



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Análisis de Falla en Elementos de Sujeción

TESINA

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Luis Enrique Hernández Becerra

DIRECTOR DE TESINA

M.C. Jorge Luis Romero
Hernández



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022

Índice

Tablas.....	1
Figuras.....	2
Resumen	4
Introducción	4
Objetivo	5
Metodología del análisis de falla.	8
Modos de fallos.....	9
Importancia de los análisis de falla.....	15
Aceros usados en los tornillos.....	17
Esfuerzos en los tornillos	19
Tornillos con daño que inicia en la cuerda.....	24
Dureza	41
Análisis Químico	42
Conclusión.....	44
Bibliografía.....	46
Anexo	47
Propiedades de algunos tornillos estructurales.....	47
Designación ASTM A 490.....	48

Tablas

Tabla 1. Tipos de falla.....	21
Tabla 2. Dureza superficial escala Rockwell	41
Tabla 3. Dureza transversal tornillo sin fractura	41
Tabla 4. Dureza transversal fracturado No 2.....	41
Tabla 5. Dureza transversal fracturado No 5.....	41
Tabla 6. Parámetros de dureza A490.....	42
Tabla 7. Composición química de la muestra 1	42
Tabla 8. Designación AISI.....	43

Figuras

Figura 1	Modelo de Resolución de problemas.....	8
Figura 2	Circulo de fallos (interacción entre algunos modos de fallos).....	10
Figura 3	Identificación de los aceros	13
Figura 4	Falla dúctil a tensión.....	16
Figura 5	Falla dúctil a flexión (Mora & Martínez., 2011).....	16
Figura 6	Falla frágil a tensión (Mora & Martínez., 2011)	17
Figura 7	Frágil a flexión (Mora & Martínez., 2011).....	17
Figura 8	Fatiga a tensión (Mora & Martínez., 2011).....	18
Figura 9	Fatiga a flexión (Mora & Martínez., 2011).....	18
Figura 10	Tornillos Fracturados.....	19
Figura 11	Zona de fractura con marcas de corrosión	20
Figura 12	Corrosión en los tornillos	22
Figura 13	Marcas de Chevron	23
Figura 14	Tornillos de referencia.....	23
Figura 15	Análisis con líquidos penetrantes	24
Figura 16	Marcas de grietas en la cuerda	25
Figura 17	Presencia de micro grietas en la cuerda.....	26
Figura 18	:Fisuras en el tornillo	26
Figura 19	Microgrietas en la pared de la cuerda.....	27
Figura 20	Acercamiento 200x tornillo 5	28
Figura 21	Acercamiento 400x tornillo 2	29
Figura 22	Acercamiento 800x tornillo 2	30
Figura 23	: Acercamiento 50x vista trasversal y longitudinal tornillo 4	31
Figura 24	: Acercamiento400x corte longitudinal tornillo 4.....	31
Figura 25	Acercamiento 200x corte trasversal tornillo 5	32
Figura 26	Acercamiento 400x corte longitudinal tornillo 5.....	32

Figura 27	Acercamiento 400x corte transversal tornillo 5	33
Figura 28	Grietas tornillo 5 aumento 200x.....	34
Figura 29	tornillo sin fractura 1 acercamiento 100x transversal y 50x longitudinal	34
Figura 30	Tornillo sin fractura 1 corte longitudinal acercamiento 200x.....	34
Figura 31	Tornillo sin fractura 1 corte transversal acercamiento 400x	35
Figura 32	: Tornillo sin fractura 2 acercamiento 100x	35
Figura 33	Tornillo sin fractura 2 corte longitudinal	36
Figura 34	: Tornillo sin fractura 2 acercamiento corte transversal.....	36
Figura 35	Tornillo A 490 de buena calidad acercamiento 100x.....	37

Resumen

El contenido directo del presente trabajo menciona los procedimientos para encontrar las causas de la falla mecánica de un lote de tornillos de alta resistencia, así como los procesos mecánicos y químicos usados para llegar a las siguientes conclusiones la falla más probable fue causada por un conjunto de variables como lo fueron un mecanizado con fallas, una micro estructura con gran cantidad de compuestos ajenos que le dieron una naturaleza mecánica diferente a la esperada por la norma.

Introducción

Primeramente se hablara de los aspectos teóricos que están relacionados con las propiedades mecánicas y químicas de los aceros en forma general y no particular solo de los tornillos estudiados en este trabajo, sus distintas propiedades mecánicas y químicas que obtienen al estar en unión con otros elementos, después de este breviarío teórico se abordara de forma experimental el estudio de un lote de tornillos fracturados así como un lote que pertenece al mismo lote de los fracturados pero estos no fracturados, esto para comparar las características mecánicas y físicas del primer lote, en este espacio se aplicaron exámenes de dureza, de caracterización de fallas superficiales, así como decapado electrolítico y también un examen para conocer la composición química del material que se está estudiando.

Objetivo

Describir las fallas presentadas en dos lotes de tornillos y analizar los factores involucrados en las mismas. Lo anterior se realizará por medio de dos estrategias: 1) revisión bibliográfica y 2) pruebas físicas y químicas

Objetivos particulares

- Desarrollar investigación de gabinete sobre la teoría del análisis de falla orientada a los tornillos
- Realizar pruebas físicas y químicas para analizar el origen de las fallas en los tornillos, tales como: espectrometría de emisión óptica, microscopia electrónica de barrido utilizando detector de electrones secundarios (SE) y electrones retrodispersados (BSE), análisis de líquidos penetrantes, medición de dureza Rockwell.

Capítulo I

Análisis de falla

El estudio de las fallas de los elementos de sujeción es de gran interés para la industria mecánica, principalmente en el campo del diseño y la manufactura de piezas mecánicas. Dichos estudios aplican los principios físicos de la mecánica, la ciencia de los materiales, mecánica de sólidos, mecánica del medio continuo entre otros más, para las distintas piezas y elementos con las que se trabaja en la actualidad.

Además de máquinas con distintas aplicaciones en las distintas áreas de la industria como: la hidráulica, el transporte, la manufactura, la construcción, entre muchas otras. El objetivo de la ingeniería y de este tema en particular es brindar la solución de un problema dado, aplicando los conocimientos científicos para solucionarlo, es por esto que al conocer las condiciones que produjeron la falla, se puede prevenir futuras condiciones no esperadas.

Dentro de los procesos de manufactura, una de las ramas de estudio son las operaciones de ensamble, que cubre uniones permanentes y uniones mecánicas o no permanentes. Los tornillos, como elementos de ensamble, forman parte de las uniones mecánicas no permanentes y su configuración roscada permite el ensamble y desensamble con relativa facilidad. No obstante, su aplicación está sujeta a sollicitaciones, que muchas veces son combinadas, es decir, se presentan de manera simultánea esfuerzos torsionantes y de tensión, sin mencionar las cargas cíclicas que podrían llegar a estar presente en un mecanismo dado, además de que el ambiente de operación puede llegar a ser muy agresivo para estos elementos mecánicos, por lo que la susceptibilidad a fallas es muy elevada. Si bien los casos que se mencionan tienen que ver con la operación de los tornillos y las cargas asociadas, también están factores a considerar que tienen que ver con el material de los tornillos y el proceso de manufactura aplicado en su obtención, por lo que un Análisis de Falla resulta una herramienta de suma importancia para el correcto diseño, selección de materiales, manufactura y operación de este tipo de elementos roscados.

En el presente trabajo se muestra un conjunto de casos de falla en tornillos de alta resistencia y su respectivo análisis, es de gran interés el estudio de las causas por las que fallan las piezas de este tipo, para que los errores cometidos en su fabricación o diseño no se repitan, y puedan poner en riesgo la integridad de las personas

El estudio de las piezas que conforman una máquina o una estructura, está unida por piezas más pequeñas que se unen por tornillos, pernos, soldadura (MIG, TIG, arco eléctrico), la buena eficiencia de estos métodos de sujeción es esencial para la entereza de la estructura. Los tornillos y pernos son diseñados y manufacturados con distintos materiales y distintos procesos de manufactura que están

en función de las diferentes cargas a las que estará expuesto y los diferentes cambios químicos que sufrirá en el ambiente

El estudio de las fallas que se presentan al momento de la fabricación o después de un tiempo dado, que no es el tiempo de vida útil al que se diseñó la pieza, nos indica que hay cargas más grandes que no estaban consideradas al principio del diseño o que existan problemas en el proceso de fabricación, en ambos casos es de gran interés para el fabricante brindar un producto que cumpla con las normas establecidas para el buen funcionamiento en el área en el que se esté utilizando. El deterioro o la completa pérdida de una instalación, soporte o unión de varios componentes, causa un costo, que no se planifico.

La falla que sufrió dicha pieza se puede ver desde la inspección simple de una grieta o de un pandeo que pudo sufrir el tornillo. Las solicitaciones a las que se encuentran estas piezas muchas veces no es puntual, y su estudio se debe tratar desde la teoría de cargas dinámicas

Y así tener en cuenta en el futuro diseño de piezas los materiales más adecuados para su fabricación, y entonces realizar una decisión de diseño basada en la teoría y que se aplique en la práctica

Y que nos permita saber si dicho elemento de unión es ideal para un determinado rango de trabajo y de carga.

El Análisis de falla es un proceso de suma importancia que se realiza para conocer las causas físicas o químicas de los problemas que han conducido a una pérdida indeseada de funcionalidad completa o parcial de algún componente mecánico. Su complejidad se desarrolla en las distintas habilidades y la aplicación de distintas destrezas de observación, inspección y técnicas de laboratorio, así como utilizar los distintos recursos de la ingeniería para desarrollar una hipótesis de las causas de la falla en las piezas mecánicas.

El origen del proceso de análisis de falla se encuentra de rigurosa forma relacionada con el uso del método científico, que es un modelo investigativo para la creación de conocimiento y resolución de problemas, Para ser llamado científico, un método de investigación debe basarse en lo empírico y en la medición, y estar sujeto a los principios específicos de las pruebas de razonamiento, es decir usa un paradigma de pasos.

La importancia de estos métodos de identificación de problemas, se establecen con el espíritu de buscar la mejora continua con el fin de salvaguardar la vida y la integridad de las personas como razón principal, y al mismo tiempo también en un sentido económico para una buena salud financiera de la empresa que; desarrolle, manufacture, diseñe componentes o sistemas completos de ingeniería.

Al retroceder, mirar hacia atrás en los análisis de falla podemos decir que, aunque demos un paso atrás para poder explicar algún fenómeno, este nos hace avanzar al conocer las causas que ocasionaron la falla.

Definimos los pasos de la resolución de problemas como:

1. Identificar
2. Determinar la causa raíz
3. Desarrollar acciones correctivas
4. Validar y verificar las acciones correctivas
5. Estandarizar

Al integrar los casos anteriores en la solución de problemas de análisis de falla daremos respuesta a preguntas como: ¿Cuál es el problema? ¿Cuál es la causa raíz del problema? ¿Cuáles son las posibles soluciones? ¿Cuál es la mejor solución?

En la figura 1 vemos la interacción de la búsqueda de la falla

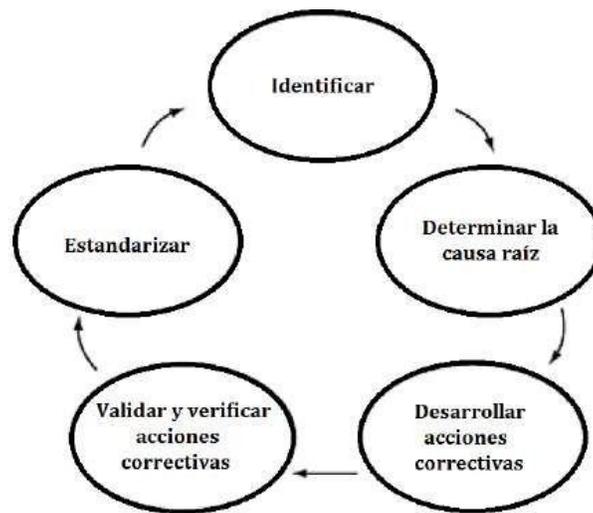


Figura 1 Modelo de Resolución de problemas

Metodología del análisis de falla.

El desarrollo de un correcto análisis de falla ha venido mejorando a través de los años, gracias a la experiencia que se ha ganado por parte de los ingenieros y científicos especializados en esta disciplina, tratando con los más complejos casos de estudio.

Es importante que el desarrollo de una metodología de trabajo sea estructurada para cumplir los objetivos y alcances del análisis, y contemple todas las posibles herramientas para la búsqueda de

una causa raíz de fallo, abarcando conocimientos multidisciplinarios en distintas áreas de la ingeniería.

Apoyándose de la observación, inspección, ensayos de laboratorio, cálculos y experiencia. Cada investigación es distinta por ende cada caso tendrá un alcance distinto, por ello obviar alguno de los pasos y variar el orden de ejecución en la práctica es correcto siempre y cuando la naturaleza del estudio lo permita. A continuación, se presentan dichos pasos para un correcto análisis de falla.

Pasos en el análisis.

1. Recopilación de la información.
2. Inspección visual.
3. Ensayos no destructivos.
4. Selección, identificación y limpieza de piezas críticas.
5. Examen y análisis macroscópico.
6. Fractografía.
7. Ensayo de dureza.
8. Determinación de propiedades mecánicas.
9. Examen metalográfico.
10. Análisis químico.
11. Rayos X..
12. Pruebas de simulación.
13. Consulta con expertos.
14. Informe de investigación.
15. Seguimiento de las recomendaciones.
16. Preservar evidencia.

Modos de fallos.

Son aquellas sollicitaciones que en acción simple o combinada actúan para producir un fallo en la pieza, al cual se le aplican durante su funcionamiento o reposo, estas sollicitaciones están en función de muchas variables como lo son la carga, el tiempo, el ambiente. Presento a continuación algunas de las fallas más comunes:

Deformación elástica	Cambio mecánico al que se encuentra un material durante la sollicitación, y su posterior
----------------------	--

	regreso a su forma inicial, al dejar de presentarse el esfuerzo
Formación de estrías	Puesto que el óxido suele ser mucho más duro que la superficie de la que procede, este termina actuando como un agente abrasivo que aumenta el desgaste por rozamiento y da lugar a la formación de estrías
Ruptura dúctil	sufre grandes deformaciones antes de romperse
Fracturas frágiles	se rompe sin apenas deformación

Fatiga de ciclo alto	el límite de carga, que puede soportar un material en carga cíclica sin mostrar signos de fatiga o de fallo significativos
Fatiga de ciclo bajo	En este rango, los materiales y componentes están sometidos a una carga tan elevada que durante el ciclo se producen deformaciones plásticas y se produce una rotura prematura del material.
Fatiga térmica	La fatiga térmica es el resultado de variaciones de temperatura y es lo contrario de fatiga a temperaturas elevadas que es causada por ciclos de deformaciones. Dos condiciones son necesarias para que ocurra fatiga térmica: a) la existencia de una forma de contracción mecánica y b) cambios de temperatura
Fatiga superficial	La fatiga superficial es un modo de fallo común en elementos sometidos a altas presiones de contacto y un alto número de ciclos. Elementos mecánicos característicos que pueden ser susceptibles de sufrir este tipo de daño son: rodamientos, engranaje
Fatiga de impacto	La fatiga de los materiales es un proceso de daño que se produce en los elementos mecánicos cuando se someten a cargas variables, incluso aunque estas sean varias veces inferiores a las que producirían la rotura ante una carga constante

Fatiga por corrosión	Tipo de corrosión en la cual los componentes metálicos de una estructura fallan debido a esfuerzos cíclicos aplicados en un ambiente corrosivo, tal como el agua salada
Fatiga por fricción	El desgaste por fricción se produce entre dos superficies en contacto con un roce cíclico constante de pequeña amplitud. Aparecen

	grietas por fatiga, que a menudo resultan en rupturas por fatiga debido a la fricción en los ejes y otros componentes altamente sometidos a tensión
--	---

Corrosión por ataque químico directo	existen sustancias corrosivas, o sea, capaces de producir la corrosión de los materiales con los que entren en contacto directo.
Corrosión galvanica	¿Qué provoca la corrosión galvánica? Se produce cuando dos elementos metálicos de diferente potencial eléctrico son conectados directamente entre sí con continuidad en presencia de un electrolito
Corrosión por rendija	es un fenómeno corrosivo que ocurre en espacios en los cuales el acceso del fluido con el que se está trabajado en el medio ve limitada su difusión
Corrosión por picadura	cuando la capa protectora de óxido de la superficie del acero inoxidable se rompe, permitiendo que el metal virgen que hay debajo se haga susceptible a la pérdida de electrones por oxidación en presencia de una solución acuosa corrosiva.
Corrosión intergranular	es un deterioro por corrosión localizada y/o adyacente a los límites de grano de una aleación. Bajo condiciones ordinarias, si un metal se corroe uniformemente, los límites de grano serán sólo ligeramente más reactivos que la matriz.
Lixiviación selectiva	también llamado separación y corrosión selectiva, es la corrosión adentro de alguna solución sólidaaleaciones, cuando en condiciones convenientes un componente de las aleaciones está preferencial lixiviado del material.
Corrosión por erosión	s una aceleración en la velocidad de corrosión de un metal debido al movimiento relativo de un fluido corrosivo y la superficie de un metal

Corrosión por cavitación	la cavitación arranca la capa de óxido (resultado de la pasivación) que cubre el metal y lo protege, de tal forma que entre esta zona (ánodo) y la que permanece pasivada (cubierta por óxido) se forma un par galvánico en el que el ánodo (el que se corroe)
Corrosión biológica	inducida por microorganismos (MIC), ocurre cuando cepas bacterianas específicas "colonizan" las superficies de los

	alcantarillados y producen ácido sulfúrico que "come" los materiales tales como concreto, acero y hierro fundido.
Corrosión por estres	un fenómeno que se produce en ciertos materiales debido a la acción conjunta de tensiones de tracción, un medio corrosivo y un acero susceptible a este tipo de corrosión. Este fenómeno se produce habitualmente en circuitos de refrigeración de moldes de estampación en caliente.

Desgaste adhesivo	Este desgaste es el segundo más común en la industria y ocurre cuando dos superficies sólidas se deslizan una sobre la otra bajo presión. El aspecto de la superficie desgastada será de ralladuras irregulares y superficiales
Desgaste abrasivo	se produce cuando una superficie dura y rugosa se desliza sobre una superficie que es relativamente más blanda
Desgaste corrosivo	cuando la superficie de la máquina es dañada por un ataque químico. El químico responsable de este desgaste corrosivo puede ser líquido o vapor, el cual se puede encontrar en plantas que mezclan o manejan sustancias ácidas o alcalinas muy fuertes
Desgaste por fatiga	tienen que ver con un fallo de las superficies en contacto. Después de un cierto período de operación, la microestructura superficial sufre microgrietas que debilitan su comportamiento

Fractura por impacto	cuando dos cuerpos sólidos colisionan entre sí con una gran velocidad relativa. Ocurren debido a las fuerzas que aparecen en las regiones de contacto entre las superficies de ambos cuerpos
Deformación por impacto	para los impactos a muy baja velocidad, es frecuente un comportamiento no lineal acusado de la estructura, con grandes desplazamientos

Desgaste por impacto	comprende dos amplios tipos de fenómenos de desgaste: el erosivo (partículas al azar) y el percusivo (impactos repetidos en un punto). La erosión puede ocurrir por chorros y flujos de partículas sólidas pequeñas transportadas por un fluido, en general aire o agua, o también por gotas líquidas
----------------------	---

Fatiga de impacto	Sometidos los cuerpos a solicitaciones repetidas causando daño en la superficie
-------------------	---

Choque térmico	El concepto de colapso térmico o choque térmico se refiere a la rotura de algún material al sufrir un cambio drástico de temperatura. Sucede cuando un material sólido se quiebra al someterse a un aumento o descenso de la temperatura
Pandeo	es un fenómeno llamado inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos, y, que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión.
Sobrecalentamiento a largo plazo	La transferencia de calor acumulada produce un cambio mecánico en la estructura del acero
Sobrecalentamiento a corto plazo	Un cambio repentino y de gran dimensión calienta y afecta la superficie de contacto
Relajación térmica	Usada en muchos casos para la aplicación de tratamientos térmicos y cambiar las propiedades mecánicas del material
Fluencia	Deformación que se produce en un período cuando un material está sometido a un esfuerzo constante y a temperatura constante. En los metales, la fluencia suele producirse únicamente a elevadas temperaturas.
Pandeo de arrastre	El pandeo es un fenómeno llamado inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos, y, que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión.

Ruptura por esfuerzo	En este tipo de pruebas podemos determinar la estimación de la capacidad de carga que tienen los materiales metálicos en función del tiempo, carga y temperatura.
Aprehensión	

Astillamiento	Es el efecto de desprendimiento de astillas en los aceros
Daño por radiación	produce ionización, excitación, desplazamiento atómico y cambios químicos en los materiales. Esto afectará sus propiedades notablemente, dependiendo de una serie de factores, como cantidad y tipo de radiación, energía, rapidez con que se

suministra y el tipo de material.

La figura 2 muestra la interacción entre los métodos de fallos más comunes.

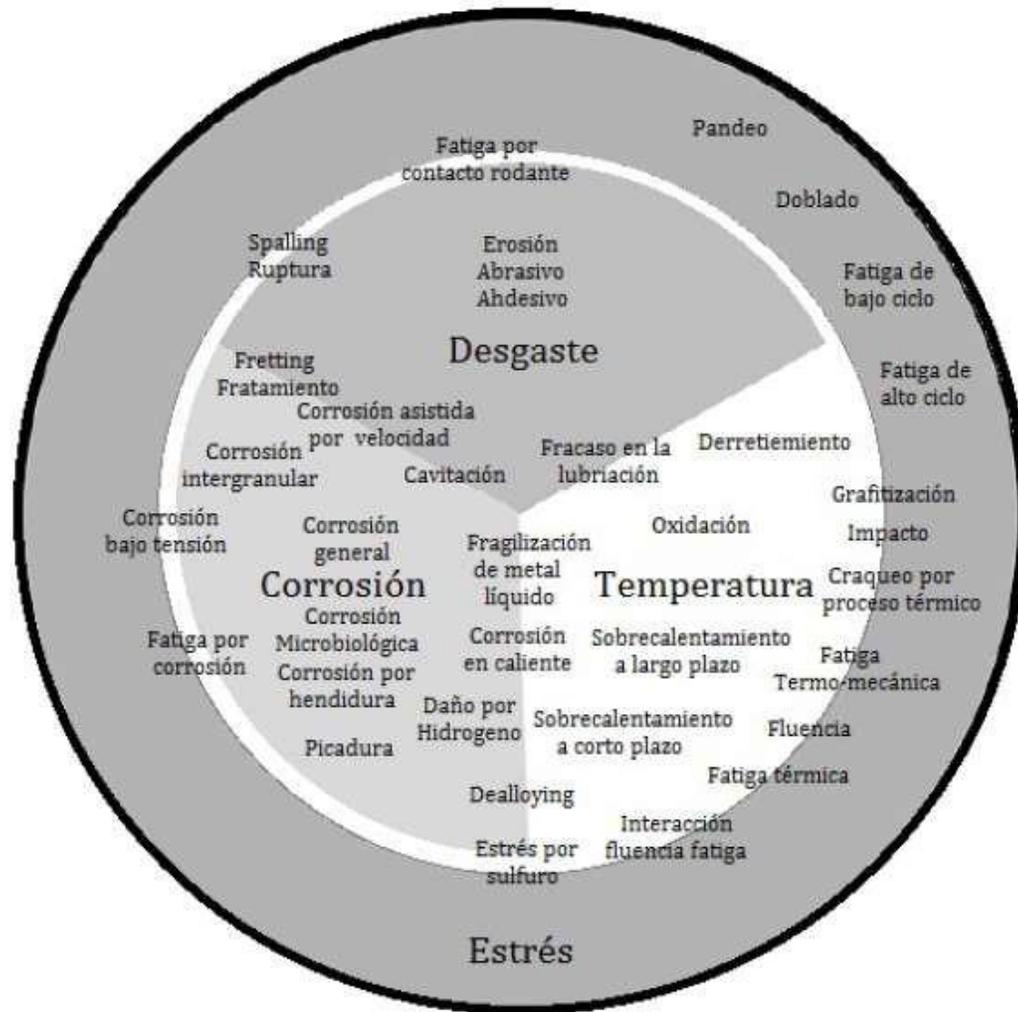


Figura 2 Circulo de fallos .

Importancia de los análisis de falla

Un elemento o conjunto de elementos de máquina se considera que han fallado cuando dejan de operar satisfactoriamente o cuando el hecho de seguirlos utilizando pueda provocar a futuro daños mayores. Por lo general, un análisis de falla se realiza para encontrar sus causas, establecer responsabilidades y lo más importante tomar medidas correctivas que prevengan la recurrencia.

Las fallas en componentes mecánicos se pueden dar por fractura, desgaste, corrosión, deformación plástica, combinaciones de estos, entre otros.

No existe una única metodología para abordar un análisis de falla, ya que ésta dependerá de si el enfoque del análisis es meramente técnico o si se deben considerar aspectos económicos, sobre todo cuando interesa conocer si es más barato realizar el cambio de una pieza que experimenta fallas recurrentes o reemplazar el equipo entero por uno de nueva generación.

Adicionalmente dicha metodología dependerá del acceso que se tenga a los equipos de ensayo adecuados para realizar el análisis teniendo en cuenta el montaje u operación, que pueden haber contribuido a la falla.

Por último, dependiendo de la cantidad de datos disponible, en muchos casos sobre todo a nivel de laboratorios el análisis de falla se basa en resultados de pruebas estadísticas. En términos generales se recomienda que el informe final de un análisis de falla deba contener: descripción del componente que falló, historial de servicio, historial de fabricación, resultados de estudios mecánicos y metalúrgicos, determinación de los mecanismos y causas de falla (en cuanto sea posible), conclusiones y recomendaciones para prevenir una nueva ocurrencia de falla.

Debido a que el análisis de falla debe indagar posible causa en materiales, diseño, fabricación, montaje u operación, se hace evidente que lo ideal es que éste sea realizado por un Equipo Interdisciplinario de Expertos en cada una de estas áreas, con el fin de poder evaluar con mayor certeza, cuál (o cuáles) es la causa de la falla.

Así pues la visión tradicional de nuestro medio, que deja la responsabilidad del análisis de falla sólo en especialistas del área de materiales, es errada, ya que a este profesional le resulta difícil identificar posibles causas en el ámbito del diseño, la fabricación o el mantenimiento.

Otro hecho que se debe tener presente, es que aun para el equipo más experto de profesionales, siempre quedarán aspectos no abordados en el análisis que pueden haber contribuido a la falla, por lo que el concepto de la causa de ésta, debe tener asociado una probabilidad, es decir, el informe final no debe concluir con la frase "la pieza falló por ..." sino "la causa más probable de falla se atribuye a la cooperación de los siguientes factores ...", ya que normalmente las fallas no tienen un origen único, sino se dan por conjunción de varios eventos.

Un aspecto sobre el cual se debe hacer énfasis, está en la forma en que el conocimiento

acumulado debe evolucionar, es decir, la forma en que se optimizan los diseños, las normas, las prácticas de

mantenimiento, etc. es aquí donde aparece el aporte fundamental del análisis de falla para que al detectarse las fallas se indaguen sus causas y se replantee para mejorar en diseños futuros.

Así, pues, podemos catalogar al Análisis de Falla como el "Controlador" que detecta errores y genera acciones correctivas en la metodología del Diseño de Máquinas. Si queremos alcanzar un nivel alto de competitividad interna y externa, el análisis de falla debe ser una práctica continua e integral de los sistemas de calidad.

El análisis de falla debe estar presente en todas las etapas de la metodología del diseño, sin embargo, su participación se hace mucho más fuerte a la hora de la pruebas de la partes, sistema y/o máquinas, ya que es aquí donde el fabricante logra establecer con cierto nivel de precisión, la vida útil esperada de su producto, para lo cual debe alimentarse de dos fuentes principales:

- modelos teóricos generados en la propia empresa que predigan la vida
- ensayo a escala 1:1 para medir esfuerzos, desplazamientos, vida, etc..

Con lo anterior también se asegura que, al realizar un nuevo diseño, se minimice la probabilidad de ocurrencia de falla.

Aceros usados en los tornillos

En la actualidad la gran cantidad de aceros con los que se pueden trabajar en ingeniería, desarrolló la necesidad de tener una nomenclatura que hiciera más práctico el manejo de estos y así poder diferenciar con facilidad la composición de estos materiales, entonces la Society of Automotive Engineers (SAE) reconoció esta necesidad y fue la primera en adoptar un sistema para diferenciar los aceros, después de esta otras organizaciones como la American Iron and Steel Institute (AISI) adoptó un sistema muy parecido al de la SAE, que en común tienen una nomenclatura en números arábigos igual.

Podemos establecer dos grandes grupos en los aceros: los aceros de baja aleación y los aceros aleados. Los aceros de baja aleación tienen una utilidad más común en la industria la sociedad de ingenieros automotrices SAE tiene una nomenclatura para diferenciar estos materiales, consta de cuatro dígitos y da una visualización aproximada de la constitución de este.

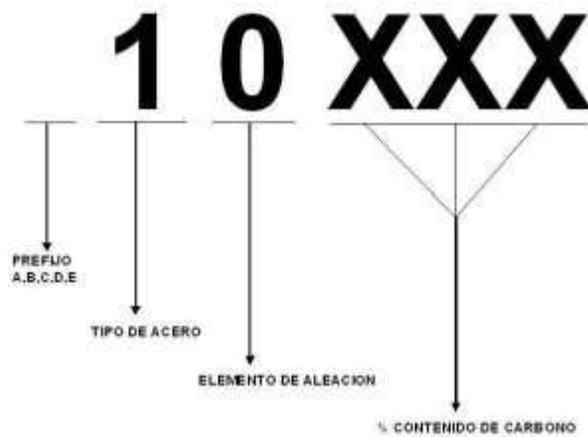


Figura 3 Identificación de los aceros

El primer dígito señala los elementos principales de los cuales está hecha la mezcla de la aleación

- Acero al carbono
- Acero al Níquel
- Acero al Níquel-Cromo
- Acero al Molibdeno-Cromo
- Acero al Cromo
- Acero al Vanadio
- Acero al Tungsteno
- Acero Cromo-Níquel-Molibdeno
- Acero Silicio-Manganeso

El segundo número indica una aproximación en porcentaje de los elementos aleados El tercer y cuarto número nos indica el porcentaje aproximado de carbono en el acero

Las distintas propiedades que nos dan los elementos al estar aleados en el acero varían significativamente en su estructura cristalina, elementos como: el Cromo (forma carburos de cromo que son duros, aumenta la tenacidad y la dureza del material por que el cromo afina el tamaño de grano).

El Níquel: Aumenta la dureza y por lo tanto templabilidad, donde la microestructura cambia de una mezcla de ferrita alotrópica, ferrita Widmanstätten, ferrita acicular y ciertas microfases a una

mezcla de ferrita acicular, bainita, martensita de bajo carbono y microfases. Proporciona un fuerte endurecimiento por solución sólida (5). Incremento marcado de la dureza del metal de aporte al aumentar el contenido de Ni .

El Manganeseo (aunque se encuentra en todos los aceros, si es mayor al 1% este se considera como una aleación particular del acero, y esta aleación permite que se pueda hacer un temple en aceite).

El Silicio (se añade como agente desoxidante, y al estar con aceros de bajo carbono forma un material con alta permeabilidad magnética y poca perdida por histéresis).

El Vanadio (los aceros con este elemento son difíciles de ablandar por revenido, muchas veces se usa para aceros de herramientas) .

El Tugsteno (al combinarse forma una estructura fina y densa, estas piezas tiene una gran dureza y tenacidad).

Esfuerzos en los tornillos

Las máquinas están compuestas por varias piezas más pequeñas que en conjunto y ordenadas forman un todo, que cumple con un correcto funcionamiento, estas partes más pequeñas son reconocibles y muchas de estas son tornillos o pernos, los esfuerzos que ocurren es estos elementos los podemos estudiar independientemente del material por un examen destructivo (examen de tracción), en el que a una probeta se le aplica una carga estática, en la mayoría de los materiales tenemos una zona elástica lineal, después una plástica hasta llegar a la falla, estas zonas son las de interés para este trabajo ya que es ahí donde el material ya no cumple con las especificaciones para las cuales fue diseñado y es hasta donde se cumple la Ley de Hooke donde la proporcionalidad del esfuerzo corresponde con la deformación.

El diseño de los componentes de sujeción considera entre muchas otras variables que estos puedan resistir las cargas axiales, torsión, flexión, cargas transversales. Estas consideraciones hacen que los diseñadores y en nuestro caso, al trabajar con materiales dúctiles como lo son los pernos que son débiles a los esfuerzos cortantes, estos se diseñen en base al esfuerzo cortante máximo de dicho material, a diferencia de los materiales que son más frágiles como lo son los hierros fundidos que se diseñan en valor a su esfuerzo máximo de tracción.

Matemáticamente podemos tener una representación gráfica de estas solicitaciones y así visualizar el estado de esfuerzos y tener un plano de referencia.

Las fracturas en las piezas empiezan con pequeñas grietas hasta que la pieza se separa por algún esfuerzo o conjunto de esfuerzos en dos o más pedazos.

Las fracturas pueden ser dúctiles o frágiles en ocasiones se presentan las dos al mismo tiempo, antes de esto se puede analizar que hubo un alargamiento plástico. El comportamiento de la fractura

puede ocasionarse entre otras variables por el material del que está constituido o por alguna falla en el diseño, un mal material puede propiciar defectos vistos desde una exploración microscópica.

Estas inclusiones no esperadas agravaran las condiciones para que se generen grietas hasta llegar a la fractura, entre otras variables las grietas también se presentan al realizarle distintos tratamientos térmicos o mecanizados al material.

La siguiente tabla muestra los distintos tipos de falla que fueron la causa de la fractura de estos tornillos en particular, que se usan para ejemplificar las causas de falla en el lote de tornillos analizados para el presente trabajo en capítulos posteriores

Tabla 1. Tipos de falla

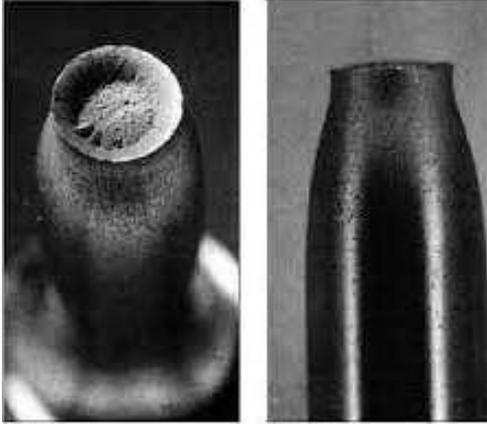
 <p>Figura 1 Falla dúctil a tensión</p>	<p>Dúctil a tensión.</p> <p>Alargamiento y reducción del diámetro en zona de estricción, formación de copa y cono, con aspecto fibroso en zona de fractura.</p>
 <p>Figura 2 Falla dúctil a flexión (Mora & Martínez., 2011)</p>	<p>Dúctil a flexión.</p> <p>Cuando una carga es perpendicular, hace que la pieza se desvíe del diseño en que fue hecha, hasta que esta se separa. En este tipo de fallas podemos ver que hay una curvatura en el material en donde se aplicó la carga y además en la dirección de esta se ve que la superficie tiene una textura rugosa, posiblemente la falla ocurrió por una carga lateral.</p>



Figura 3 Falla frágil a tensión
(Mora & Martínez., 2011)

Frágil a tensión.

Esta falla es asociada a cargas normales en materiales de alta resistencia y baja ductibilidad. A diferencia de los tornillos dúctiles a tensión este no presenta un alargamiento en la zona central y al momento de la fractura se observa una textura granular y brillante, estas características aparecen en aceros de alto grado de carbono en su aleación .



Figura 4 Frágil a flexión (Mora & Martínez., 2011)

Frágil a flexión.

Al igual que la fractura a tensión esta no presenta un alargamiento en dirección del esfuerzo, que en este ejemplo es tangencial, vemos que deja una zona granular y áspera en el centro, también vemos en la figura que en este tipo de fallas se presentan una especie de escalones donde la fractura se repite en planos superiores a los iniciales donde se inició la fractura .



Figura 5 **Fatiga a tensión**
(Mora & Martínez., 2011)

Fatiga a tensión.

Estas fallas aparecen en condiciones que podemos nombrar como normales en la operación, no hay una sobrecarga que se presente repentinamente, son principalmente peligrosas pues ocurren inesperadamente. Se pueden manifestar por cargas cíclicas en una pieza, lo que empieza a formar pequeñas grietas en los alrededores donde se concentran los esfuerzos, vemos que se forman marcas elípticas.

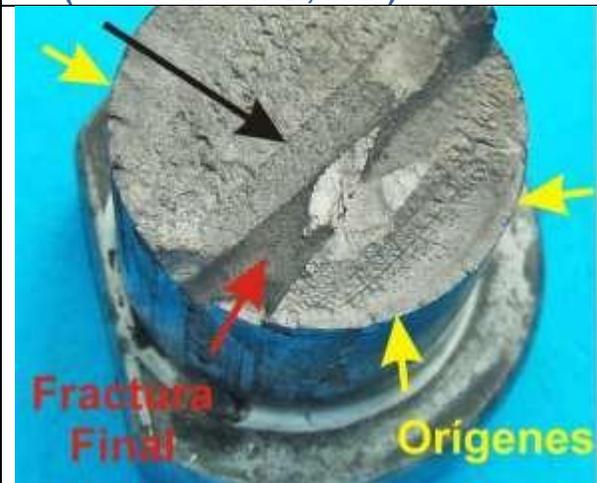


Figura 6 **Fatiga a flexión**
(Mora & Martínez., 2011)

Fatiga a flexión.

En este ejemplo la falla ocurre de forma transversal y podemos ver que empezó en los dos lados, en la superficie se observan zonas donde la rugosidad es menor, que en la imagen llaman zonas de playa. La causa pudo ocurrir bajo cargas mayores a la flexión, o por causas de trabajo en el torque.

Capítulo II

Metodología y Análisis.

Tornillos con daño que inicia en la cuerda.

Las técnicas empleadas para conocer las características químicas y mecánicas de el lote de tornillos fue la siguiente.

1. Ataque con líquidos penetrantes
2. Medición de la dureza
3. Espectrometría de emisión óptica
4. Microscopia

El siguiente trabajo muestra en análisis mecánico-químico, para analizar los motivos de la falla, que se les hizo a un lote de elementos de sujeción de alta resistencia.

Son tornillos de cabeza hexagonal con las dimensiones de $1\frac{1}{2}$ " x $5\frac{3}{4}$ ", estos tornillos están fabricados bajo las normas de la Sociedad americana de pruebas y materiales ASTM A490 por las siglas en inglés, que presentan una fractura total perpendicular en la frontera del cuello y donde inicia la cuerda de estos.

Cabe mencionar que la vida útil de estos es inferior, al momento de la falla, no se menciona si la rosca de todos los tornillos fue intentada ser removida al momento de la fractura o esta apareció al momento de estar en trabajo, y una fuerza repentina causo la fractura.

También se presenta un "grupo de prueba" de tornillos del mismo lote que no presentan fractura con el fin de realizar un ensayo no destructivo de líquidos penetrantes y después un análisis metalográfico para poder establecer un marco de referencia con las piezas fracturadas, para establecer si esta muestra, puede ser representativa o solo fueron casos aislados inherentes al trabajo que realizaban.

En la figura 10 vemos el lote de tornillos fracturados, que para fines prácticos llamaremos "tornillos fracturados 1, 2, 3, 4, 5" nombrados así de izquierda a derecha.



Figura 4 Tornillos Fracturados



Figura 5 Zona de fractura

Las imágenes muestran un deterioro superficial en la zona de la fractura, dicho deterioro, es por el ataque electroquímico, que sufrió en su entorno de trabajo, por lo que adquirió ese color rojizo, propio de la oxidación en aceros de hierro-carbono.

Podemos observar que la fractura producida en este material, que es de alta resistencia y baja ductibilidad, se le asocia una carga normal y vemos que en la zona de la fractura no hay un alargamiento en la zona central, y al momento de separarse por la fractura, esta dejó una superficie granular que favoreció la oxidación, algunas de las marcas que se observan (marcas de Chevron) indican que la grieta empezó en el exterior del cuerpo a la altura del inicio de la cuerda del tornillo, y continuo su camino perpendicularmente en dirección del cuello del tornillo hasta la fractura dada.

En las imágenes no se observa claramente que la pieza haya sufrido un esfuerzo torsionante inesperado de gran magnitud para romperlo cómo también no hay marcas de que sufriera falla por fatiga.



Figura 6 **Zona de Fractura**



Figura 7 Marcas de Chevron

Tornillos de referencia que llamaremos “tornillos de referencia a,b,c”.



Figura 8 Tornillos de referencia

Una técnica para desprender esta cascarilla de herrumbre es, por decapado electrolítico, esto consiste en sumergir las piezas en una solución sódica y con una pila galvánica con las piezas de acero

como cátodos, al realizar la reacción química y tener como producto, gran cantidad de hidrogeno, provoco un mayor desprendimiento de la cascara de óxido, de las piezas sin dañarlas.

Ya con las piezas limpias se sometieron a un ensayo, no destructivo el cual consiste en la aplicación de un líquido de tonalidad roja fluorescente en toda la zona del tornillo, el cual por capilaridad, entra en cualquier grieta, que pueda presentar la pieza y nos puede revelar si existe un área donde puedan existir fallas, debidas a una concentración de esfuerzos.

Esta técnica es usada para el análisis de piezas criticas como estas, y así observamos que en la parte de la cuerda hay discontinuidades no esperadas que podrían producir futuras fallas.

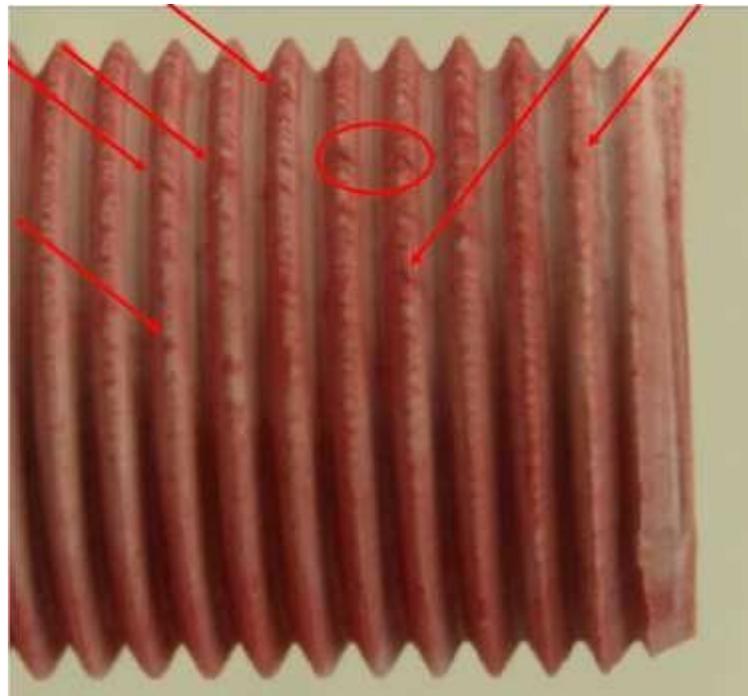


Figura 9 Microgrietas

Al realizar el ensayo vemos que hay presencia de grietas en el material, que pueden ser atribuidas a los procesos primarios que pudo sufrir el material cuando fue formado en tamaños útiles(útiles para la manufactura del tornillo) los cueles se dan en el proceso de forja, en el que pudo aparecer alguna discontinuidad inherente en este proceso de conformado en frio o caliente.

Estas discontinuidades aparecen a baja profundidad en las cuerdas de dichos tornillos, en la imagen se marca puntualmente la zonas donde el color rojo es más intenso producido por el líquido usado para el ensayo, sobre el color blanco que es el color del líquido revelador, que hace posible visualizar estas discontinuidades, por esta observación vemos que estas grietas están situadas sobre toda la

cresta de la cuerda y estas son causadas por el mal proceso de fabricación en las operaciones de conformación de la pieza precisamente en el paso de la filiteadora donde se le dio forma a la cuerda.



Figura 10 Presencia de micro grietas en la cuerda.

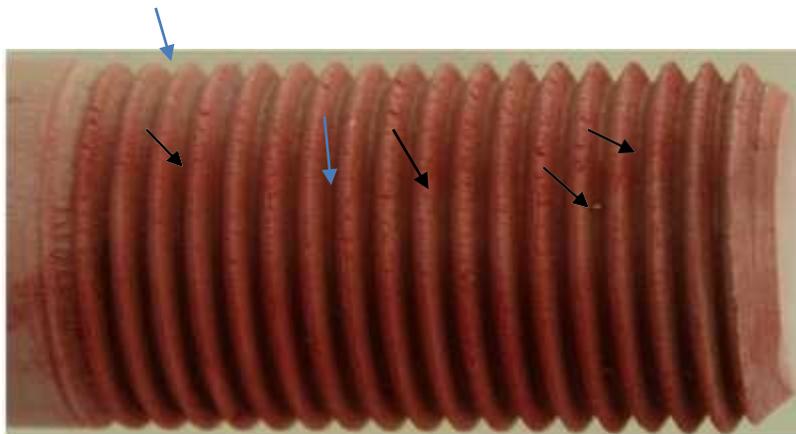


Figura 11 Fisuras en el tornillo.

Los resultados del análisis nos indican que las piezas tienen baja calidad como se aprecia en la formación de las grietas producidas por el proceso de fileteado, en tales casos es importante mencionar que estas fallas realizan una concentración de esfuerzos que afectan la estructura del tornillo, que produce un campo donde las tensiones se concentran, en regiones específicas.

El diseño del tornillo en este caso en teoría es tal para que los esfuerzos se distribuyan uniformemente sobre el cuerpo, entonces al reducir el área efectiva puede causar una fisura, y este defecto puede hacer que la grieta aumente y fracture el material.

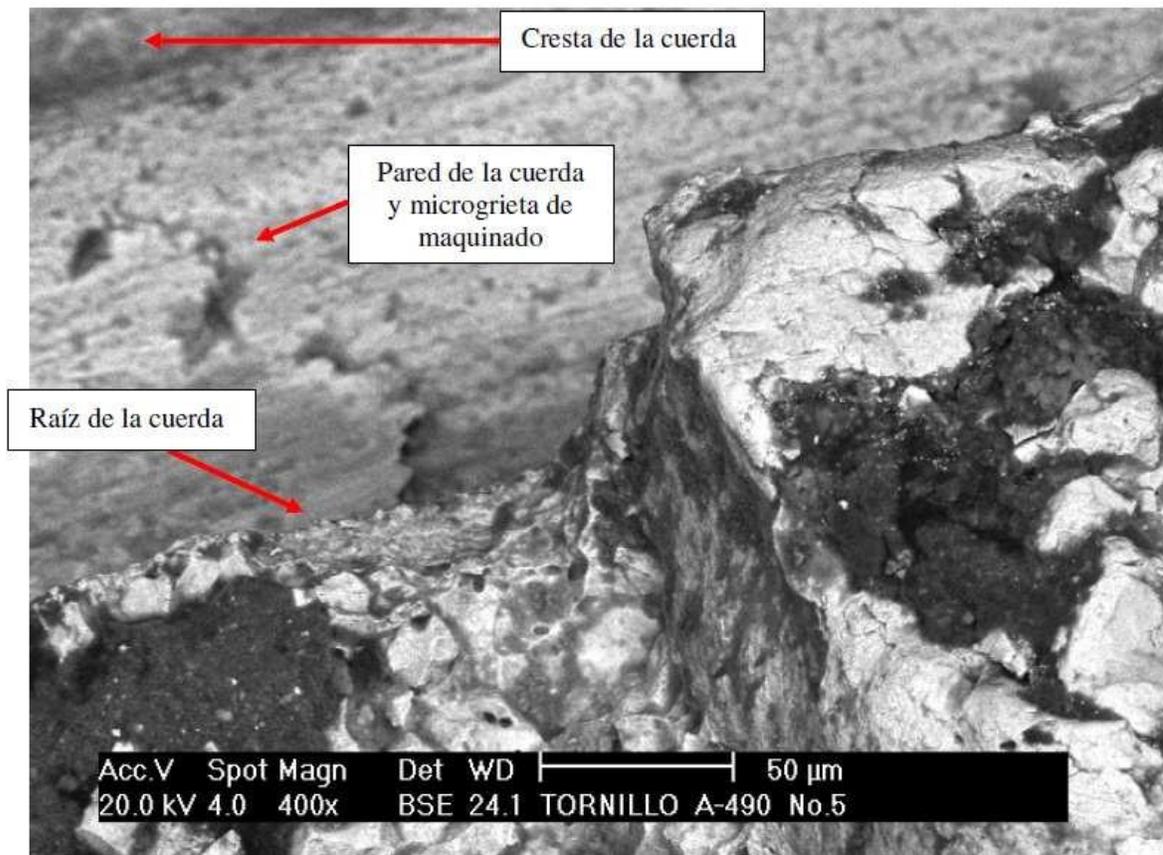


Figura 12 Microgrietas en la pared de la cuerda

Con las imágenes obtenidas en el microscopio podemos ver zonas de desgaste y microgrietas en primer lugar.

Ahora podemos ver las grietas y microgrietas que anteriormente supusimos por el ensayo de líquidos penetrantes, donde vemos que la zona de la fractura donde esta inicio, esta es en las cuerdas y, vemos que el contorno del mecanizado es donde también aparecen microgrietas.

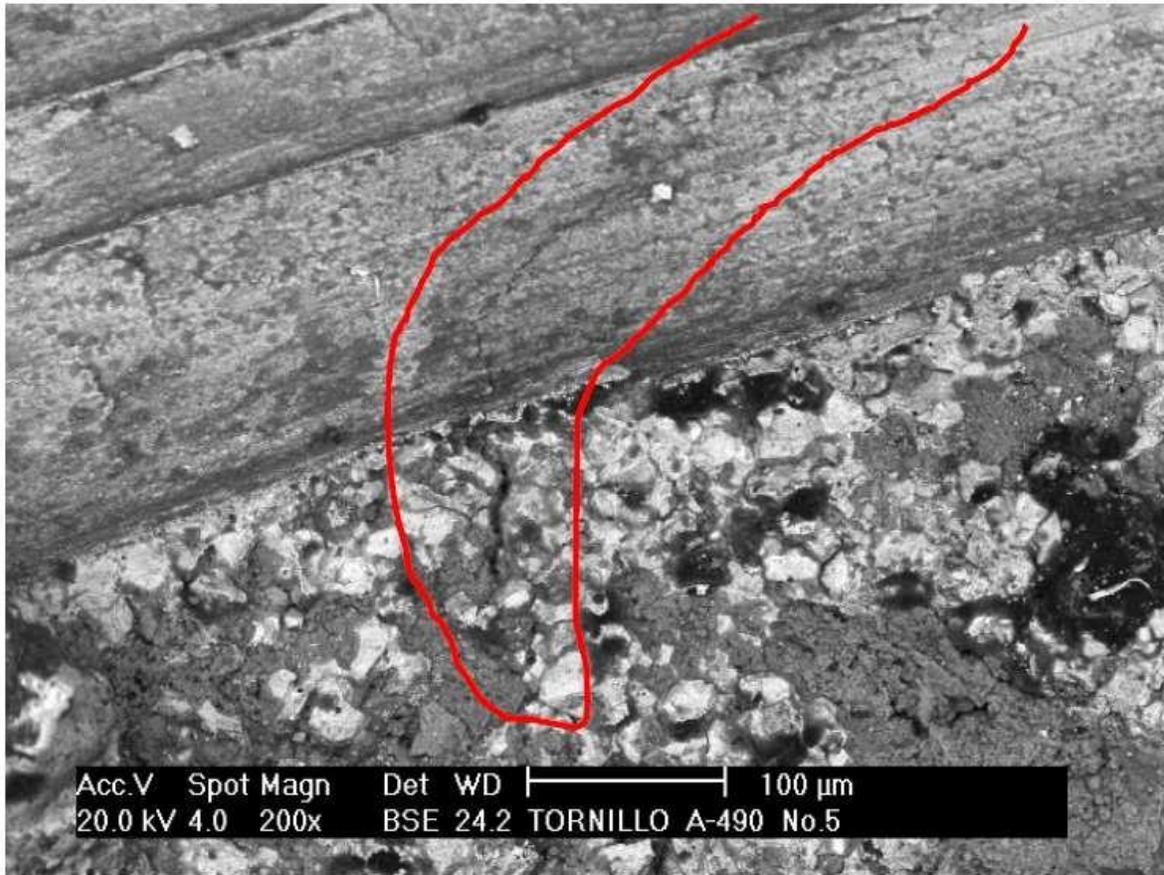


Figura 13 Acercamiento 200x tornillo 5

Además de la grieta principal que causó la fractura, podemos observar en esta imagen que se encuentra otra grieta, que se encuentra en la pared de la cuerda, y que se dirige hacia la raíz de la misma, esta grieta secundaria se encuentra en la zona de la superficie de la falla, lo que nos indica que en varias zonas del tornillo puede existir más fallas como estas, inherentes al material y no solo provocada por un esfuerzo mayor repentino.

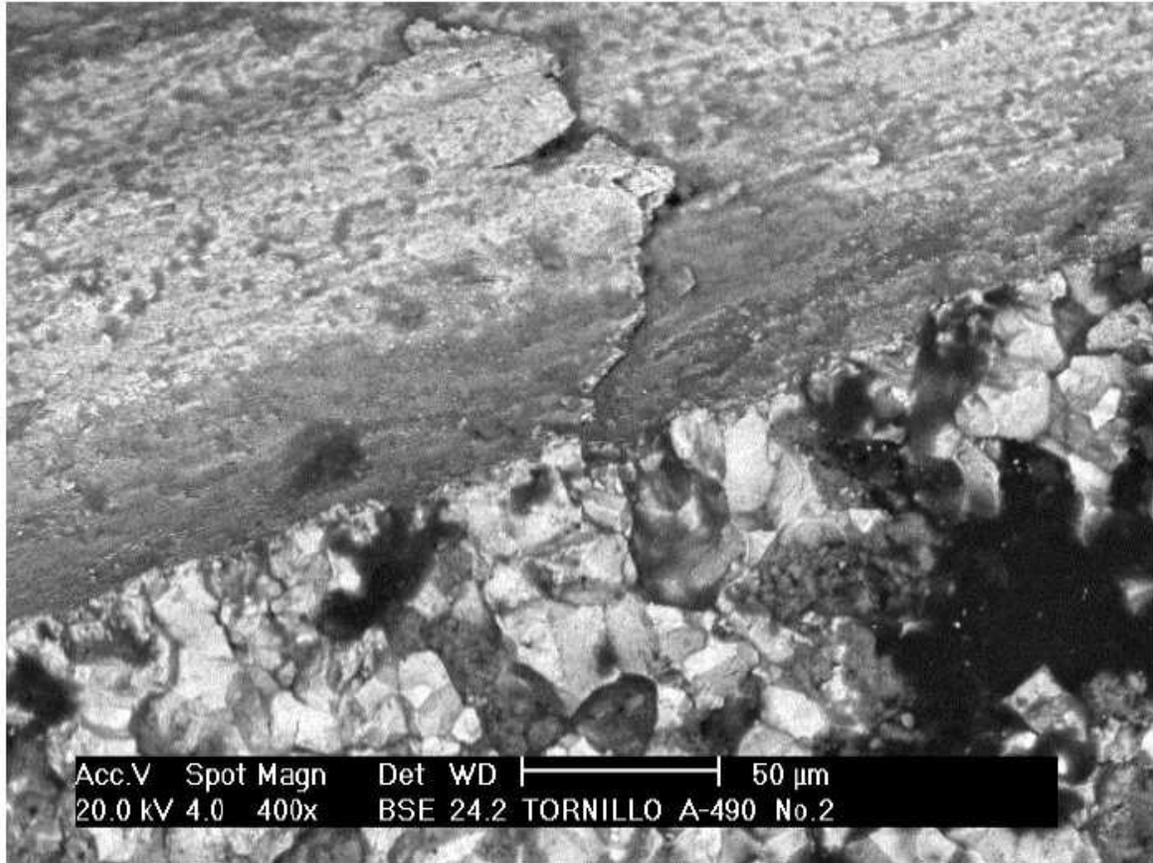


Figura 14 Acercamiento a 400x

En general todos los tornillos tuvieron imágenes similares al acercarnos a la zona del inicio de la fractura. Los límites de grano y las incrustaciones de defectos, favorecen la fractura intergranularmente

En la siguiente imagen podemos observar la estructura martensítica esperada por los tratamientos térmicos a los que fue expuesta, en la imagen también podemos ver algunas de las impurezas

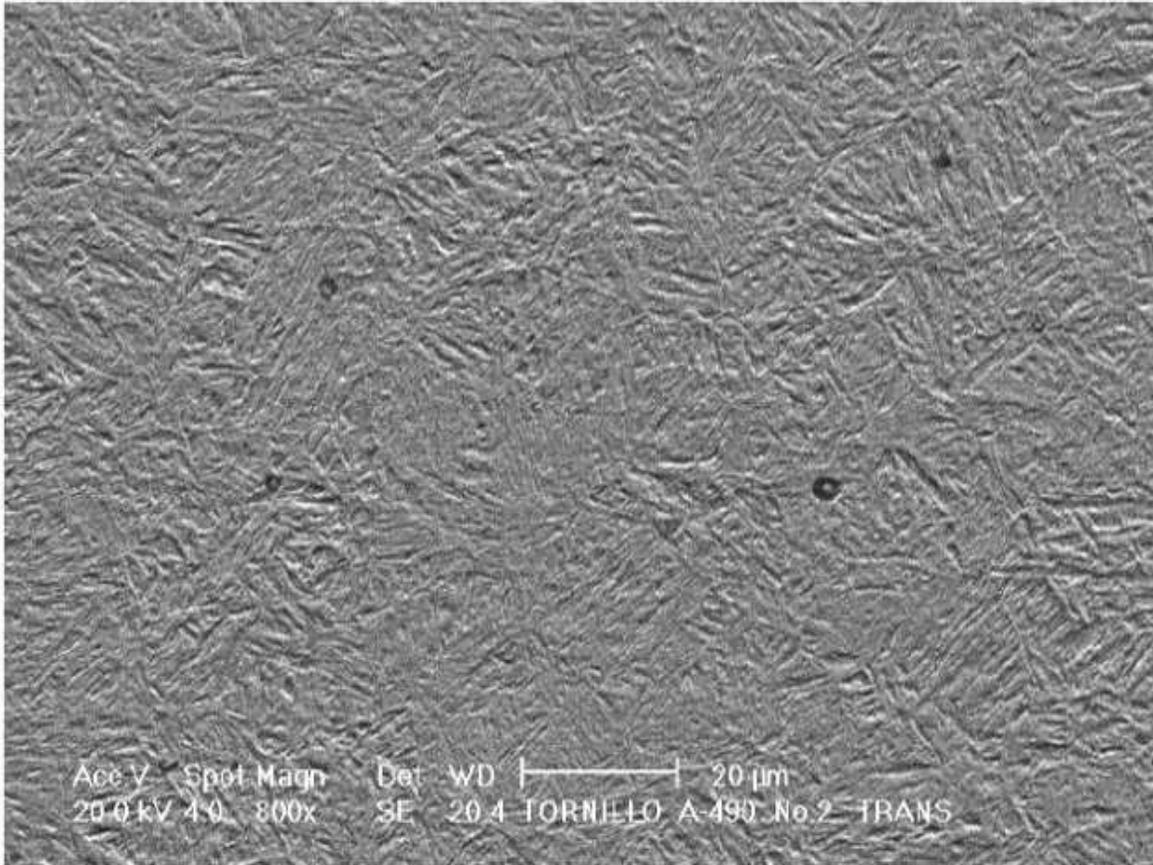


Figura 15 Acercamiento 800x tornillo 2

Cortando transversalmente y atacando la muestra con una solución de alcohol y ácido nítrico que se llama “Nital”.

Esto para revelar la microestructura de la pieza, esta técnica se usa para revelar estas imágenes en los aceros al carbono.

En la imagen 24 se aprecia una estructura martensítica en la que encontramos ferrita y cementita, esto como resultado de los tratamientos térmicos a los que fue expuesto el tornillo, el cual por el temple aumento la tenacidad de la estructura cambio de su dureza y, mayor resistencia disminuyendo su fragilidad, para después ser puesta en un tratamiento de revenido para disminuir más la dureza y mejorar la tenacidad, por lo anterior observamos una estructura martensítica, así como las distintas impurezas que presenta el material.

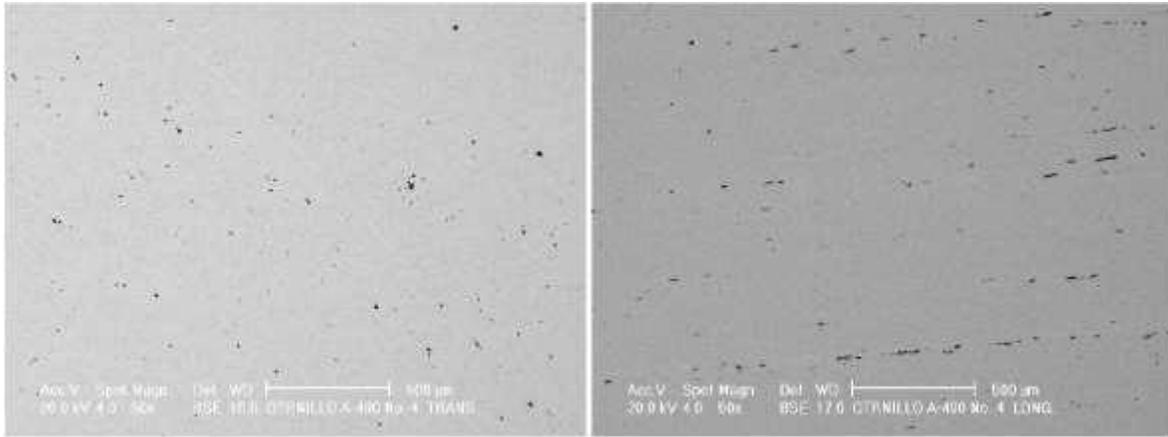


Figura 16 Acercamiento 50x vista trasversal y longitudinal tornillo 4

Al realizar el corte transversal y longitudinal respectivamente podemos ver que las impurezas encontradas son de un gran tamaño, vistas con un aumento de 50x, en este caso vemos inclusiones puntuales como lineales cortas, estas impurezas son asociadas a óxidos y silicatos respectivamente.

Las inclusiones no metálicas son materiales integrados en los aceros durante el proceso de fabricación. Las inclusiones tienen un origen químico diverso y proporcionan diferentes propiedades mecánicas a los aceros, como la forma, resistencia, manipulación y resistencia a la corrosión.

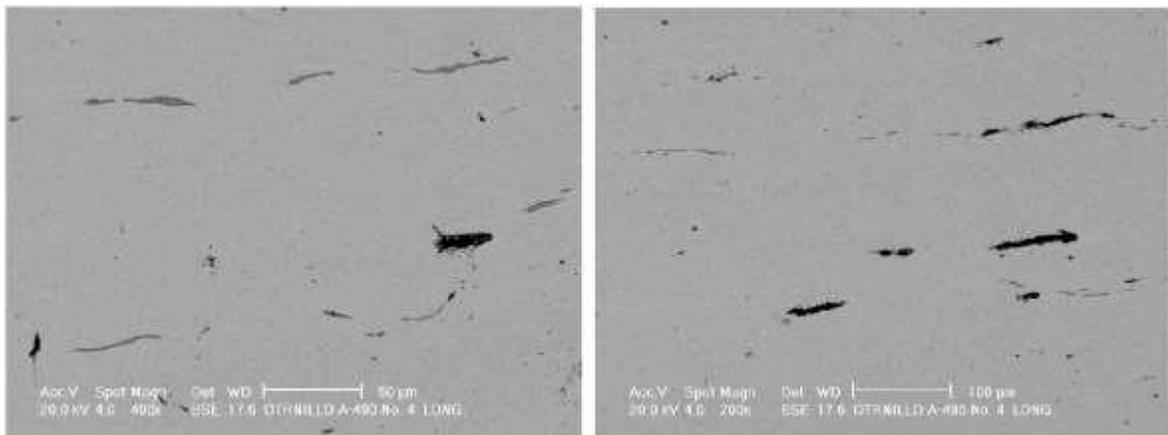


Figura 17 Acercamiento 400x corte longitudinal tornillo 4

En un aumento de 400x pertenecientes en un corte longitudinal realizado a un tornillo vemos que se siguen observando inclusiones, podemos apreciar silicatos alargados un tanto discontinuos, en varios conjuntos de ellos, los cuales por definición geométrica actuaran como concentradores de esfuerzos

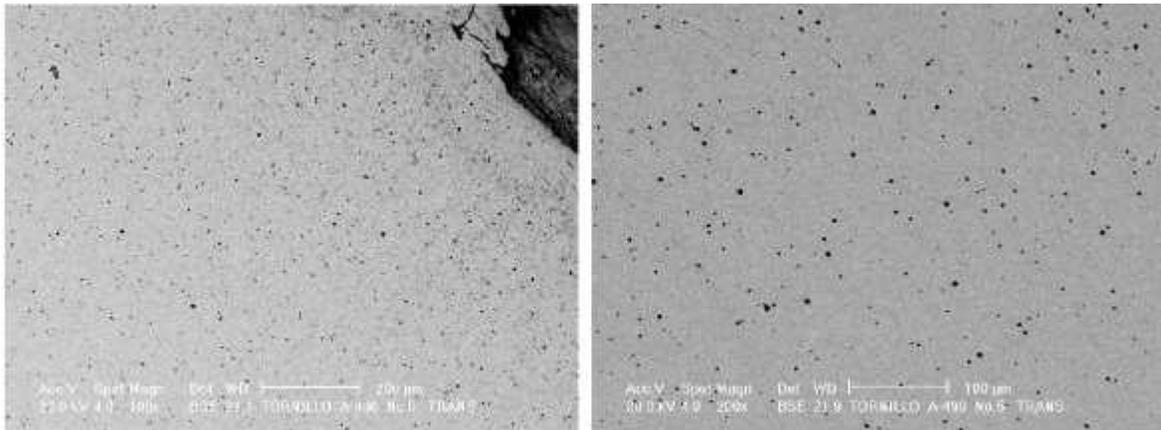


Figura 18 Acercamiento 200x corte transversal tornillo 5.

Con un aumento de 200x, se ve claramente una gran cantidad de inclusiones de óxidos y silicatos que dañaran el material reduciendo sus propiedades mecánicas .

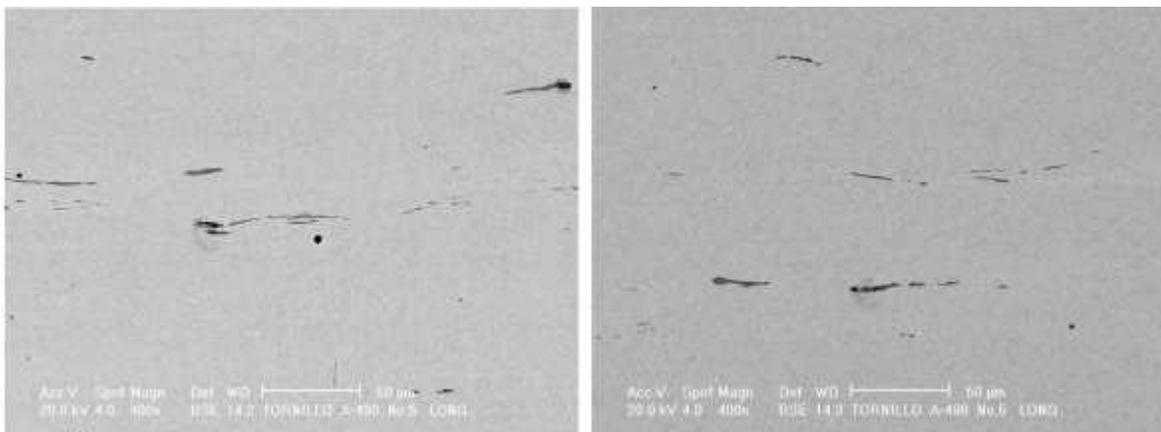


Figura 19 Acercamiento 400x corte longitudinal tornillo 5.

Vista a 400x, de otro tornillo del lote de fracturados, así mismo como los anteriores podemos ver diversas inclusiones en óxidos y silicatos que van en dirección del conformado del tonillo o en sentido de la laminación del material. Si bien las observaciones previas, hechas en el microscopio, en las piezas anteriores, podemos decir que el número de inclusiones no se encuentran dentro de su media, no podemos decir que es lo recomendado para estos materiales.

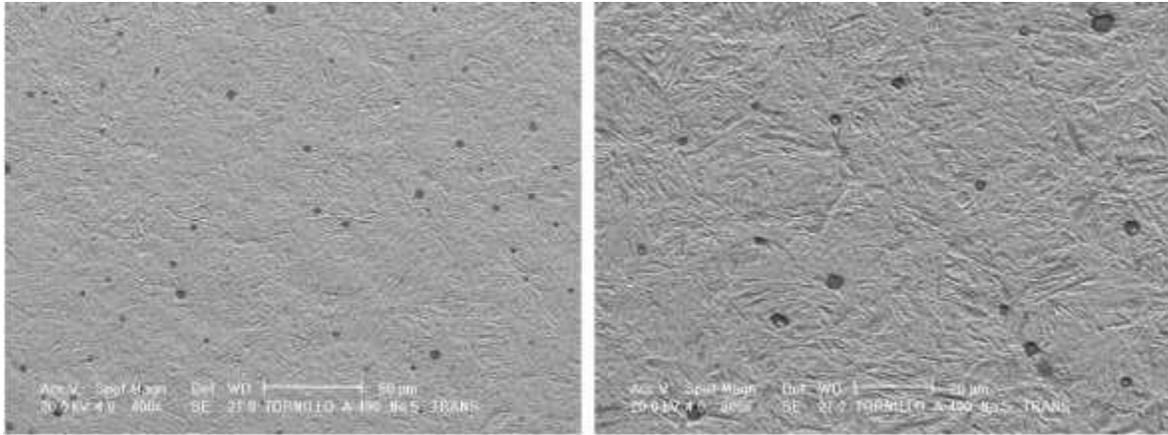


Figura 20 Acercamiento 400x corte transversal tornillo 5

Corte transversal atacado con Nital en el que se ven inclusiones de óxidos el aumento en este par de imágenes corresponde a 400x donde vemos la estructura producida por el temple y revenido al igual que en los tornillos observados anteriormente encontramos martensita fina.

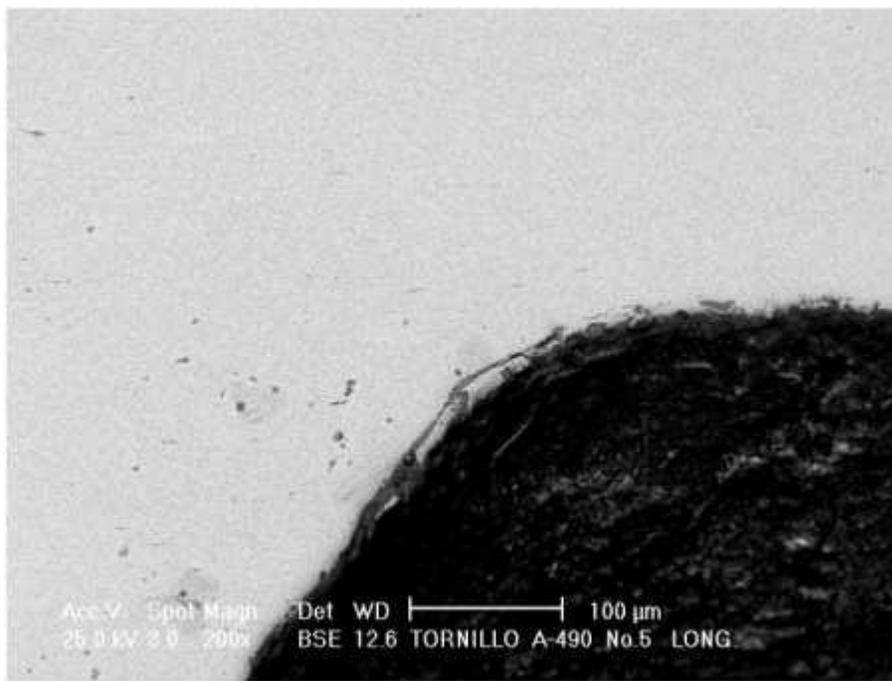


Figura 21 Grietas tornillo 5 aumento 200x

En la siguiente imagen se presenta un corte en sentido de la laminación del tornillo en la que se ve la raíz de la cuerda y se ven microgrietas, estas son independientes a la grieta principal que causó la fractura.

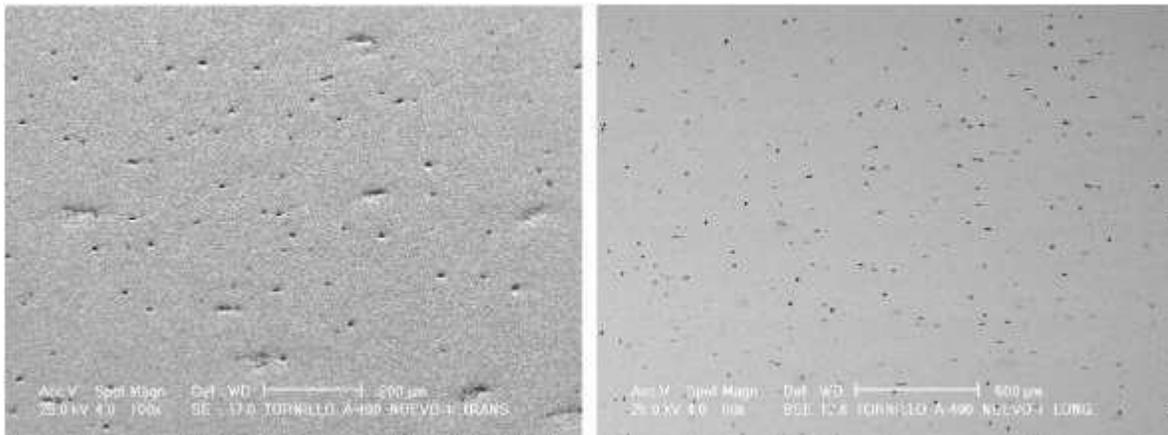


Figura 22 tornillo sin fractura 1 acercamiento 100x transversal y 50x longitudinal.

Para comparar el lote de elementos fracturados, con unos que no sufrieron fractura, pero que pertenecen al mismo lote, también se les realizó una inspección con el microscopio, por lo que se realizó un corte transversal y otro longitudinal respectivamente como se ve en las imágenes anteriores mostrando un gran número de inclusiones.

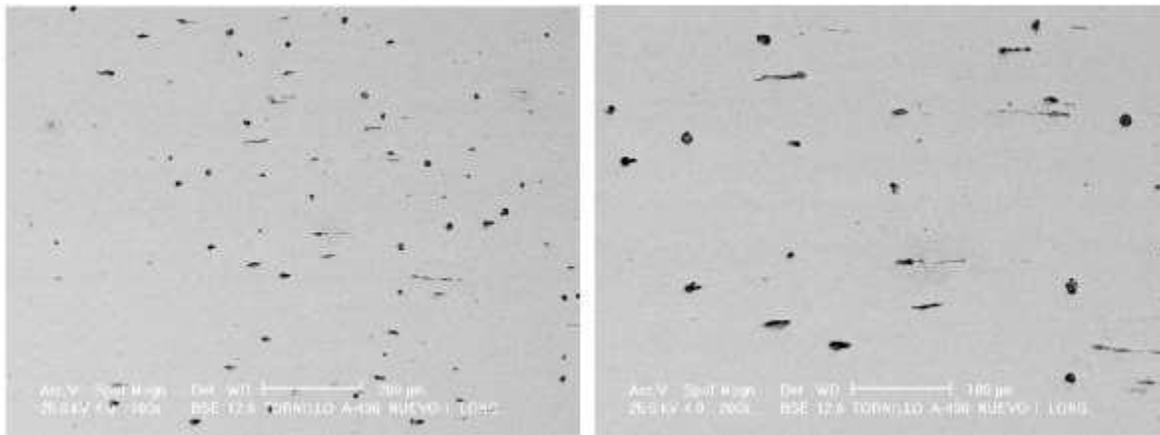


Figura 23 Tornillo sin fractura 1 corte longitudinal acercamiento 200x.

En el corte longitudinal y con un aumento de 200x se ven los óxidos y también en las dos imágenes silicatos dispersos unos de mayor medida discontinuos, en algunas zonas del material.

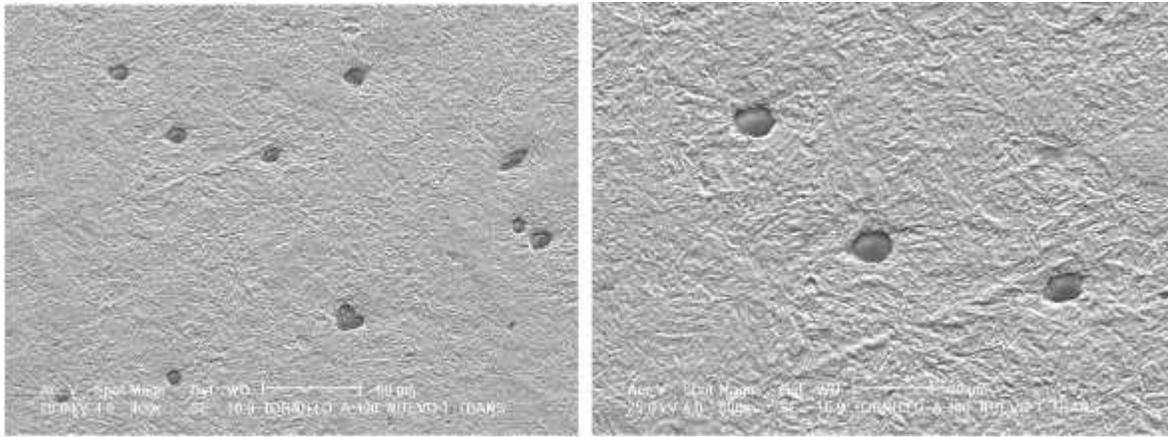


Figura 24 Tornillo sin fractura 1 corte transversal acercamiento 400x.

Así mismo para confirmar la presencia de perlita se atacó con Nital, con un aumento de 400x podemos ver a gran cantidad de inclusiones no metálicas en estas imágenes se ven más claramente las inclusiones de óxidos

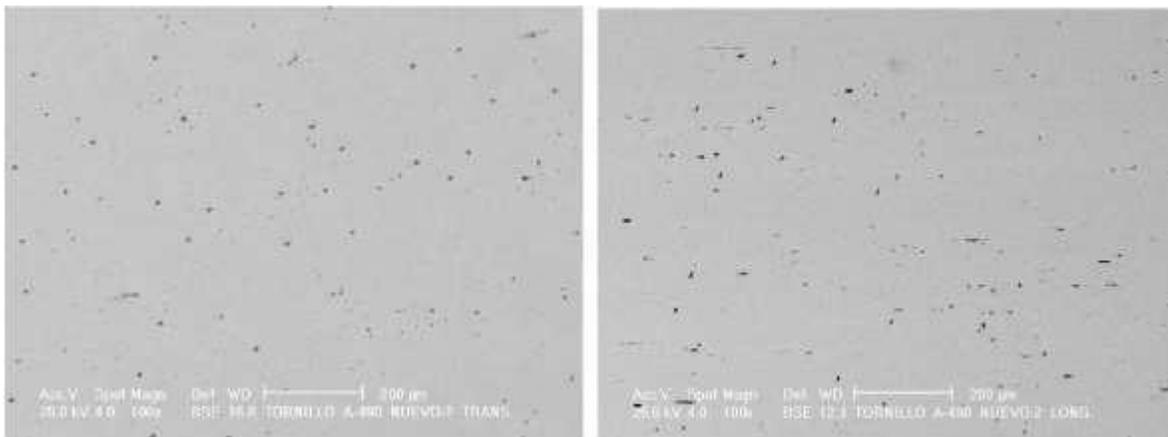


Figura 25 Tornillo sin fractura 2 acercamiento 100x.

Análisis microscópico de otro tornillo de referencia sin fractura al que se le realizo corte transversal y longitudinal

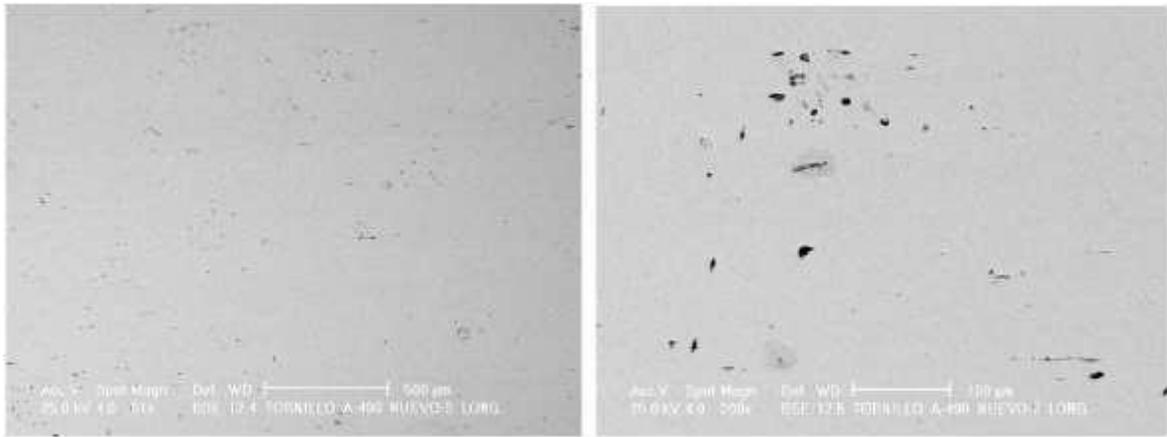


Figura 26 Tornillo sin fractura 2 corte longitudinal.

Imágenes de corte longitudinal, en las imágenes vemos la presencia de inclusiones no metálicas

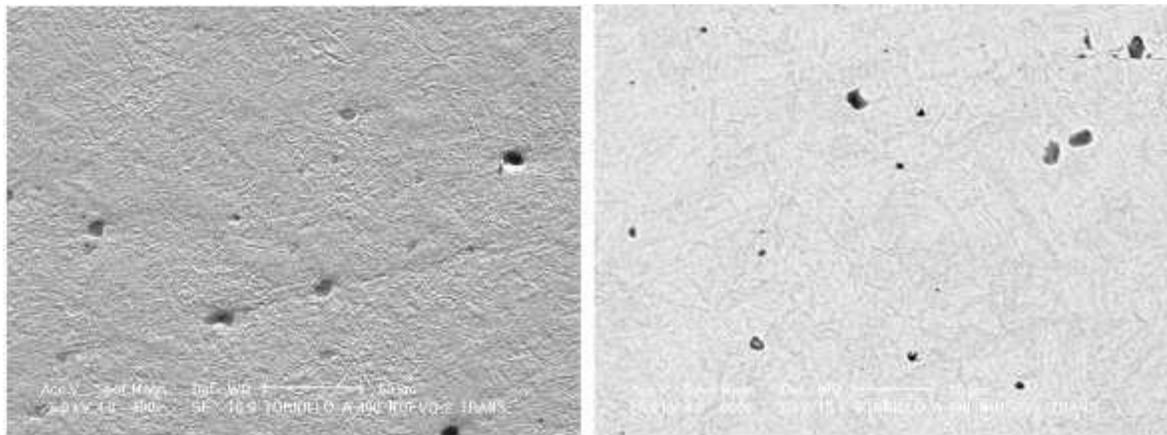


Figura 27 Tornillo sin fractura 2 acercamiento corte transversal.

Corte transversal en las imágenes con un mayor aumento para poder ver la estructura del acero, también aparecen inclusiones de óxidos

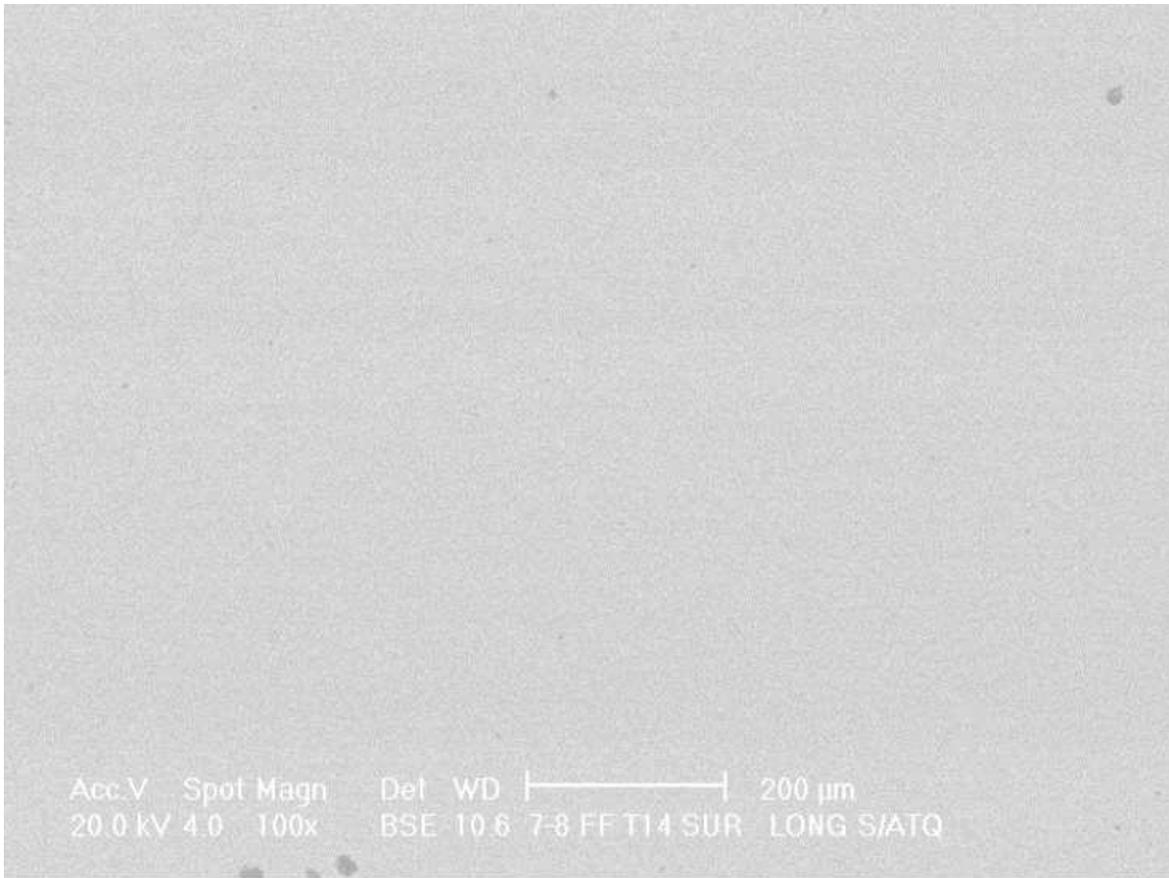


Figura 28 Tornillo A 490 de buena calidad acercamiento 100x.

Finalmente, con el fin de comparar se tomó una muestra, diferente del lote analizado, de un tornillo con el estampado de forja con las mismas características bajo la norma ASTM de los tornillos fracturados, en esta imagen la numero 37 vemos un corte longitudinal sin ataque químico con un aumento de 100x, en el que no se ven inclusiones no metálicas de óxidos y silicatos, lo que refiere un material limpio de alta calidad.

Dureza

En las siguientes tablas se presentan los resultados de las mediciones de dureza realizada al lote de tornillos fracturados

Tabla 2. Dureza superficial escala Rockwell

Evento	HRC
Media	32.6
Desviación	1.3

Tabla 1

Tabla 3. Dureza transversal tornillo sin fractura

Evento	HRC
Media	41.4
Desviación	0.8

Tabla 4. Dureza transversal fracturado No 2

Evento	HRC
Media	42
Desviación	0.8

Tabla 5. Dureza transversal fracturado No 5

Evento	HRC
Media	40.9
Desviación	0.7

Utilizando un indentador cónico, como marca la norma, para materiales más duros, se usó la escala Rockwell, que es el examen que se usó para determinar la dureza, que es la propiedad del material para ser rayado o penetrado, se determinó que al cortar el material transversalmente y realizar el examen los tornillos estaban arriba de la norma ASTM 490, y la dureza superficial es menor por los que se le podría atribuir a una descarburación en el momento de realizar el tratamiento térmico

Tabla 6. Parámetros de dureza A490.

		120 ksi/830 MPa Tensile, Grade A325, A325M, F1852				150 ksi/1040 MPa Tensile, Grade A490, A490M, F2280			
		Brinell HB		Rockwell HRC		Brinell HB		Rockwell HRC	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Up to 1 in., M24 Inclusive	Less than 2D	253	319	25	34	311	352	33	38
	2D and longer	–	319	–	34	–	352	–	38
Over 1 in., M24	Less than 3D	253	319	25	34	311	352	33	38
	3D and longer	–	319	–	34	–	352	–	38

Análisis Químico

La composición química de la muestra fue hecha para conocer a que tipo de acero se encontró en los tornillos y ver si este cumplía con la norma asignada

Tabla 7. Composición química de la muestra 1.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Ti	V	Pb	Fe
%	0.4040	0.225	0.820	0.0058	0.0181	0.77	0.171	0.0782	0.0082	0.0084	0.1761	0.0032	0.0208	0.0053	97.2

El análisis químico se llevó con la técnica de espectrometría de emisión óptica, en dicho examen se hace el análisis cualitativo de los metales y otros no metales que se encuentren en la aleación de dicho material, por lo tanto es un examen suficiente para determinar las condiciones naturales de los tornillos tratados, el análisis se llevó a cabo con un espectrómetro SPECTROLAB modelo M8. Al final se determinó que los tornillos cumplen con lo estipulado en la norma ASTM A490 para tornillos de ese tipo “aceros de medio carbono”, como era de esperarse hay más elementos en el material que se unieron dentro del proceso de fundición. Teóricamente se encontró con que es un material “acero para maquinaria con una correspondencia química con los aceros AISI 4140 y AISI 4142” esto por su pequeña variación de carbono en el que se encuentran la muestras, donde la norma establece unas propiedades mecánicas en dureza de 36HRc, para sus tratamientos en temple y revenido, lo que contrasta con los resultados obtenidos que están por encima de las mediciones que se realizaron en el examen de dureza.

Tabla 8. Designación AISI.

Designación AISI	C	Mn	P(max)	S(max)	Si	Cr	Mo
4140	0.38-0.43	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.80-1.10	0.15-0.25
4142	0.40-0.45	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.80-1.00	0.15-0.25

Conclusión

1. Los resultados establecen que los tornillos tuvieron tratamiento térmico de temple y revenido lo que causo una estructura de martensita fina, que es lo esperado con lo que marca la norma ASTM A490.
2. Aunque la muestra se ve afectada por muchas impurezas inherentes a varias causas dentro de la fundición y, también como del conformado, vemos que aparecen: silicatos, sulfuros y óxidos dentro de las imágenes observadas con el microscopio, estas alteraciones afectan la continuidad del material micro estructuralmente y disminuyen la resistencia de los aceros en general.
3. Como se comentó uno de estos fue el MnS(sulfuro de manganeso), de naturaleza plástica y color gris que se deforma y alarga en los tornillos por el proceso de forja y laminación, mientras que los óxidos que encontramos se originaron por agregar desoxidante en exceso.
4. Se espera que uno de estos óxidos sea Al_2O_3 (alúmina), como una consecuencia de agregar Al como desoxidante en exceso, como vimos en la imagen estas inclusiones fueron las más comunes, la alúmina, por su naturaleza es dura y frágil, se rompe y dispersa con la forja y la laminación, finalmente los silicatos que encontramos, tienen su origen en las escorias producidas por temperaturas no muy altas en el horno, lo que provoco su combinación, y emulsión en toda la demás masa de la aleación en estado líquido.
5. De las tres mencionadas anteriormente estas últimas son las que causaron en los tornillos mayor reducción en las características mecánicas de estos tornillos, mencionando también que aunque es difícil de observar, también la aleación contendría hidrógeno que aparecerían como puntos brillantes llamados “ojos de pescado” y que afectarían las propiedades mecánicas.
6. Por lo antes mencionado, los resultados de dureza y las muestras observadas, las fallas en el lote de tornillos se originó en primer lugar por una mala calidad en el material usado para la manufactura, aunque como también arrojaron los datos estos están por encima de la dureza de la norma.
7. La composición química, y también la microestructura propia con los tratamientos estipulados concuerda con la norma, pero esta contiene una gran cantidad de inclusiones que aparecieron tanto en el lote de fracturados como en los de no-fracturados. Aunque la norma ASTM A490 para elementos de sujeción estructural tipo 1, establece que estos serán el producto de acero al medio carbón con temple y revenido, esta no menciona la calidad micro estructural del material.
8. por lo anterior, los tornillos tiene mas dureza de la esperada lo que los hizo mas frágiles, no cumplen con la calidad deseada para su aplicación esto por los datos obtenidos es atribuible al Ni que se encontró en redondeo del 0.1 lo que endureció el acero mas de la cuenta.
9. Cabe mencionar que los esfuerzos que sufrió el material y que resultaron en la fractura, por las condiciones mecánicas que antes se mencionaron, estas al estar por encima del límite de dureza indicado, produjo que cambiara la naturaleza del acero, lo cual influyo negativamente para su fin dado.

10. Reduciendo la tenacidad del tornillo, lo que en combinación con las discontinuidades observadas en el material, que aparecieron en las cuerdas de los tornillos que actuaron como concentradores de esfuerzos, que pudimos ver a varios aumentos estas fisuras, en algunas imágenes la fractura inicia donde aparecen microfisuras.
11. Por lo anterior para evitar que la integridad de las personas estén riesgo, es recomendable analizar los procesos de calidad en la manufactura de estos elementos, principalmente en el conformado de las cuerdas, el estado del herramental y los parámetros en el corte, así también el tratamiento por la posible formación de esfuerzos residuales y la formación de grietas en el material, es por esto que es importante conocer los parámetros usados en el temple de los tornillos ya que un tratamiento con alta velocidad de enfriamiento, favorecería la formación de estas grietas por lo cual reduciría su tenacidad.
12. Al combinar todo lo antes mencionado la fractura se originó con un rango probabilístico por una repentina sollicitación provocando una fractura frágil que estuvo en función de los materiales de mala calidad, así como un corte de cuerdas y tratamiento ambos deficientes.

Bibliografía

1. CAMPBELL, John Casting Butterworth-Heinemann Ltd, 1991
2. Mora, E. E. (2011). Modos de falla comunes en tornillos. Universidad Nacional de Colombia.
3. . F. J. Ayaso, B. González, J. Toribio. Influencia de las inclusiones sobre el comportamiento en fractura de aceros perlíticos trefilados, Anales de la fractura. Salamanca : s.n., 2007, Vol. 1.
4. Bose-Filho W., Carvalho A., Strangwood M. Effects of alloying elements on the microstructure and inclusion formation in HSLA multipass welds. 13 de Marzo de 2006, Materials Characterization,
5. Ana Lucia Cortes Dutton “Efecto del contenido de inclusiones en la soldabilidad y propiedades mecánicas de uniones soldadas de acero X-70”

Anexo

Propiedades de algunos tornillos estructurales

marca grado tornillo	especificación			material	diámetro	resistencia a la tracción mínima (PSI)	límite de fluencia mínima (PSI)	dureza
	SAE grado	DIN grado	ASTM grado					
	J-429 3 J-1199 4.6	267 4.6	A-307 A y B	acero bajo carbono SAE 1010	#4 - 1-1/2"	60,000	36,000	70-100 Rb
	J-429 3 J-1199 5.8	267 5.6	A-307 B	acero bajo carbono SAE 1013	#4 - 3/4" 7/8" - 1-1/2"	74,000 60,000	53,000 36,000	80-100 Rb 70-100 Rb
	J-429 5 J-1199 8.8	267 8.8	A-449	acero medio carbono SAE 1033/1041	#4 - 1" 1-1/8" - 1-1/2"	120,000 105,000	92,000 81,000	25-34 Rc 19-30 Rc
	J-429 8 J-1199 10.9	267 10.9	A-354 BD	acero aleado medio carbono SAE 4140/S740	#4 - 1-1/2"	150,000	130,000	33-39 Rc
	-	-	A-325 TIPO 1	acero medio carbono SAE 1033	1/2" - 1" 1-1/8" - 1-1/2"	120,000 105,000	92,000 81,000	25-34 Rc 19-30 Rc
	-	-	A-490 TIPO 1	acero aleado medio carbono SAE 4140/S740	1/2" - 1-1/2"	150,000	130,000	33-38 Rc
	J-429 1	267 4.6	A-307 A	acero bajo carbono SAE 1010	1/4" - 1/2"	60,000	36,000	70-100 Rb
	J-430 1	-	A-502 2	acero bajo carbono SAE 1010	1/8" - 5/8"	52,000	28,000	76 - 85 Rb

Designación ASTM A 490



Standard Specification for Structural Bolts, Alloy Steel, Heat Treated, 150 ksi Minimum Tensile Strength¹

This standard is issued under the fixed designation A 490; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope^a

1.1 This specification covers two types of quenched and tempered, alloy steel, heavy hex structural bolts having a tensile strength of 150 to 175 ksi.

1.2 These bolts are intended for use in structural connections. These connections are covered under the requirements of the Specification for Structural Joints Using Specification A 325 or A 490 bolts, approved by the Research Council on Structural Connections, endorsed by the American Institute of Steel Construction and by the Industrial Fastener Institute.²

1.3 The bolts are furnished in sizes 1/2 to 1 1/2 in., inclusive. They are designated by type denoting chemical composition as follows:

Type	Description
Type 1	Medium carbon alloy steel
Type 2	Withdrawn in 2002
Type 3	Weathering steel

1.4 This specification provides that heavy hex structural bolts shall be furnished unless other dimensional requirements are specified on the purchase order.

1.5 Terms used in this specification are defined in Specification F 1789 unless otherwise defined herein.

1.6 For metric bolts, see Specification A 490M Classes 10.9 and 10.9.3.

1.7 The following safety hazards caveat pertains only to the Test Methods portion, Section 1412 of this specification: *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee F16 on Fasteners and is the direct responsibility of Subcommittee F16.02 on Steel Bolts, Nuts, Rivets, and Washers.

Current edition approved Jan. 1, 2004. Published January 2004. Originally approved in 1964. Last previous edition approved in 2002 as A 490 – 02.

² Available from American Institute of Steel Construction (AISC), One E. Wacker Dr., Suite 2100, Chicago, IL 60601-2001.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

- A 194/A 194M Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High-Pressure and High-Temperature Service
- A 325 Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength
- A 354 Specification for Quenched and Tempered Alloy Steel Bolts, Studs, and Other Externally Threaded Fasteners
- A 563 Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts
- A 751 Test Methods, Practices, and Terminology for Chemical Analysis of Steel Products
- D 3951 Practice for Commercial Packaging
- E 384 Test Method for Microindentation Hardness of Materials
- E 709 Guide for Magnetic Particle Examination
- E 1444 Practice for Magnetic Particle Inspection
- F 436 Specification for Hardened Steel Washers
- F 606 Test Methods for Determining the Mechanical Properties of Externally and Internally Threaded Fasteners, Washers, and Rivets
- F 788/F 788M Specification for Surface Discontinuities of Bolts, Screws, and Studs, Inch and Metric Series
- F 959 Specification for Compressible-Washer-Type Direct Tension Indicators for Use with Structural Fasteners
- F 1470 Guide for Fastener Sampling for Specified Mechanical Properties and Performance Inspection
- F 1789 Terminology for F16 Mechanical Fasteners
- G 101 Guide for Estimating the Atmospheric Corrosion Resistance of Low-Alloy Steels

2.2 ASME Standards:⁴

- B1.1 Unified Screw Threads

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

⁴ Available from American Society of Mechanical Engineers (ASME), ASME International Headquarters, Three Park Ave., New York, NY 10016-5990.

^aA Summary of Changes section appears at the end of this standard.

B18.2.6 Fasteners for Use in Structural Applications
 B18.24.1 Part Identifying Number (PIN) Code System
 2.3 SAE Standard:²
 J121 Decarburization in Hardened and Tempered Threaded Fasteners

3. Ordering Information

- 3.1 Orders for heavy hex structural bolts under this specification shall include the following:
 - 3.1.1 Quantity (number of pieces of bolts and accessories);
 - 3.1.2 Size, including nominal bolt diameter, thread pitch, and bolt length. The thread length shall not be changed;
 - 3.1.3 Name of product: heavy hex structural bolts, or other such bolts as specified;
 - 3.1.4 Type of bolt (Type 1 or 3). When type is not specified, either Type 1 or Type 3 shall be furnished at the supplier's option;
 - 3.1.5 ASTM designation and year of issue;
 - 3.1.6 Other components such as nuts, washers, and washer-type direct tension indicators, if required;
 - 3.1.7 Test Reports, if required (see 15); and
 - 3.1.8 Special requirements;
 - 3.1.9 For establishment of a part identifying system, see ASME B18.24.1.

Note 1—A typical ordering description follows: 1000 pieces 1-8 in. dia x 4 in. long heavy hex structural bolt, Type 1, ASTM A 490 - 02; each with two hardened washers, ASTM F 436 Type 1, and one heavy hex nut, ASTM A 563 Grade DH.

3.2 Recommended Nuts:

3.2.1 Nuts conforming to the requirements of Specification A 563 are the recommended nuts for use with Specification A 490 heavy hex structural bolts. The nuts shall be of the class and have a surface finish for each type of bolt as follows:

Bolt Type and Finish	Nut Class and Finish
1, plain (uncoated)	A 563—DH, DH3 plain (uncoated)
3, weathering steel	A 563—DH3, weathering steel

3.2.2 Alternatively, nuts conforming to Specification A 194 Gr. 2H plain (uncoated) are considered a suitable substitute for use with Specification A 490 Type 1 heavy hex structural bolts.

3.3 *Recommended Washers*—Washers conforming to Specification F 436 are the recommended washers for use with Specification A 490 heavy hex structural bolts. The washers shall have a surface finish for each type of bolt as follows:

Bolt Type and Finish	Washer Finish
1, plain (uncoated)	plain (uncoated)
3, weathering steel	weathering steel

3.4 *Other Accessories*—When compressible washer type direct tension indicators are specified to be used with these bolts, they shall conform to Specification F 959 Type 490.

² Available from Society of Automotive Engineers (SAE), 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096-0001.

4. Materials and Manufacture

4.1 *Heat Treatment*—Type 1 and Type 3 bolts shall be heat treated by quenching in oil from the austenitic temperature and then tempered by reheating to a temperature of not less than 800°F.

4.2 *Threading:*

The threads shall be cut or rolled.

4.3 *Protective Coatings*—The bolts shall not be coated by hot-dip zinc coating, mechanical deposition, or electroplating with zinc or other metallic coatings (Note 2).

Note 2—For more detail see the H. E. Townsend Report "Effects of Zinc Coatings on Stress-Corrosion Cracking and Hydrogen Embrittlement of Low Alloy Steel," published in Metallurgical Transactions, Vol. 6, April 1975.

5. Chemical Composition

5.1 Type 1 bolts shall be alloy steel conforming to the chemical composition specified in Table 1. The steel shall contain sufficient alloying elements to qualify it as an alloy steel (see Note 3).

Note 3—Steel is considered to be alloy by the American Iron and Steel Institute when the maximum of the range given for the content of alloying elements exceeds one or more of the following limits: manganese, 1.65%; silicon, 0.60%; copper, 0.60%; or in which a definite range or a definite minimum quantity of any of the following elements is specified or required within the limits of the recognized field of constructional alloy steels: aluminum, chromium up to 3.99%, cobalt, columbium, molybdenum, nickel, titanium, tungsten, vanadium, zirconium, or any other alloying elements added to obtain a desired alloying effect.

5.2 Type 3 bolts shall be weathering steel conforming to the chemical composition requirements in Table 2. See Guide G 101 for methods of estimating the atmospheric corrosion resistance of low alloy steel.

5.3 Product analyses made on finished bolts representing each lot shall conform to the product analysis requirements specified in Table 1 or Table 2, as applicable.

5.4 Heats of steel to which bismuth, selenium, tellurium, or lead has been intentionally added shall not be used for bolts furnished to this specification. Compliance with this requirement shall be based on certification that steels having these elements intentionally added were not used.

5.5 Chemical analyses shall be performed in accordance with Test Methods, Practices, and Terminology A 751.

6. Mechanical Properties

6.1 *Hardness*—The bolts shall conform to the hardness specified in Table 3.

6.2 *Tensile Properties:*

TABLE 1 Chemical Requirements for Type 1 Bolts

Element	Heat Analysis, %	Product Analysis, %
Carbon		
For sizes through 1 1/4 in.	0.30-0.48	0.28-0.50
For size 1 1/2 in.	0.28-0.53	0.33-0.55
Phosphorus, max	0.040	0.045
Sulfur, max	0.040	0.045
Alloying Elements	— See 5.1 —	

TABLE 2 Chemical Requirements for Type 3 Bolts

Element	Heat Analysis, %	Product Analysis, %
Carbon		
Sizes 0.75 in. and smaller	0.20–0.53	0.19–0.55
Sizes larger than 0.75 in.	0.30–0.53	0.28–0.55
Manganese, min	0.40	0.37
Phosphorus, max	0.035	0.040
Sulfur, max	0.040	0.045
Copper	0.20–0.60	0.17–0.63
Chromium, min	0.45	0.42
Nickel, min	0.20	0.17
or		
Molybdenum, min	0.15	0.14

6.2.1 Except as permitted in 6.2.2 for long bolts and 6.2.3 for short bolts, sizes 1.00 in. and smaller having a length of $2\frac{1}{4}D$ and longer and sizes larger than 1.00 in. having a length of $3D$ and longer shall be wedge tested full size and shall conform to the minimum and maximum wedge tensile load, and proof load or alternative proof load specified in Table 4. The load achieved during proof load testing shall be equal to or greater than the specified proof load.

6.2.2 When the length of the bolt makes full-size testing impractical, machined specimens shall be tested and shall conform to the requirements specified in Table 5. When bolts are tested by both full-size and machined specimen methods, the full-size test shall take precedence.

6.2.3 Sizes 1.00 in. and smaller having a length shorter than $\frac{3}{4}D$ down to $2D$, inclusive, that cannot be wedge tensile tested shall be axially tension tested full size and shall conform to the minimum tensile load and proof load or alternate proof load specified in Table 4. Sizes 1.00 in. and smaller having a length shorter than $2D$ that cannot be axially tension tested shall be qualified on the basis of hardness.

6.2.4 For bolts on which hardness and tension tests are performed, acceptance based on tensile requirements shall take precedence in the event of low hardness readings.

7. Carburization/Decarburization

7.1 *Definition*—This test is intended to evaluate the presence or absence of carburization and decarburization as determined by the difference in microhardness near the surface and core.

7.2 Requirements:

7.2.1 *Carburization*—The bolts shall show no evidence of a carburized surface when evaluated in accordance with the hardness methods established in SAE J121.

7.2.2 *Decarburization*—Hardness value differences shall not exceed the requirements set forth for decarburization in SAE J121 for Class 2/3H materials.

7.3 *Procedure*—Testing for carburization/decarburization shall be performed in accordance with the microhardness (referee) methods established in SAE J121.

8. Dimensions

8.1 Head and Body:

8.1.1 Unless otherwise specified, bolts shall conform to the dimensions for heavy hex structural bolts specified in ASME B18.2.6.

8.1.2 The thread length shall not be changed from that specified in ASME B18.2.6 for heavy hex structural bolts. Bolts requiring thread lengths other than those required by this specification shall be ordered under Specification A 354 Gr. BD.

8.2 *Threads*—Threads shall be the Unified Coarse Thread Series as specified in ASME B1.1 and shall have Class 2A tolerances. When specified, 8 pitch thread series shall be used on bolts over 1 in. in diameter.

9. Workmanship

9.1 The allowable limits, inspection, and evaluation of the surface discontinuities, quench cracks, forging cracks, head bursts, shear bursts, seams, folds, thread laps, voids, tool marks, nicks, and gouges shall be in accordance with Specification F 788/F 788M (see Note 4).

NOTE 4—Specifications F 788/F 788M and F 1470 do not guarantee 100 % freedom from head bursts. Sampling is designed to provide a 95 % confidence level of freedom from head bursts in any test lot. Head bursts, within the limits in Specification F 788/F 788M, are unsightly but do not affect mechanical properties or functional requirements of the bolt.

10. Magnetic Particle Inspection for Longitudinal Discontinuities and Transverse Cracks

10.1 Requirements:

10.1.1 Each sample representative of the lot shall be magnetic particle inspected for longitudinal discontinuities and transverse cracks.

10.1.2 The lot, as represented by the sample, shall be free from nonconforming bolts, as defined in 10.3, when inspected in accordance with 10.2.1–10.2.4.

10.2 Inspection Procedure:

10.2.1 The inspection sample shall be selected at random from each lot in accordance with Table 6 and examined for longitudinal discontinuities and transverse cracks.

10.2.2 Magnetic particle inspection shall be conducted in accordance with Practice E 709 or E 1444. Practice E 709 shall be used for referee purposes. If any nonconforming bolt is found during the manufacturer's examination of the lot selected in 10.2.1, the lot shall be 100 % magnetic particle inspected, and all nonconforming bolts shall be removed and scrapped or destroyed.

10.2.3 Eddy current or liquid penetrant inspection shall be an acceptable substitute for the 100 % magnetic particle inspection when nonconforming bolts are found and 100 % inspection is required. On completion of the eddy current or liquid penetrant inspection, a random sample selected from each lot in accordance with Table 5 shall be re-examined by the magnetic particle method. In case of controversy, the magnetic particle test shall take precedence.

10.2.4 Magnetic particle indications of themselves shall not be cause for rejection. If in the opinion of the quality assurance representative the indications may be cause for rejection, a sample taken in accordance with Table 5 shall be examined by microscopic examination or removal by surface grinding to determine if the indicated discontinuities are within the specified limits.

10.3 Definitions:

**TABLE 3 Hardness Requirements for Bolts
1/2 to 1 1/2 in. Nominal Size**

Size, in.	Length, in.	Brinell		Rockwell C	
		min	max	min	max
1/2 to 1, incl.	Less than 2D ^a	311	352	33	39
	2D ^a and longer	...	352	...	39
Over 1 to 1 1/2, incl.	Less than 3D ^a	311	352	33	39
	3D ^a and longer	...	352	...	39

^a Heavy hex structural bolts 1 in. and smaller and shorter than 2D are subject only to minimum and maximum hardness. Heavy hex structural bolts larger than 1 through 1 1/2 in., in diameter and shorter than 3D are subject only to minimum and maximum hardness.

TABLE 4 Tensile Load Requirements for Full-Size Bolts

Bolt Size, Threads per Inch, and Series Designation	Stress Area, ^a in. ²	Tensile Load, ^b lbf		Proof Load, ^b lbf	Alternative Proof Load, ^b lbf
		min	max	Length Measurement Method	Yield Strength Method
1/2-13 UNC	0.142	21 300	24 600	17 050	18 500
3/8-11 UNC	0.226	33 900	39 100	27 100	29 400
1/2-10 UNC	0.334	50 100	57 800	40 100	43 400
3/4-8 UNC	0.462	69 300	79 950	55 450	60 100
1-8 UNC	0.606	90 800	104 850	72 700	78 800
1 1/8-7 UNC	0.763	114 450	132 000	91 550	99 200
1 1/8-8 UN	0.790	118 500	138 700	94 800	102 700
1 1/4-7 UNC	0.969	145 350	167 650	116 300	126 000
1 1/4-8 UN	1.002	150 000	173 000	120 000	130 000
1 1/2-6 UNC	1.155	173 250	199 850	138 600	150 200
1 1/2-8 UN	1.233	185 000	213 350	148 000	160 300
1 3/8-6 UNC	1.405	210 750	243 100	169 600	182 600
1 3/8-8 UN	1.492	223 800	258 150	179 000	194 000

^a The stress area is calculated as follows:

$$A_s = 0.7854 [D - (0.9743/n)]^2$$

where:

- A_s = stress area, in.²
- D = nominal bolt size, and
- n = threads per inch.

^b Loads tabulated and loads to be used for tests of full-size bolts larger than 1 1/2 in. in diameter are based on the following:

Bolt Size	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6
1/2 to 1 1/2 in., incl.	150 000 psi	173 000 psi	120 000 psi	130 000 psi

TABLE 5 Tensile Strength Requirements for Specimens Machined from Bolts

Bolt Size, in.	Tensile Strength, psi		Yield Strength (0.2% offset), min, psi	Elongation in 2 in. or 50 mm, min, %	Reduction of Area, min, %
	min	max			
1/2 to 1 1/2 in., incl.	150 000	173 000	130 000	14	40

10.3.1 Nonconforming Bolts—Any bolt with a longitudinal discontinuity (located parallel to the axis of the bolt in the threads, body, fillet, or underside of head), with a depth normal to the surface greater than 0.03D, where D is the nominal diameter in inches, shall be considered nonconforming. In

TABLE 6 Sample Sizes with Acceptance and Rejection Numbers for Inspection of Rejectable Longitudinal Discontinuities and Transverse Cracks

Lot Size	Sample Size ^a	Acceptance Number ^a	Rejection Number
2 to 50	all	0	1
51 to 500	50	0	1
501 to 1200	80	0	1
1201 to 3200	125	0	1
3201 to 10 000	200	0	1

^a Inspect all bolts in the lot if lot size is less than sample size.

addition, any bolt with a transverse crack (located perpendicular to the axis of the bolt in the threads, body, fillet, or underside of head) detectable by magnetic particle inspection, shall be considered nonconforming.

11. Number of Tests and Retests

11.1 *Testing Responsibility:*
 11.1.1 Each lot shall be tested by the manufacturer prior to shipment in accordance with the lot identification control quality assurance plan in 11.2-11.5.

11.1.2 When bolts are furnished by a source other than the manufacturer, the Responsible Party as defined in 16.1 shall be responsible for assuring all tests have been performed and the bolts comply with the requirements of this specification.

11.2 *Purpose of Lot Inspection*—The purpose of a lot inspection program shall be to ensure that each lot as represented by the samples tested conforms to the requirements of this specification. For such a plan to be fully effective, it is essential that secondary processors, distributors, and purchasers maintain the identification and integrity of each lot until the product is installed.

11.3 *Lot Method*—All bolts shall be processed in accordance with a lot identification-control quality assurance plan. The manufacturer, secondary processors, and distributors shall identify and maintain the integrity of each lot of bolts from raw-material selection through all processing operations and treatments to final packing and shipment. Each lot shall be assigned its own lot-identification number, each lot shall be tested, and the inspection test reports for each lot shall be retained.

11.4 *Lot Definition*—A lot shall be a quantity of uniquely identified heavy hex structural bolts of the same nominal size and length produced consecutively at the initial operation from a single mill heat of material and processed at one time, by the same process, in the same manner, so that statistical sampling is valid. The identity of the lot and lot integrity shall be maintained throughout all subsequent operations and packaging.

11.5 *Number of Tests:*
 11.5.1 The minimum number of tests from each lot for the tests specified below shall be as follows:

Tests	Number of Tests in Accordance with
Hardness, tensile strength, proof load	Guide F 1470a
Surface discontinuities	Specification F 786F 786M
Magnetic particle inspection	Table 5
Dimensions and thread fit	ASME B18.2.6

11.5.2 For carburization and decarburization tests, not less than one sample unit per manufactured lot shall be tested for microhardness.

12. Test Methods

12.1 *Tensile, Proof Load, and Hardness:*
 12.1.1 Tensile, proof load, and hardness tests shall be conducted in accordance with Test Methods F 606.

12.1.2 Tensile strength shall be determined using the Wedge or Axial Tension Testing Method of Full Size Product Method or the Machined Test Specimens Method, depending on size and length as specified in 6.2.1-6.2.4. Fracture on full-size tests shall be in the body or threads of the bolt without a fracture at the junction of the head and body.

12.1.3 Proof load shall be determined using Method 1, Length Measurement, or Method 2, Yield Strength, at the option of the manufacturer.

12.2 *Carburization/Decarburization*—Tests shall be conducted in accordance with SAE J121 Hardness Method.

12.3 *Microhardness*—Tests shall be conducted in accordance with Test Method E 384.

12.4 *Magnetic Particle*—Inspection shall be conducted in accordance with Section 10.

13. Inspection

13.1 If the inspection described in 13.2 is required by the purchaser, it shall be specified in the inquiry and contract or order.

13.2 The purchaser's representative shall have free entry to all parts of manufacturer's works or supplier's place of business that concern the manufacture of the material ordered. The manufacturer or supplier shall afford the purchaser's representative all reasonable facilities to satisfy him that the material is being furnished in accordance with this specification. All tests and inspections required by the specification that are requested by the purchaser's representative shall be made before shipment, and shall be conducted as not to interfere unnecessarily with the operation of the manufacturer's works or supplier's place of business.

14. Rejection and Rehearing

14.1 Disposition of nonconforming material shall be in accordance with Guide F 1470 section titled "Disposition of Nonconforming Lots."

15. Certification

15.1 When specified on the purchase order, the manufacturer or supplier, whichever is the responsible party as defined in Section 16 shall furnish the purchaser a test report that includes the following:

- 15.1.1 Heat analysis, heat number, and a statement certifying that heats having bismuth, selenium, tellurium, or lead intentionally added were not used to produce the bolts;
- 15.1.2 Results of hardness, tensile, and proof load tests;
- 15.1.3 Results of magnetic particle inspection for longitudinal discontinuities and transverse cracks;
- 15.1.4 Results of tests and inspections for surface discontinuities including visual inspection for head bursts;
- 15.1.5 Results of carburization and decarburization tests;
- 15.1.6 Statement of compliance with dimensional and thread fit requirements;
- 15.1.7 Lot number and purchase order number;
- 15.1.8 Complete mailing address of responsible party; and
- 15.1.9 Title and signature of the individual assigned certification responsibility by the company officers.

15.2 Failure to include all the required information on the test report shall be cause for rejection.

16. Responsibility

16.1 The party responsible for the fastener shall be the organization that supplies the fastener to the purchaser and certifies that the fastener was manufactured, sampled, tested and inspected in accordance with this specification and meets all of its requirements.

17. Product Marking

17.1 *Manufacturer's Identification*—All Type 1 and Type 3 bolts shall be marked by the manufacturer with a unique identifier to identify the manufacturer or private label distributor, as appropriate.

17.2 *Grade Identification*:

17.2.1 Type 1 bolts shall be marked "A 490."

17.2.2 Type 3 bolts shall be marked "A 490" underlined.

17.3 *Marking Location and Methods*—All marking shall be located on the top of the bolt head and shall be either raised or depressed at the manufacturer's option.

17.4 *Acceptance Criteria*—Bolts that are not marked in accordance with these provisions shall be considered nonconforming and subject to rejection.

17.5 Type and manufacturer's or private label distributor's identification shall be separate and distinct. The two identifications shall preferably be in different locations and, when on the same level, shall be separated by at least two spaces.

18. Packaging and Package Marking

18.1 *Packaging*:

18.1.1 Unless otherwise specified, packaging shall be in accordance with Practice D 3951.

18.1.2 When special packaging requirements are required, they shall be defined at the time of the inquiry and order.

18.2 *Package Marking*:

18.2.1 Each shipping unit shall include or be plainly marked with the following information:

18.2.1.1 ASTM designation and type,

18.2.1.2 Size,

18.2.1.3 Name and brand or trademark of the manufacturer,

18.2.1.4 Number of pieces,

18.2.1.5 Lot number,

18.2.1.6 Purchase order number, and

18.2.1.7 Country of origin.

19. Keywords

19.1 bolts; alloy steel; steel; structural; weathering steel

SUMMARY OF CHANGES

Committee F16 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue, A 490-02, that may impact the use of this standard. (Approved Jan. 1, 2004.)

(1) Revised 6.2.1 to include compliance with the maximum tensile values to align with Tables 4 and 5.

(2) In 7.2.1, changed "as" to "no" to correct a typo.

(3) Revised 9.1 to include a note recognizing that Specification F 788/F 788M nor Specification F 470 guarantees 100 % freedom from head burst.

Committee F16 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue, A 490-00, that may impact the use of this standard. (Approved Jan. 10, 2002.)

(1) Revised title to have same structure as A 325.

(2) In 1.1, 1.4, 1.5, 1.3.1, and 8.1.1 used wording limiting specification to heavy hex structural bolts only.

(3) In 1.3, "Description of Types" and throughout the specification, deleted Table 2, "Low Carbon Martensite Steel," because of low use and potential for misapplication.

(4) Deleted the former Section 3, Terminology, because the terms are covered in Specification F 1789.

(5) In 3.1.3, "Ordering Information," specified that thread lengths shall not be changed.

(6) Added 3.4 covering requirements for compressible washer-type direct tension indicators when used.

(7) In 4.1 "Heat Treatment," mandated that Type 3 bolts be quenched in oil.

(8) In 4.3, deleted the reason for prohibiting metallic coatings. Not proper specification information.

(9) Revised 5.3 to permit product analyses to be made by manufacturers and other entities.

(10) In 5.4 add a statement requiring heats be certified as not containing intentionally added free machining elements.

(11) In Table 3, "Hardness," increased the max. hardness from 38 to 39 Rockwell C.

(12) In 6.2.1, 6.2.2, and 6.2.3, revised the size and length break points for wedge testing, machined specimen testing, and axial testing.

(13) In 6.2.1, changed proof load testing from "when specified" to "mandatory."

(14) In Tables 4 and 5, "Tensile Strength," increased the max. tensile strength from 170 000 psi to 173 000 psi. Also recalculated the max. lbf values in Table 4, column 4.

(15) Expanded section 7, "Carburization," to include decarburization. Deleted the test details and referenced SAE J121 for requirements and procedure. Added reference to E 384 for microhardness tests.

(16) In 8.1.1, changed the dimensional reference from B18.2.1 to B18.2.6.

(17) In 8.1.2, prohibited changing the thread/grip lengths from those specified in B18.2.6.

(18) Sections 10.1.1 through 10.4.1, "Magnetic Particle Inspection," revised to make the following changes:

Deleted Method 1 for magnetic particle inspection. Discontinued

In 10.2.2, added reference to Practice E 1444 for magnetic particle inspection.

In 10.2.3, added liquid penetrant inspection as an alternate