por fatiga, posiblemente se ha observado que dichas fallas solo ocurren

después que dichas fallas solo ocurren después de un periodo considerable de servicio. Por mucho tiempo se presumió que la fatiga era debida a la cristalización del metal, pero esto no podía ser considerado como cierto ya que un material se cristaliza desde el momento de la solidificación de la fundición. De hecho, no hay cambio obvio radical en la estructura de un metal que ha fallado por fatiga, lo cual nos sirve como pista para entender las razones de las fallas por fatiga. La fatiga ha llegado a ser progresivamente una herramienta base en el desarrollo tecnológico de equipos y maquinarias como automóviles, compresores, bombas, turbinas, etc., sujetos a cargas y vibraciones repetidas. Hoy en día, las fallas por fatiga comprenden por lo menos el 90 % de todas las fallas de servicio debido a causas mecánicas [1].

En relación a los trabajos previos realizados en esta área, Mariño y Ortiz) [2] estudiaron el comportamiento a fatiga y corrosión-fatiga de un acero SAE 4140 recubierto con un depósito de Cromo duro. Todas las muestras fueron recubiertas hasta un espesor de 6mm y los depósitos fueron hechos a partir de una solución convencional de ácido crómico. Para la condición de corrosión-fatiga del metal base, se produjo una disminución que varió entre 81% y 92% respecto al material base ensayado al aire. Para la condición de corrosión fatiga del material recubierto se encontró una disminución de hasta un 90 % respecto al material recubierto ensayado al aire. El estudio fractográfico en MEB reveló una buena adherencia del recubrimiento y formación de múltiples inicios de grietas de fatiga, las cuales, indican que aparentemente el recubrimiento actuó como un concentrador de esfuerzo alrededor de toda la probeta, incidiendo muy probablemente en la disminución de la resistencia a la fatiga del material.

Christ y otros [3] se enfocaron en el efecto del esfuerzo medio a altas temperaturas en condiciones de fatiga de un acero SAE 1045. Como consecuencia de la disminución brusca de la amplitud de deformación plástica, un máximo de la vida cíclica podría ser observado a una temperatura cercana a la de 325 °C en las pruebas cuyos esfuerzos medios varían desde -80 MPa hasta 60 MPa, mostraron que un esfuerzo medio positivo generalmente aumenta la amplitud de deformación plástica y reduce el número de ciclos al cual el material falla, y viceversa.

Oliveira y otros [4] determinaron las propiedades de la corrosión fatiga de un acero 4340 recubierto de una aleación Colmoy 88, aplicada por medio de un roceador térmico a alta velocidad. La resistencia a la fatiga de un sustrato no recubierto ensayado en una solución (NaCl) se encontró que es mucho menor que la resistencia de una ensayado en aire, y si este substrato se recubre con aleación de Colomoy 88, la resistencia a la corrosión fatiga incrementa satisfactoriamente.

Este y otros [5] estudiaron el comportamiento a fatiga de aceros de bajo carbono se determinó que la resistencia a la fatiga y el límite de fatiga incrementa a medida que aumenta el porcentaje de carbono, además se observó la superficie de fractura de las muestras rotas de fatiga por microscopía electrónica de barrido, se determinó que el mecanismo de fractura es mixto por coalescencia de cavidades con presencia de hoyuelos y facetas de clivaje, con presencia de grietas primarias y secundarias.

En tal sentido la presente investigación ha sido realizada con la finalidad de presentar cual es el comportamiento mecánico a fatiga de dos aceros AISI 4140 y AISI 4340 sometidos a tratamientos térmicos de recocido y normalizado.

## **2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

### **2.1. Material**

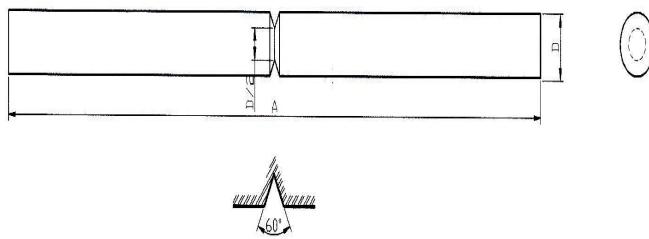
El material usado esta compuesto por dos aceros el AISI 4140 y el AISI 4340 la cual fue suministrada por el fabricante en forma de barras cilíndricas de media (1/2") pulgada de diámetro. En la Tabla 1 se muestra la composición química de los aceros en función de su % en peso.

Tabla 1. Composición química de los aceros AISI 4140 y AISI 4340 (% en peso).

% Peso Elementos	% C	%Mn	% Cr	% Mo	%Ni	% Si
<b>AISI 4140</b>	0,40	0,70	1,1	0,2	-	0,30
<b>AISI 4340</b>	0,34	0,50	1,5	0,2	1,5	0,30

## 2.2. Ensayos Mecánicos

Los ensayos de tracción fueron realizados en la maquina universal marca Galdabini, modelo CTM20 con una capacidad máxima de 200.000 N, se utilizaron tres probetas para cada condición de ensayo, el diseño de las probetas fue acorde con la norma ASTM A- 370, para poder determinar la resistencia máxima del material en sus tres condiciones: original, recocido a 815 °C para el acero 4140, y 610 °C para el acero 4340 y normalizado a 900 °C para los dos aceros. Se realizaron ensayos de fatiga en la maquina de fatiga modelo RBF- 200HT por Flexión rotativa, para cada nivel de esfuerzo se realizaron cuatro ensayos de fatiga en condiciones de ambiente normal, la velocidad de giro fue 3000 r.p.m. y los esfuerzos se ubicaron en un rango de 225 MPa a 449 MPa para el acero AISI 4140, y de 225 MPa a 539 MPa para el acero AISI 4340. El diseño de las probetas es mostrado en la Figura 1.



A = 200mm D = 12,7mm y R = 1mm (Radio de curvatura del entalle)

Figura 1. Dimensiones de la probeta de Fatiga (según especificaciones del fabricante)

## 2.3. Resultados y Discusión

Las propiedades mecánicas del material son mostradas en la Tabla 2 para los dos aceros estudiados y en todas las condiciones tratadas. Para el acero AISI 4140 se observa que la ductilidad aumenta en la condición de recocido al ser comparada con la condición original, pero disminuye con el normalizado al ser comparado con la condición original este comportamiento del material era de esperar ya que el recocido provoca un alivio de tensiones en el material blandiéndolo mientras que el normalizado refina el tamaño de grano provocando un endurecimiento del mismo este comportamiento es confirmado por el

aumento de resistencia mecánica que se observa cuando se normaliza el material, mientras que la resistencia disminuye cuando se recose el material. Para el acero AISI 4340 tenemos igual comportamiento de las propiedades de resistencia mecánica ( $S_{máx}$  y  $S_{rup}$ ) y ductilidad % RA y % e).

Tabla 2. Propiedades Mecánicas de los aceros AISI 4140 y AISI 4340.

Acero AISI	Condi-ción	% e	% RA	Fmáx (N)	Smax (MPa)	Frup (N)	Srup (Mpa)
4140	Original	19,52	33,44	64.967	1.118	55.841	1.445
	Recocido	20,30	57,33	43.447	748	32.131	1.297
	Normali-zado	17,76	24,29	68.654	1.182	62.465	1.421
4340	Original	19,04	31,20	67.369	1.160	58.548	1.464
	Recocido	24,14	54,74	54.421	937	38.099	1.451
	Normali-zado	13,62	27,64	70.890	1.220	64.164	1.526

La Figura 2 ilustra las curvas correspondientes de vida de fatiga en función del esfuerzo alterante aplicado, denominadas curvas S-N. Los resultados de la curva S-N indican que los dos aceros aumentaron su resistencia a la fatiga con el tratamiento térmico normalizado al ser comparados con la condición original, sin embargo con el tratamiento de recocido realizado a pesar de ser de alivio de tensiones afecta enormemente la resistencia a la fatiga, para ambos aceros la curva S-N esta por debajo de la condición original y muy por debajo de la condición de normalizado.

La relación entre el esfuerzo alterante y el número de ciclos de vida del material se determinaron con una expresión conocida como la ley de Basquin, la cual es expresada por medio de la ecuación parámetrica simple de la forma siguiente:

$$\sigma = \sigma_f \left( 2 N_f \right)^b = A N_f^b \quad (1)$$

donde,  $\sigma_f$  representa el coeficiente de resistencia a la fatiga, el cual es aproximadamente igual al esfuerzo real a la fractura y  $b$  representa el exponente de fatiga.

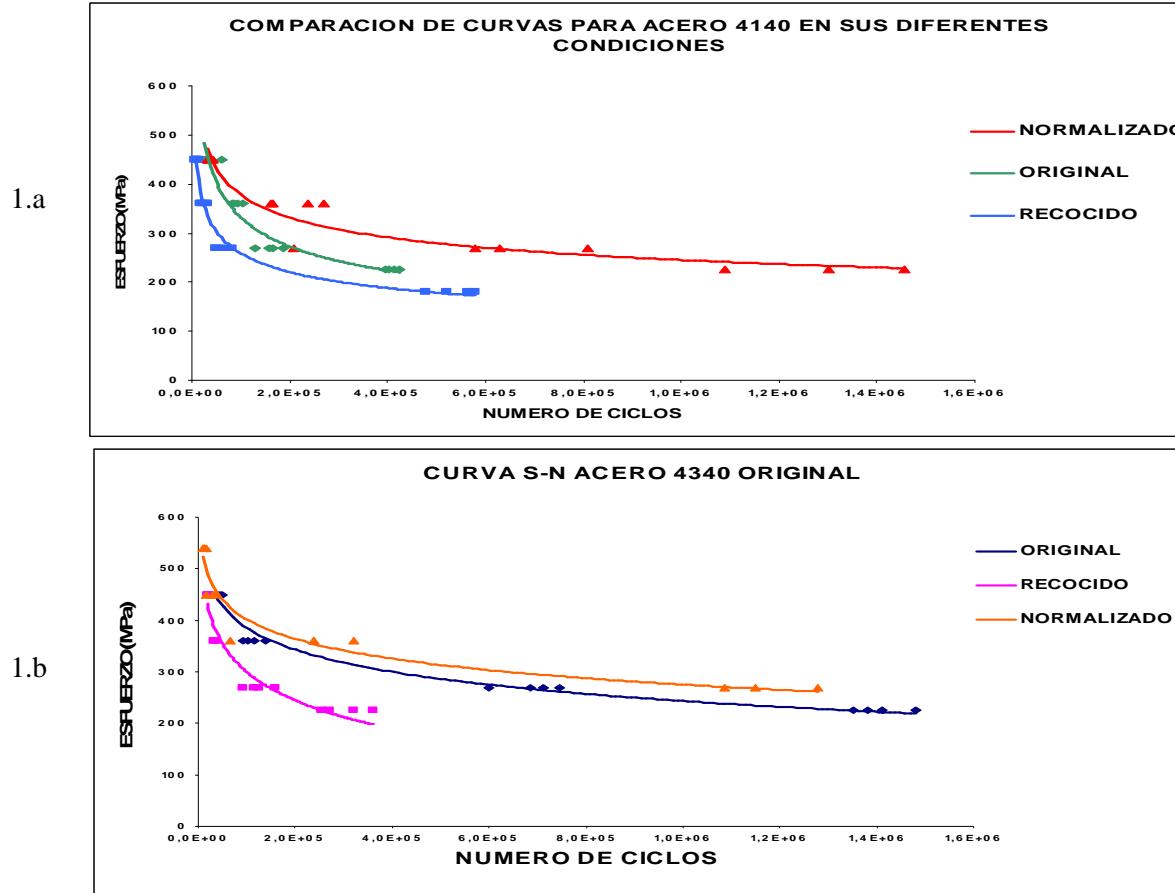


Figura 2 Curva de fatiga para los aceros AISI 4140 y AISI 4340 en las tres condiciones del material.

La Tabla 3 presenta los valores de los parámetros A y b de la ecuación de Basquin que se obtuvieron a partir de los datos experimentales. Además el acero AISI 4340 presentó mejor resistencia a la fatiga que el acero AISI 4140 debido a la presencia de níquel dentro de su composición química.

Tabla 3. Parámetros A y b de la ecuación de Basquin de los aceros AISI ensayados en distintas condiciones.

Aceros AISI	Condición	A, MPa	b	R <sup>2</sup>
4140	Original	54,66	-0,2962	0,9747
	Recocida	35,87	-0,2338	0,9844
	Normalizada	35,81	-0,2002	0,9836
4340	Original	34,38	-0,1919	0,9916
	Recocida	41,57	-0,2532	0,9818
	Normalizada	27,99	-0,1484	0,9863

Se llevó a cabo un análisis de algunas superficies fractura de las muestras ensayadas, por microscopía electrónica de barrido (MEB) con un equipo Philips serie XL 30 con la finalidad de caracte-

rizar el mecanismo de fractura por fatiga a cada condición.

El estudio de las superficies de fractura de las muestras de fatiga demuestra que los mecanismos de fractura fueron mixtos como se observa en la Figura 3a, formados por facetas de clivaje y coalescencia de cavidades en la Figura 3b se observa el inicio de las grietas partiendo de la entalla y sentido radial de la entalla al corazón de la probeta, se observa que el inicio de la grieta partió de un defecto del maquinado de la entalla.

En la Figura 4a se observa la superficie de fractura para el acero 4140 en su condición Recocido con esfuerzo 449,44 MPa y 38.200 ciclos y acero 4140 original con esfuerzo 224,72 MPa y 403.300 ciclos denotando un mecanismo de fractura frágil formado por facetas de clivaje. En la Figura 4b se observa el inicio de las grietas mucho más pronunciado que en caso anterior e igualmente con sentido radial.

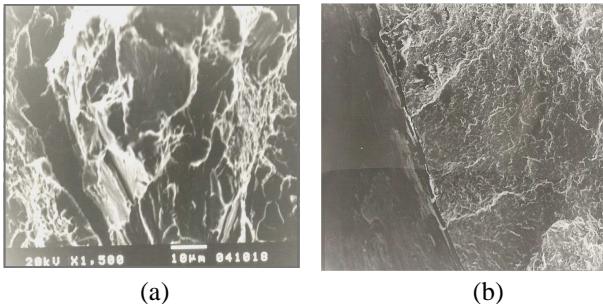


Figura 3. a) Detalle de la superficie de fractura del Acero 4140 condición original (Esfuerzo 449,44 MPa y 38.200 ciclos) y b) Inicio de grieta del Acero 4140 condición original (Esfuerzo 224,72 MPa y 403.300 ciclos).

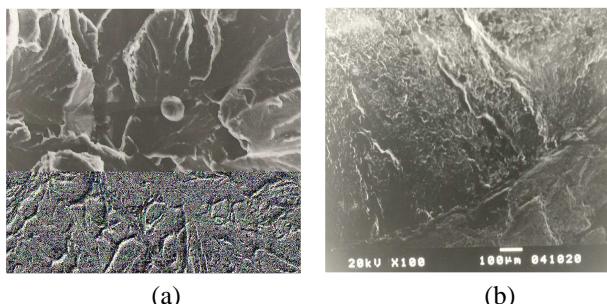


Figura 4. a) Detalle de la superficie de fractura del Acero 4140 recocido, (Esfuerzo 449,44 MPa y 11.700 ciclos) y b) Inicio de grieta del Acero 4140 recocido (Esfuerzo 269,66 MPa y 69.200 ciclos).

En la Figura 5a se muestra el acero 4140 normalizado con esfuerzo 449,44 MPa y 38.500 ciclos se observa un mecanismo completamente dúctil formado por coalescencia de cavidades y presencia e una inclusión mientras que en la Figura 5b se presenta el acero 4140 normalizado con esfuerzo 449,44 MPa y 38.500 ciclos, denotando un crecimiento lento de grieta partiendo de la entalla con defecto en el maquinado.

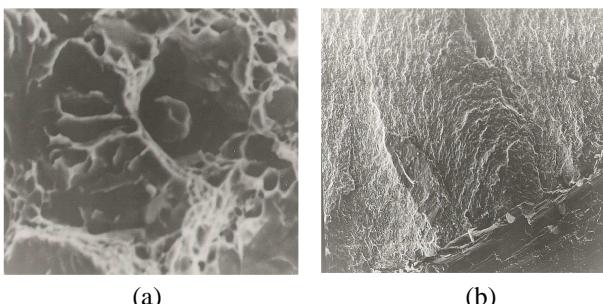


Figura 5. a) Detalle de la superficie de fractura del Acero 4140 normalizado (Esfuerzo 449,44 MPa y 38.500 ciclos) y, b) Inicio de grieta del Acero 4140 normalizado (Esfuerzo 449,44 MPa y 38.500 ciclos).

En la Figura 6a, se muestra un detalle de la superficie de fractura del acero AISI 4340 en su condición original con esfuerzo de 449,44 MPa y 46.200 ciclos, el mecanismo de fractura es mixto formado por facetas de clivaje con pequeñas redes de hoyuelos, mientras que en la Figura 6b se observa el inicio de grieta, partiendo de la entalla.

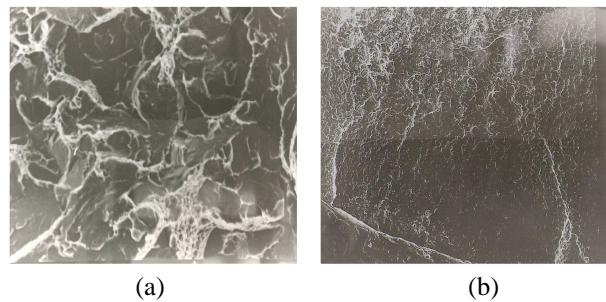


Figura 6. a) Detalle de la superficie de fractura del Acero 4340 original (Esfuerzo 449,44 MPa y 46.200 ciclos), y b) Inicio de grieta del Acero 4340 original (Esfuerzo 449,44 MPa y 46.200 ciclos)

En la Figura 7a se observa un detalle de la superficie de fractura del hacer AISI 4340 en su condición de recocido con esfuerzo de 449,44 MPa y 22.000 ciclos con mecanismo de factura mixto formado por facetas de clivaje y hoyuelos, mientras que en la Figura 7b se observa el inicio de la grieta para la misma condición.

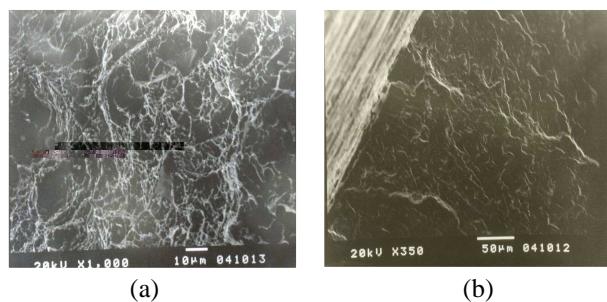


Figura 7. a) Detalle de la superficie de fractura del Acero 4340 recocido (Esfuerzo 449,44 MPa y 22.000 ciclos) y, b) Inicio de grieta del Acero 4340 recocido (Esfuerzo 449,44 MPa y 22.000 ciclos)

La Figura 8a corresponde a la condición del acero 4340 normalizado con esfuerzo de 359,55 MPa y 239.200 ciclos, el detalle de la superficie de fractura muestra un mecanismo mixto con redes de hoyuelos y facetas de clivaje mientras que en la Figura 8b. se observa el inicio de la grieta tipo radial.

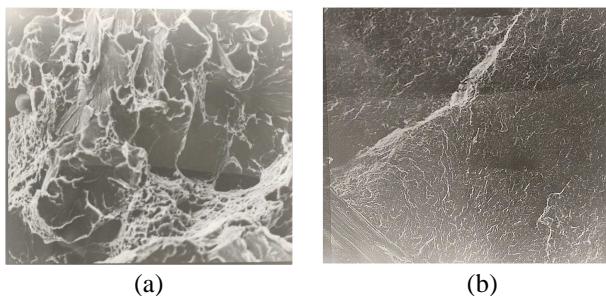


Figura 8. a) Detalle de la superficie de fractura del Acero 4340 normalizado (Esfuerzo 359,55 MPa y 239.200 ciclos) y, b) Inicio de grieta del Acero 4340 normalizado (Esfuerzo 359,55 MPa y 239.200 ciclos)

### 3. CONCLUSIONES

Al evaluar el efecto de los tratamientos térmicos de recocido y normalizado realizado sobre los aceros AISI 4140 Y AISI 4340, a través de ensayos de fatiga, ensayos de tracción y evaluación de las superficies de fracturas de las muestras rotas de fatiga se determinó:

- Los exponentes A y n de fatiga de la ecuación de Basquin.
- El tratamiento de normalizado aumento la resistencia a la fatiga en los dos aceros AISI 4140 y AISI 4340.
- El tratamiento de recocido realizado fue del tipo alivio de tensiones el cual provocó una disminución notable de la resistencia a la fatiga de ambos aceros.
- El mecanismo de fractura para ambos aceros recocidos fue frágil denotado por clivaje, mientras que para los aceros normalizados fue mixto formado por hoyuelos y clivaje.

### REFERENCIAS

- [1] Dieter, George. Mechanical Metallurgy Estados Unidos. Mc Graw Hill New York, 1984.
- [2] Mariño C. y Ortiz M. Estudio de Fatiga y Corrosión fatiga de un acero SAE 4140 recubierto con un deposito de Cromo duro. Trabajo de grado no publicado. Universidad central de Venezuela, caracas 2001.
- [3] Chirt et al Efecto del esfuerzo medio en el comportamiento a fatiga a altas temperaturas del acero

SAE 1045. Materials Science and Engineering. (A234-236), 382-385. 1997.

- [4] Oliveira y otros. Propiedades de la corrosión fatiga de un acero 4340 recubierto con una aleación Collomoy 88 aplicado por un roceador térmico HVOF. Surface and Coatings Technology 140), p.p. 128-135. 2001.
- [5] Este, P. y Sáenz, L. Evaluación de la Resistencia a la Fatiga y Límite a Fatiga de Aceros de Medio y Bajo Carbono. Revista INGENIERÍA UC, p.p. 69-75, Vol. 11 N<sup>a</sup> 1, abril 2004.