

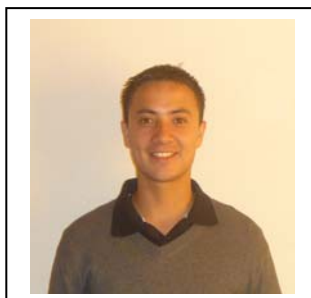


Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

Título del trabajo de grado: Influencia del porcentaje de carbono en la resistencia a la fatiga y límite de fatiga en los aceros de la serie SAE 10XX.

Proponente:



Nombre (s):	Héctor Giovanni
Apellido (s):	Cruz Velásquez
Código:	20101275011
e-mail:	giovannicruz45@gmail.com
Teléfono:	8 12 21 07
Celular:	313 801 39 65

Modalidad del Trabajo de Grado¹: (marque con una X)	Pasantía	
	Formación Avanzada	
	Asistencia Académica	
	Monografía	
	Investigación	X
Línea de Investigación de Facultad: (marque con una X)	Creación o emprendimiento	
	Apoyo Tecnológico Empresarial	
	Optimización de Procesos	
Línea de Investigación Proyecto Curricular:	Desarrollo Tecnológico Local e Institucional	
	Termofluidos	

¹ Acuerdo N°15 de 2010 (Consejo Académico), artículo 2.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

(marque con una X)	Materiales y Procesos	
	Diseño Mecánico	
	Automatización Industrial	
	Educación Tecnológica	
	Otra (¿cuál?):	
Grupo de investigación: (marque con una X)	Diseño de ingeniería DISING	
	Energías alternativas GIEAUD	
	Otro (¿cuál?):	
Semillero de Investigación: (marque con una X)	Progreso en Materiales de Ingeniería PEMI	
	Energías alternativas SEA	
	Mecánica Computacional SIMEC	
	Otro (¿Cuál?):	

1. Resumen:

Los aceros dulces son los aceros que son aleados exclusivamente con carbón, estos tienen una amplia aplicación en la industria actual debido a sus bajos costos y variedad de propiedades que se obtienen de acuerdo a su composición química.

La fatiga en los materiales o falla por daño acumulativo como se le denomina en algunos textos, es causada cuando el material es sometido a esfuerzos y deformación unitaria cíclicos. Desde 1860 se estudia la fatiga como un proceso de agrietamiento paulatino en el que una pequeña fisura aumenta gradualmente en el interior de la pieza hasta hacerla fallar de forma Se aplicará la norma ASTM-A-370, la cual especifica el método y medidas en el maquinado para realizar los ensayos de resistencia a la fatiga. El proyecto se realizará utilizando los laboratorios de resistencia de materiales y mecanizado ubicados en la facultad tecnológica de la universidad Distrital Francisco José de Caldas. De cada referencia de aceros dulces, se maquinarán las probetas con las cuales se harán las diferentes pruebas de fatiga, para un mejor análisis de los resultados se realizarán también ensayos de resistencia a la tensión. Para que sea más preciso el resultado se realizarán cinco pruebas con cada material y carga.

Los materiales utilizados en las prácticas serán adquiridos en la compañía general de aceros, esto con el fin de realizar las pruebas en materiales comerciales y así conseguir que los ensayos sean empleados en aceros con los cuales se tendrá una aplicación real. Las probetas serán todas maquinadas de la misma manera con el fin de descartar la implicación que tendría una diferente rugosidad en el resultado final. No se someterán los materiales a temperaturas elevadas que puedan afectar su estructura cristalina cambiando la dureza y demás propiedades de los materiales descartando también la influencia de los tratamientos térmicos en el resultado final.

Con los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la fatiga en todos los materiales pertinentes a la presente tesis, se realizarán análisis gráficos con los cuales se evidenciará si

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

existe alguna relación entre la composición química y la resistencia a la fatiga. Es importante también aplicar métodos estadísticos que permitan analizar los datos obtenidos experimentalmente, un dato importante es establecer si la varianza y desviación estándar de los resultados es muy alta, con esto se establecerá que tan cercanos son los datos a la media y como varía esto de acuerdo al material.

2. Estado del arte:

Debido al impacto que ha producido las fallas en los materiales a nivel mundial, han sido variadas las investigaciones y adelantos que se han realizado sobre la fatiga de los aceros, a continuación se resumen algunos trabajos de grado y publicaciones científicas que han abordado y evaluado el tema desde distintos ámbitos.

En la publicación de la universidad del norte² se hace énfasis sobre cómo a pesar de que la ingeniería ya ha resuelto el problema de la falla en elementos sometidos a cargas estáticas no ocurre lo mismo en los materiales sometidos a cargas dinámicas, en los cuales se producen fallas muy por debajo de los límites de fallas estáticas, ya que las cargas fluctuantes generan microfisuras al interior del material, en esta publicación se mencionan también los factores más importantes que influyen, contribuyen y aceleran el mecanismo de fatiga, se describen a continuación.

- Los factores que inciden directamente sobre la elevación local de los esfuerzos, por lo tanto el inicio de la fatiga son normalmente de tipo geométrico, mecánico, metalúrgico, de tamaño y ambiental.
- En los factores geométricos se encuentran los cambios bruscos de sección, aristas vivas, filos, cambios de radio sin redondeo, que se traducen en concentradores de esfuerzos.
- En los sistemas mecánicos se pueden encontrar sobrecargas, tensiones residuales, tipos de cargas no apropiadas como las producidas por desbalanceo, vibraciones, impactos, etc. Que podrían llevar al agrietamiento prematuro de las piezas.
- Los factores metalúrgicos, en los que el autor hace énfasis en tres niveles, el primero de tipo estructural inherente al tipo de material como el de los sólidos policristalinos en los cuales se encuentra aleatorio la orientación de los planos atómicos, esto hace que varíe la resistencia entre granos o entre cristales propiciando la generación de microfisuras en aquellos puntos de menor resistencia. El segundo nivel es el aspecto estructural debido al procesamiento del material, ya que poros, inclusiones de otro material, cavidades de contracción pueden servir de concentradores de tensiones. El tercer nivel es debido a las heterogeneidades de tipo estructural o químico, el cambio de tamaño de grano y de fase, el ensamble de las partes o el servicio pueden dar lugar a alteraciones en las propiedades del material.
- El tamaño es un factor importante ya que bajo los mismos esfuerzos pero dos materiales diferentes que tengan medidas también diferentes, aumenta la posibilidad de encontrar fallas estructurales en aquel de mayores dimensiones.

² BALSEIRO, José Wilches. La fatiga: Principal causa de falla de los elementos mecánicos. Barranquilla, Colombia. Universidad del Norte, departamento de ingeniería y Desarrollo, 1995. 1:48-50,1995.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

- El ambiente influye de manera directa sobre el material ya que corrosiones, abrasiones y demás pueden cambiar las propiedades del material.

Siempre será posible aumentar la resistencia a la fatiga si se tienen en cuenta los factores mencionados. Es por ello que se han realizado algunas investigaciones, por ejemplo la investigación de los ingenieros Pedro Este y Laura Sáenz³ en donde se tiene en cuenta los factores metalúrgicos ya que analizan como se comportan los aceros de bajo y medio carbón a la fatiga, Esta publicación científica es la que más se aproxima temáticamente al trabajo de grado del presente documento, en esta investigación se toman tres aceros al carbón los cuales son AISI 1020, AISI 1030 Y AISI 1045. En donde se hacen pruebas de resistencia y se comparan los resultados de los diferentes aceros.

El método de estudio empieza caracterizando los diferentes materiales de acuerdo a la composición química de estos, de acuerdo a la información obtenida del fabricante. Posteriormente se hacen observaciones micro estructurales para determinar la configuración del grano. De acuerdo a la norma ASTM A 370, se fabrican las probetas para las pruebas de fatiga, luego se hacen las pruebas de fatiga y se grafican los datos obtenidos.

Como conclusión se estableció que a mayor cantidad de carbono en el acero existe una mayor resistencia a la fatiga. También se concluyó 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. Además se observó una gran cantidad de porosidades debido a la pobre desgasificación durante la fabricación, lo cual indujo a que los resultados de las pruebas estuvieran por debajo de lo establecido por el fabricante.

Retomando la publicación del profesor José Wilches Balseiro², analiza también los factores geométricos que influyen en la fatiga, el describe que las rugosidades entre otras cosas, implican concentradores de esfuerzos en el material, en la investigación realizado por el profesor Jhon J. Coronado⁴, se estudia cómo influye el acabado superficial en la resistencia a la fatiga en el acero SAE 1045 bajo cuatro diferentes condiciones superficiales, como son, pulido, chorreado con partículas de arena, partículas de alúmina y de acero.

En los experimentos se determinó la granulometría media de la arena, alúmina y acero por medio de tamizado y luego fueron expuestas las probetas ha chorreado con estas partículas bajo la misma boquilla y la presión de aire adecuada a cada tipo de material.

Se determina que las rugosidades obtenidas por los diferentes rociados están acordes con lo recomendado por la "American Welding Society". Posteriormente se determinan las propiedades físicas de resistencia mecánica en el acero SAE 1045. Luego de realizar pruebas

3 ESTE, Pedro y SÁENZ, Laura, Evaluación de la resistencia a la fatiga y límite de fatiga en los aceros de, medio y bajo carbón (on line), Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 2004, consultado desde <http://redalyc.uaemex.mx/>. ISSN1316-6832.

4 CORONADO, Jhon J, Efecto de la preparación superficial y aplicación de recubrimiento en la resistencia del acero SAE1045 (on line), Universidad Tecnológica de Pereira, 2007, consultado desde <http://redalyc.uaemex.mx/>. ISSN0122-1701.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

de fatiga al material sometido al tratamiento superficial se realizan análisis fractográficos para indagar sobre el inicio de y dispersión de las grietas, también se realiza micro análisis químico de las zonas de falla.

Se determina que el rociado por arena o también llamado “sand blasting” es el proceso que más favorece en fatiga al material, el chorreado por alúmina también mejora estas propiedades, pero el chorreado con partículas de acero deterioran el acabado superficial creando concentradores de esfuerzos y desmejorando la resistencia a la fatiga

A partir de esta investigación se comprueba que en los procesos de preparación superficial no se deben reciclar las partículas de abrasión, ya que al fracturarse generan partículas con puntas agudas lo que conlleva a la creación de severos concentradores de esfuerzos y por lo tanto al detrimento en la resistencia a la fatiga del material sometido al tratamiento superficial.

En tesis doctoral de la ingeniera María Del Mar Toledano Prados⁵ se tienen presente que el método de fabricación también influyen en la resistencia de fatiga, este estudio tuvo por objeto el análisis del comportamiento de alambres fisurados de acero perlítico hipoeutectoide con distinto grado de trefilado en procesos de fatiga (crecimiento subcrítico de fisuras) y fractura (propagación crítica de fisuras) bajo sollicitaciones de tracción en dirección axial.

Este documento parte caracterizando físicamente los materiales de acuerdo al grado de trefilado, Luego realiza un examen macroscópico de las superficies de rotura que permite comprobar cómo los aceros con menor grado de trefilado, la fractura tiene lugar en modo I, y a partir de un estado de trefilado intermedio la fractura se produce en modo mixto. Comparando estos resultados con los valores de tenacidad obtenidos se comprueba que el criterio de fractura adoptado se presenta como un método sensible a la transición en el modo de fractura. Desde el punto de vista microscópico, la extensión de la zona de fractura dúctil por crecimiento y coalescencia de microhuecos es función creciente del grado de trefilado cuando la fractura se produce en el crecimiento sub crítico de fisura. En el caso de fracturas en modo mixto, la extensión de la zona de microhuecos se ve interrumpida por la aparición del escalón de propagación a 90°.

En la Tesis se realizó un estudio sobre la propagación de fisuras por fatiga (régimen subcrítico) y fractura (régimen crítico) en acero de pretensado, así como en los materiales que constituyen los escalones intermedios del proceso de fabricación. Para la obtención de acero de pretensado se parte de un alambro laminado en caliente (acero inicial sin trefilar) al cual se le somete a un proceso de trefilado progresivo pasando por diversas hileras en las cuales su diámetro disminuye y su límite elástico aumenta debido a un mecanismo de endurecimiento por deformación. Así pues, el producto final es un material de alta resistencia, muy adecuado para su empleo en hormigón pretensado dada su capacidad para trabajar en régimen elástico a niveles tensionales elevados. El grado de trefilado (o nivel de endurecimiento por deformación) se considera la variable fundamental para elucidar las consecuencias del proceso

5 TOLEDANO PRADOS, María Del Mar, Fatiga y fractura de aceros perlíticos con distinto grado de trefilado. Tesis de doctorado, La Coruña, España. . Universidad de La Coruña, Departamento ciencia de materiales, 1998. 142 p.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

de fabricación en el posterior comportamiento en servicio del acero.

Este estudio se centró en dos puntos importantes de la falla por fatiga como es el periodo subcrítico o propagación y de grietas que no han ocasionado una falla catastrófica en el material y por otra parte se analiza la propagación crítica de grietas es decir las que conllevan a una falla súbita del material.

Mediante ensayos cíclicos de fatiga en probetas cilíndricas entalladas y la observación posterior por microscopía electrónica de las superficies fisuradas, se estudio el crecimiento subcrítico de fisuras en los aceros con distinto grado de trefilado, analizando la tasa de crecimiento de la fisura (da/dN) en función de intervalo de oscilación del factor de intensidad de tensiones. Los resultados han conducido a las siguientes conclusiones:

1. Los cambios microestructurales producidos por el trefilado (orientación de las colonias de perlita así como de las láminas de ferrita y cementita en la dirección del trefilado) mejoran el comportamiento de los alambres en fatiga, aumentando la resistencia a la propagación de la fisura. Además, independientemente del grado de trefilado, el avance de la fisura se produce en un plano transversal al eje del alambre (perpendicular a la dirección de sollicitación), lo cual implica que la propagación es siempre en modo I.
2. El análisis de las fractografías ha permitido establecer una clara diferencia entre la propagación de la fisura en las regiones II (o región de Paris con crecimiento subcrítico) y III (próximo a la fractura o cuasi-crítico). Al fisurar con valores intermedios de OK el aspecto de la superficie de fatiga es de estrías alargadas y orientadas en la dirección de avance de la fisura, mientras que en la región III, de rápido crecimiento de la fisura, el aspecto de la superficie es mucho más abrupto, por lo que se les denomina superficies de desgarró. La única diferencia que se observa en las superficies de fatiga entre los distintos aceros se produce en la región II para tasas de crecimiento muy bajas (próximo a la región I). En estos casos según avanza el trefilado las estrías de fatiga están menos definidas, aunque existe una orientación mucho más clara en la dirección de avance de la fisura, provocada por la orientación de los planos cristalográficos asociados a las colonias de perlita.

Para analizar el comportamiento en fractura (propagación crítica de la fisura) de los aceros con distinto grado de trefilado se han realizado ensayos de tracción axial sobre muestras fisuradas. Aplicando las herramientas de la Mecánica de la Fractura elástico-lineal se ha evaluado la tenacidad de fractura utilizando distintas expresiones para el factor de intensidad de tensiones. La observación posterior por microscopía electrónica de las superficies fisuradas ha permitido analizar en detalle el micro-mecanismo por el que se produce la rotura. Las conclusiones a las que se ha llegado son las siguientes:

1. Los resultados experimentales muestran que el trefilado progresivo afecta claramente al comportamiento en fractura del acero, de forma que los aceros fuertemente trefilados exhiben anisotropía resistente, con un cambio en la dirección de propagación con respecto a la dirección inicial (perpendicular al eje del alambre) para aproximarse a la propia

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

dirección del trefilado, lo que significa que la propagación de la fisura pasa de ser en modo I a producirse en modo mixto con fuerte componente de modo II.

2. A nivel microscópico, las diferencias en topografía de fractura de un acero a otro son claramente apreciables con una transición progresiva desde clivaje a microhuecos (con facetas aisladas de clivaje) entre los extremos del proceso de trefilado (alambón y acero de pretensado). En los aceros no trefilados o débilmente trefilados (AO y AI) la rotura se produce por clivaje a partir de la fisura de fatiga. En los medianamente trefilados (A2 y A3) aparece una región de microhuecos de profundidad $\times 3$ y a continuación clivaje. En los aceros con un grado de trefilado intermedio/alto (A4, AS y A6) se produce, a una distancia $\times 5$ de la fisura de fatiga, un escalón a 90° que delimita las zonas de propagación de la fisura en modo I y en modo mixto, con topografías de fractura de microhuecos y microhuecos con clivaje respectivamente.
3. La existencia en los aceros fuertemente trefilados de pseudocolonias perlíticas con una esbeltez excesiva, alineadas en dirección del trefilado (eje del alambre) y con un espaciado interlaminar (local) anómalo hace de estas pseudocolonias zonas preferenciales de fractura de mínima resistencia y posiblemente responsables del escalón a 90° . Además el hecho de que la frecuencia de aparición de las citadas pseudocolonias perlíticas aumente con el trefilado puede explicar el que la distancia $\times 5$ entre la fisura de fatiga y el escalón a 90° disminuya al aumentar el grado de trefilado en el acero (hasta que en el acero de pretensado esta distancia se hace cero).

Por otra parte, en la universidad politécnica de Cataluña se desarrolló una investigación⁶ acerca de cómo por medio de los esfuerzos mecánicos se modifica la estructura cristalina de los aceros inoxidables austeníticos y cómo afecta esta modificación su resistencia a la fatiga.

Los aceros inoxidables austeníticos meta estables son usados en gran medida por su excelente ductilidad, pero su gran desventaja es la dificultad para predecir la respuesta mecánica. A pesar de ello son muy usados en la industria ya sea automotriz, arquitectónica, entre otros.

Para mejorar su resistencia mecánica se transforma la austenita en martensita, en este caso no se desea hacer este cambio de fase por medios térmicos con el fin de no cambiar otros componentes de estructura y para que sea lo más uniforme posible la estructura, es por eso que los especímenes que serán sometidos a prueba de fatiga, primero se someterán a deformación plástica torsional, ya que con esta deformación se producirá el cambio de fase deseado, es decir se modificara la austenita en martensita.

Como conclusión se determina que el cambio de fase no afecta en gran medida la resistencia a la fatiga de los aceros inoxidables austeníticos metaestables, pero que después de la deformación plástica a lo que son sometido los especímenes estos cambian su rugosidad y este hecho si afecta seriamente la resistencia a la fatiga de los mencionados aceros.

⁶ G. FARGAS et al. High Cycle Fatigue of Metastable Austenitic Stainless Steels (on line), Universidad politécnica de Cataluña. Barcelona, España, 2008. Consultado desde (<http://iopscience.iop.org/1757-899X/5/1/012008>).

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

3. Formulación del problema:

En la actualidad existe una gran demanda y aplicaciones de los aceros al carbón incluyendo los crecientes usos en la ingeniería, lo que genera la necesidad de un conocimiento más profundo de dichos materiales.

Es de gran dificultad seleccionar aceros para aplicaciones que contengan cargas cíclicas, debido a que no es fácil encontrar una comparación entre los diferentes tipos de aceros al carbón incluidos los de la serie SAE 10XX, además, no existe información acerca de la precisión de los datos hallados experimentalmente, es decir que no se han aplicado métodos estadísticos que permitan dar una mayor confiabilidad a la selección los aceros.

Con lo anterior se demuestra la necesidad de aplicar la estadística a los datos experimentales para así tratar de caracterizar estos aceros de una manera diferente. Ya que no se tiene conocimiento cuantitativo de la repetitividad de las pruebas de resistencia a la fatiga en cada referencia de los aceros a tratar en la presente tesis.

4. Justificación:

Como lo demuestra José Wilches Balseiro. En su publicación "*La fatiga: Principal causa de falla de los elementos mecánicos*", la ciencia ha resuelto el problema de la falla bajo cargas estáticas, pero en el caso de las cargas dinámicas es necesario profundizar aun más para llegar a resolverlas de manera efectiva.

Debido a la amplia aplicabilidad que poseen los aceros al carbón y que la falla por fatiga es la mas común, existe la necesidad de generar y profundizar el conocimiento acerca del comportamiento de estos aceros bajo cargas cíclicas, esto generará avances tanto tecnológicos como académicos ya que por medios experimentales se logrará una mejor comprensión del fenómeno de resistencia a la fatiga y por métodos matemáticos se evaluara si es posible caracterizar mejor los aceros al carbón.

No se ha encontrado registro de que se halla hecho una caracterización aplicando la desviación estándar de la resistencia a la fatiga en los diferentes tipos de aceros, esto es algo que enriquecería de gran manera la ingeniería ya que permite dar un grado de confiabilidad mayor al diseño de cualquier pieza elaborada con aceros al carbón sometidos a cargas fluctuantes y genera la posibilidad de caracterizar de una nueva manera los aceros empleados en la tesis

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

5. Objetivos generales y específicos:

5.1. Objetivo general

- Determinar la Influencia del porcentaje de carbono en la resistencia a la fatiga y límite de fatiga en los aceros de la serie SAE 10XX.

5.2. Objetivos específicos

- Adquirir y maquinar las probetas de acuerdo a la norma ASTM a370 para los ensayos propios de resistencia a la tensión y a la fatiga.
- Realizar pruebas de resistencia a la tensión y la fatiga para todos los aceros de la serie SAE 10XX.
- Determinar el límite y resistencia a la fatiga en cada una de las referencias de los aceros pertenecientes a la serie SAE 10XX.
- Establecer cómo afecta el porcentaje de carbón los datos estadísticos de varianza y desviación estándar en los aceros seleccionados.
- Graficar el comportamiento a la fatiga y el comportamiento de desviación estándar, y si es posible establecer una expresión matemática que vincule los resultados de la experimentación.

6. Metodología:

Para llegar a concluir el objetivo principal se procederá como lo describe el siguiente listado según el enumerado de los objetivos específicos.

- 1.1. Adquisición de aceros AISI 1005,1010, 1020,1045,1070, con los que se realizaran las pruebas.
- 1.2. Adquisición de norma ASTM a370.
- 1.3. Maquinado de las probetas para ensayos de resistencia a la tensión con cada tipo de acero,
- 1.4. Maquinado de probetas para ensayos de resistencia a la fatiga con cada tipo de acero, en el laboratorio de maquinas herramientas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en la facultad tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

- 2.1. Llevar a cabo tres pruebas de tensión a todas las referencias de aceros seleccionadas en el laboratorio de resistencia de materiales de la facultad tecnológica.
- 2.2. Llevar a cabo cinco pruebas de resistencia a la fatiga para todas las probetas de cada una de las referencias de aceros seleccionados.
- 3.1. Con los datos obtenidos de las pruebas de tensión y fatiga se determinará numéricamente el límite y resistencia a la fatiga para cada tipo de aceros.
- 3.2. Se elaborará la grafica que represente el comportamiento de la resistencia a la fatiga de cada una de las referencias de los aceros al carbón.
- 3.3. Comparar los datos de todos los aceros para evaluar el comportamiento según su porcentaje de carbón.
- 4.1. Con los datos recopilados de fatiga, determinar por medios matemáticos de estadística la varianza y desviación estándar entre los diferentes aceros con diferentes cargas.
- 4.2. Evaluar si existe alguna relación entre el porcentaje de carbono, la desviación estándar y varianza, para todas las cargas aplicadas en los ensayos.
- 5.1 Graficar y comparar el comportamiento a la fatiga de los aceros.
- 5.2 Graficar la posible relación existente entre la desviación estándar y el porcentaje de carbón.
- 5.3 Establecer una expresión matemática que relacione el comportamiento a la fatiga con el porcentaje de carbón, solo en el caso que esto sea posible.

Con el cumplimiento de todos los pasos anteriores se determinará la influencia que tiene el porcentaje de carbono en la resistencia a la fatiga de los aceros al carbón de la serie SAE 10XX, para pasar a la sustentación y entrega de la presente tesis.

7. Marco teórico:

En su mayoría, las fallas en los materiales se deben a cargas que varían y no a cargas estáticas, dichas fallas suelen presentarse con cargas muy por debajo del límite elástico del material. Es por esto que si se aplica al diseño y al análisis de los materiales teorías de fallas debido a cargas estáticas puede conllevar a diseños poco seguros frente a esfuerzos fluctuantes.

7.1. mecanismo de falla por fatiga

Toda falla por fatiga tienen sus inicios en una fisura, esta pudo haber siempre estado en el material o haberse creado como consecuencia de cargas alternantes cerca a concentradores de esfuerzos, lo que a su vez causa que las grietas se extiendan hasta el punto en que el material ha perdido tanta área transversal que falle por sobre esfuerzos. En otras palabras ciclos de esfuerzo o deformación repetidos causa que la estructura cristalina colapse y finalmente se fracture.

La fatiga se presenta en las siguientes tres etapas.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

- Iniciación de grietas

Un metal a escala microscópica tiene incrustaciones y una colección de partículas que hacen que el material a esta escala no sea homogéneo ni isotrópico. Lo que significa que el material contiene microfisuras, cuando el material es sometido a esfuerzo fluctuante, las fisuras actúan como concentrador de esfuerzo lo que ocasiona fluencia plástica que a su vez causa bandas de deslizamiento, a medida que los esfuerzos fluctúan aparecen más de estas bandas de deslizamiento que al acumularse ocasionan grietas. Este fenómeno aparece incluso en materiales lisos siempre y cuando se halla sometido alguna parte de la pieza a esfuerzos que lo excedan de su límite elástico

Es importante aclarar *“Los materiales menos dúctiles no tienen la misma capacidad de fluencia plástica y tenderán a generar grietas con mayor rapidez. Son más sensibles a las muescas. Los materiales frágiles como los fundidos que no tienen fluencia pueden pasar por alto esta etapa inicial y llegar directamente a la propagación de grietas”*⁷

- Propagación de grietas

Una vez establecida la microfisura se hacen aplicables los mecanismos de mecánica de fracturas, la grieta aguda provoca concentradores de esfuerzos superiores a los de la muesca original. Se crea una zona plástica en el extremo de la grieta cada vez que el esfuerzo la abre y por ser cíclico se abre poco a poco ya que momentáneamente el concentrador llega a un esfuerzo crítico que la propaga.

Se estima que la tasa de propagación de grietas es pequeño en el orden de 10^{-8} a 10^{-4} pulgadas por ciclo, pero, en un número alto de ciclos la grieta debilita tanto el material que finalmente falla.

- Fractura

En esta etapa el nivel elevado de ciclos en que se ha presentado tensión ha hecho crecer la grieta hasta el punto en que el tamaño de esta hace acrecentar la intensidad del esfuerzo K (ecuación 1), en el extremo de la grieta al nivel de la tenacidad a la fractura del material, por último en el siguiente ciclo de esfuerzo a tensión ocurre al instante la falla súbita.

$$K = \sigma_{nom} \sqrt{\pi a}$$

Ecuación 1.

Para la anterior ecuación tenemos aplica para grietas de lado a lado para una placa a tensión.

7 NORTON, Robert L. Diseño de máquinas, México D.F. traducción Gabriel Sánchez García. Editor Pablo E. Roig Vásquez. 1999, Pearson Educación, ISBN 970-17-0257-3. pág. 349.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

Como lo muestra la figura 1, pero si la parte esforzada cíclicamente esta en un entorno corrosivo, la grieta crecerá con mayor rapidez que como resultado de cualquiera de los factores solos, a lo que también se le conoce como fatiga por corrosión

Un examen a simple vista de las piezas falladas a la carga por fatiga tiene un patrón característico. Hay una región que emana de la micro grieta original, la cual parece como bruñida y otra región que da el aspecto de fractura frágil, a la primera se le denominan playas.

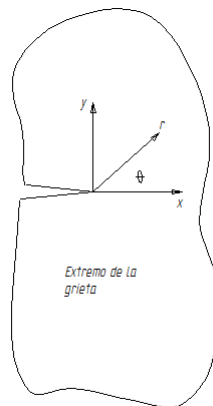


Figura 1 Grieta de Lado a Lado en placa a tensión

7.2. Modelos de falla por fatiga

- Procedimiento esfuerzo-vida (S-N)

Este es el más antiguo de los modelos, también es el más utilizado en para aplicaciones de fatiga de alto ciclaje en donde la pieza debe durar 10^3 ciclos bajo esfuerzo. Este es un modelo basado en el esfuerzo que busca determinar la resistencia a la fatiga y límite de fatiga para el material. La pieza debe ser diseñada para trabajar por debajo del límite de fatiga garantizando su durabilidad en el tiempo.

- Procedimiento deformación vida (ϵ -N)

Debido a que la iniciación de una grieta implica fluencia, un procedimiento con base en el esfuerzo no puede modelar de manera adecuada este proceso, cuando se modela en base a la deformación se obtienen datos certeros de la etapa de iniciación de grietas, Las combinaciones de cargas cíclicas y de altas temperaturas se pueden interpretar mejor por este método ya que interpreta mejor el efecto de la fluencia, también se aplica mas a procedimientos de bajo ciclaje y de vida finita, donde los esfuerzos son tan elevados que pueden causar fluencia plástica local. Es el uso más complicado de los modelos por fatiga ya que requiere solución por computadora. Es un método todavía en desarrollo.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

- Procedimiento de la mecánica de fracturas elásticas lineales LEFM

Las teorías de mecánica de fracturas proporcionan el mejor modelo de la etapa de propagación de grietas, Este método es usado en fatiga de bajo ciclaje, donde se sabe que los esfuerzos son lo suficientemente elevados como para producir grietas, y es muy útil para determinar la vida útil de piezas ya en servicio. Un procedimiento, a fin de empezar un cálculo, es suponer que ya hay una grieta aun más pequeña que la grieta más pequeña detectable. Da resultados más exactos cuando ya hay una grieta detectable y medible.

Entonces el método más aplicado es el de esfuerzo-vida, en este se determina mediante métodos experimentales el límite de fatiga, en donde bajo un numero de vida infinitos se tendrá una vida útil infinita para el material. La grafica que representa este límite es la siguiente.

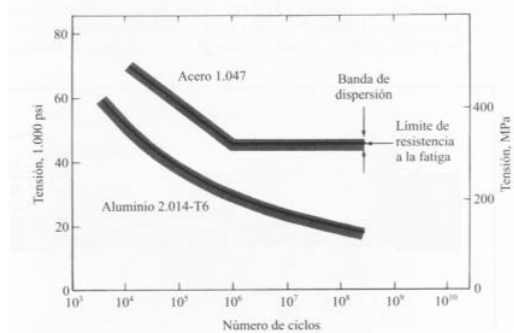


Figura 2. Grafica de esfuerzo-numero de ciclos
Tomado de R. C. Hibbeler⁸, Mecánica de materiales.

En la figura dos podemos observar que el acero 1047 tiene un límite de fatiga establecido que es aquella parte de la curva que tiende a ser horizontal, mientras que en metales como el aluminio no parece existir dicho limite aunque la pendiente tiende a ser menor con forme disminuye el esfuerzo.

⁸ HIBBELER, R. C. Mecánica de materiales. Traducción, José de la Cera Alonso, 6 ed. México D.E. 2006. Pearson Prentice Hall,. ISBN 970-26-0654-3, Pag. 112.

9. Presupuesto:

Tabla 1. Costos de insumos y laboratorios.

Insumo	unidad	Costo unitario (pesos mda cte.)	Cantidad	Costo (Pesos)	Fuente de Financiación
Fotocopias	Und.	50	500	25.000	Propia
Impresiones	Und.	100	500	50.000	Propia
Impresión de fotos	Und.	3.000	10	30.000	Propia
Norma ASTM a370	Und.	75.000	1	75.000	Propia
Escáner	Und.	500	20	10.000	Propia
Transportes	N.A	---	---	300.000	Propia
Internet	Hora	1.000	40	40.000	Propia
Edición	N.A	---	---	100.000	Propia
Laboratorios de maquinado	Hora	50.000	30	1`500.000	Universidad distrital Francisco José de Caldas
Laboratorios ensayos de tensión	Hora	300.000	10	3`000.000	Universidad distrital Francisco José de Caldas
Laboratorios Ensayos de fatiga	Hora	300.000	50	15`000.000	Universidad distrital Francisco José de Caldas
Sub total.				20`130.000	

Tabla 2. Costo de mano de obra e intelectual.

Persona	unidad	Costo unitario (pesos mda cte.)	Cantidad	Costo (Pesos)	Fuente de Financiación
Héctor Giovanni Cruz Velásquez	Hora	20.000	200	4`000.000	Propia
Asesor	Hora	60.000	20	1`200.000	Universidad distrital Francisco José de Caldas
Laboratoristas	Hora	20.000	20	400.000	Universidad distrital Francisco José de Caldas
Sub. Total				5`600.000	

- El costo estimado total de la tesis es de \$25`730.000 pesos colombianos moneda corriente.

10. Bibliografía:

BALSEIRO, José Wilches. La fatiga: Principal causa de falla de los elementos mecánicos. Barranquilla, Colombia. Universidad del Norte, departamento de ingeniería y Desarrollo, 1995. 1:48-50,1995.

CORONADO, Jhon J, Efecto de la preparación superficial y aplicación de recubrimiento en la resistencia del acero SAE1045 (on line), Universidad Tecnológica de Pereira, 2007, consultado desde <http://redalyc.uaemex.mx/>. ISSN0122-1701.

ESTE, Pedro y SÁENZ, Laura, Evaluación de la resistencia a la fatiga y límite de fatiga en los aceros de, medio y bajo carbón (on line), Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 2004, consultado desde <http://redalyc.uaemex.mx/>. ISSN1316-6832.

G. FARGAS et al. High Cycle Fatigue of Metastable Austenitic Stainless Steels (on line), Universidad politécnica de Cataluña. Barcelona, España, 2008. Consultado desde (<http://iopscience.iop.org/1757-899X/5/1/012008>).

HIBBELER, R. C. Mecánica de materiales. Traducción, José de la Cera Alonso, 6 ed. México D.E. 2006. Pearson Prentice Hall,. ISBN 970-26-0654-3, Pag. 112.

NORTON, Robert L., Diseño de maquinas, México D.F. traducción Gabriel Sánchez García. Editor Pablo E. Roig Vásquez. 1999, pearson educación, ISBN 970-17-0257-3. pág. 349.

TOLEDANO PRADOS, María Del Mar, Fatiga y fractura de aceros perlíticos con distinto grado de trefilado. Tesis de doctorado, La Coruña, España. . Universidad de La Coruña, Departamento ciencia de materiales, 1998. 142 p.