



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO**

TEMA

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE GALVANIZADO EN
CALIENTE EN LA RESISTENCIA A LA FATIGA DE PERNOS SAE
GRADO 5 UTILIZADOS EN JUNTAS A CORTE PARA TORRES DE
TELECOMUNICACIONES”**

AUTOR: Eugenio Isaías Martínez Niquinga

TUTOR: Ing. Mg. César Arroba

AMBATO – ECUADOR

2018

Certificación

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE GALVANIZADO EN CALIENTE EN LA RESISTENCIA A LA FATIGA DE PERNOS SAE GRADO 5 UTILIZADOS EN JUNTAS A CORTE PARA TORRES DE TELECOMUNICACIONES”, desarrollado por el estudiante Eugenio Isaias Martinez Niquinga, portador de la cédula de ciudadanía: 1803882628, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, 27 de julio de 2018

.....
DOCENTE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Mg. César Arroba.

Autoría de trabajo

Yo, Eugenio Isaias Martinez Niquinga, portador de la C.I. 1803882628, declaro que las actividades y tareas para la obtención de resultados en el presente Trabajo de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico con el tema: “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE GALVANIZADO EN CALIENTE EN LA RESISTENCIA A LA FATIGA DE PERNOS SAE GRADO 5 UTILIZADOS EN JUNTAS A CORTE PARA TORRES DE TELECOMUNICACIONES”, es exclusivamente auténticos personales y son de absoluta responsabilidad del autor, a excepción de las fuentes bibliográficas que se encuentra citadas en el trabajo de investigación.

Ambato, 27 de julio de 2018

.....
Egdo. Eugenio Isaias Martinez Niquinga

C.I. 1803882628

AUTOR

Derechos de Autor

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigaciones según las normas de la institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos del autor

Ambato, 27 de julio de 2018

.....
Egdo. Eugenio Isaías Martínez Niquinga

C.I. 1803882628

AUTOR

Aprobación del tribunal de grado

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Eugenio Isaías Martínez Niquinga de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE GALVANIZADO EN CALIENTE EN LA RESISTENCIA A LA FATIGA DE PERNOS SAE GRADO 5 UTILIZADOS EN JUNTAS A CORTE PARA TORRES DE TELECOMUNICACIONES”.

Ambato, 27 de julio de 2018

Para constancia firman:

Ing. Mg. Jorge Guamanquispe

Ing. Mg. Gonzalo López

Dedicatoria

A mis padres Félix Martínez y Margarita Niquinga por guiarme y apoyarme en toda mi vida e inculcarme el sentimiento de seguir adelante en un camino de superación personal el cual nos permita obtener una mejor estabilidad emocional y espiritual.

A mis hermanos y hermanas (César, Mayra, Victor, Diana, Josue y Mauro) por permanecer siempre con su constante presencia motivándome a mantenerme en pie y mostrarme la realidad de la vida y valor del esfuerzo con lo cual me han brindado una señal de luz hacia la superación.

A mis sobrinos: Kevin, Anthony, Diego, Elias, Ariel, Wladimir, Dylan, Jonathan, los gemelos y sobrinas: Ericka y Carolina que me han otorgado alegría constante y un motivo de seguir adelante demostrando un pequeño ejemplo.

A mis amigos y amigas que me han motivado a seguir adelante y poder obtener esta grandiosa recompensa.

Agradecimiento

A la Universidad Técnica de Ambato por darnos todos los medios para poder desarrollar las bases de nuestra vida profesional y a todos los Ingenieros de la Facultad de Ingeniería Mecánica quienes me guiaron para desarrollar mi tema de tesis.

A mi tutor el Ing. César Arroba por su comprensión y ayuda permanente en el desarrollo de este proyecto de investigación.

A Dios por regalarme un día más de vida y disfrutar de lo maravilloso que es compartir momentos inolvidables con nuestros seres queridos.

A mi grandiosa familia porque a pesar de todas las dificultades que nos han sucedido hace poco tiempo siempre hemos tratado de seguir adelante ya que todos esos acontecimientos nos han mostrado la realidad de la vida y búsqueda de Dios como un camino importante hacia la superación personal y colectiva.

A mis compañeros de trabajo de los laboratorios los ingenieros Sebastián Villegas, Byron López, Wladimir Caguana, Verito Merino, Gaby Jiménez, Jackeline Grefa y Luis Favicela por brindarme una increíble motivación, apoyo, ayuda y una memorable experiencia laboral.

A los ingenieros Gustavo Camelos, Juan Loza, Javier Defaz, Verito Paredes, Lenin Rosero, Marcelo Torres, Eloísa Irigoya, Ximena Mariño, Darío Ulloa, Lizandro Berrones, Maribel Zurita y Xavier Valencia que han trabajado y aun lo hacen en el Ministerio de Industrias y Productividad por su motivación, colaboración y ayuda permanente como amigos y compañeros de trabajo.

A mis amigos que han creado muchos momentos increíbles en la universidad creando recuerdos que nos permitirán mirar hacia atrás y sonreír.

Índice

Certificación	II
Autoría de trabajo	III
Derechos de Autor	IV
Aprobación del tribunal de grado	V
Dedicatoria	VI
Agradecimiento	VII
Índice	VIII
Índice de imágenes	XII
Índice de tablas	XVI
Resumen ejecutivo	XX
Capítulo I	1
1.1 Tema del trabajo experimental	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo General:	3
1.4.2 Objetivos Específicos:	4
Capítulo II	5
2.1 Fundamentación teórica	5
2.1.1 Galvanizado	5
2.1.1.1 Galvanizado por Inmersión en Caliente (discontinua)	6
2.1.1.2 Proceso de Galvanizado por Inmersión en Caliente	6
2.1.1.3 Desengrase	7
2.1.1.4 Decapado ácido	7
2.1.1.5 Fluxado	8
2.1.1.6 Galvanizado en Caliente	9
2.1.1.7 Control de Calidad	9

2.1.1.8 Micrografía de Galvanizado	10
2.1.1.9 Dureza de Galvanizado.....	11
2.1.1.10 Espesor de Galvanizado	12
2.1.2.1 Esfuerzos uniformemente distribuidos	13
2.1.2.2 Fatiga.....	14
2.1.2.3 Curva S/N.....	15
2.1.2.4 Resistencia a la Fatiga/ Limite de Fatiga/ Limite de vida a Fatiga.....	16
2.1.2.5 Etapas de desarrollo de la Fatiga	18
2.1.2.6 Etapa I.....	19
2.1.2.7 Etapa II.....	20
2.1.2.8 Etapa III.....	20
2.1.2.9 Limite de resistencia a la fatiga	20
2.1.2.10 Resistencia a la fatiga	21
2.1.2.11 Factores que afectan la resistencia a la fatiga.....	22
2.1.2.12 Concentración de esfuerzos y sensibilidad a la muesca	25
2.2 Hipótesis.....	25
2.3 Señalamiento de variables de la hipótesis.....	26
2.3.1 Variable Independiente.....	26
2.3.2 Variable Dependiente	26
Capítulo III.	26
3.1 Nivel o tipo de investigación	26
3.1.1 Exploratoria	26
3.1.2 Descriptivo	26
3.1.3 Experimental	26
3.1.4 Bibliográfica.....	27
3.1.5 Correlacional	27
3.2 Población y muestra.....	27
3.2.1 Población.....	27

3.2.2 Muestra.....	27
3.3 Operacionalización de variables	28
3.3.1 Variable Independiente.....	28
3.3.2 Variable Dependiente	29
3.4 Plan de recolección de información.....	30
3.5 Plan de procesamiento y análisis	39
Capítulo IV	39
4.1 Caracterización del método de ensayo	39
4.2 Caracterización del material de los pernos	44
4.3 Recolección de datos	47
4.3.1 Fichas de ensayo pernos SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a cortante sin rosca.....	49
4.3.2 Fichas de ensayo pernos SAE grado 5 galvanizados y con sección a cortante sin rosca.....	62
4.3.3 Fichas de ensayo pernos SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a cortante roscada.....	76
4.3.4 Fichas de ensayo pernos SAE grado 5 galvanizados y con sección a cortante roscada.....	90
4.4 Identificación posterior.....	104
4.5 Ensayo Visual y Macrografía:	105
4.6 Análisis Microestructural	118
4.7 Análisis de espesores de recubrimiento galvanizado	120
4.8 Análisis de los resultados	124
4.10 Determinación del factor de concentración de esfuerzos	133
4.11 Procedimiento de análisis mediante Software de elementos finitos.....	134
4.12 Análisis de Microscopia	139
4.13 Verificación de hipótesis	144
Capítulo V	147
5.1 Conclusiones.....	147

5.2	Recomendaciones	148
C.-	Materiales de referencia	149
1.	Bibliografía.....	149
2.	Anexos	152
Anexo A.	Ficha de Recolección de datos de Ensayos a Fatiga	153
Anexo B.	Ficha de Recolección de datos de Ensayo Metalográfico	155

Índice de imágenes

Imagen 1. Etapas del proceso de Galvanizado.	6
Imagen 2. Proceso de Desengrase.	7
Imagen 3. Elementos extraídos del tanque de decapado acido.....	7
Imagen 4. Formación de la capa de fluxado sobre el metal base.	8
Imagen 5. Extracción elementos galvanizados.....	9
Imagen 6. Control de calidad de galvanizado.	10
Imagen 7. Fotomicrografía del revestimiento galvanizado.	10
Imagen 8. Revestimiento de zinc alrededor de borde curvado.....	11
Imagen 9. Dureza Vickers del Galvanizado.	12
Imagen 10. Curva de típica de fatiga.....	15
Imagen 11. Aparición discontinuidades debido a la aplicación repetitiva de tensión. .	16
Imagen 12. Representación gráfica de la Tabla 3.....	16
Imagen 13. Curva de resistencia a fatiga.....	17
Imagen 14. Falla por fatiga de un perno.....	19
Imagen 15. Superficie con fractura por fatiga, (a) Fotografía de muelle de válvula de estrangulación. (b) Micrografa 10X del inicio de la rotura, (c) Micrografía SEM 60X que muestra un mayor acercamiento al origen de la rotura.	19
Imagen 16. Límites de resistencia a fatiga obtenidos experimentalmente.	21
Imagen 17. Esquema de montaje del perno a simple cizalladura.	30
Imagen 18. Cilindro oleo hidráulico.....	31
Imagen 19. Bomba oleo hidráulica de paletas.....	31
Imagen 20. Electroválvula bidireccional.....	31
Imagen 21. Motor Trifásico de 7,5 HP de potencia.....	31
Imagen 22. Válvula reguladora de presión.....	32
Imagen 23. Manómetro.	32
Imagen 24. Cuadro de control de la Maquina de ensayos a fatiga de juntas a corte.	32
Imagen 25. Cuadro de encendido del motor de la bomba.	33

Imagen 26. Placas de montaje de los pernos.	33
Imagen 27. Torneado de bocines de acero AISI 4340.....	34
Imagen 28. Bocines maquinados.....	34
Imagen 29. Introducción de bocines en viruta de acero.	34
Imagen 30. Horno tras dos horas de alcanzar la temperatura de 850 °C.....	34
Imagen 31. Pirómetro para medir temperatura.....	35
Imagen 32. Verificación de temperatura del temple.....	35
Imagen 33. Proceso de temple de los bocines.	35
Imagen 34. Ensamble de máquina de ensayos a fatiga.....	36
Imagen 35. Máquina de ensayos a fatiga para juntas a corte.	36
Imagen 36. Torquímetro de aguja.	37
Imagen 37. Visualización del galvanizado de los pernos SAE grado 5.	37
Imagen 38. Microscopio SEM.....	38
Imagen 39. Identificación de muestras.....	38
Imagen 40. Muestras sobre el porta probetas.	38
Imagen 41. Ajuste de probetas.	38
Imagen 42. Características de los pernos SAE.....	40
Imagen 43. Especificaciones perno SAE grado 5.....	45
Imagen 44. Especificaciones perno SAE grado 5 de ½” por 2,5” de longitud.....	45
Imagen 45. Especificaciones perno SAE grado 5 de 3” de longitud.....	45
Imagen 46. Pernos para los respectivos ensayos.	46
Imagen 47. Modelado de elemento	134
Imagen 48. Panel de ensayo	135
Imagen 49. Curva SN para aceros de mediana resistencia.....	135
Imagen 50. Configuración de Material.....	136
Imagen 51. Importación de la geometría.....	136
Imagen 52. Ingreso al Model para el análisis	137
Imagen 53. Generación de malla.....	137

Imagen 54. Configuración de la fuerza cortante	137
Imagen 55. Configuración de opciones Solution	138
Imagen 56. Resultados del número de ciclos de falla opción Life	138
Imagen 57. Imagen SEM tomada a 25 KV con una magnificación de 31x y con una altura de trabajo WD de 2.11mm mediante el uso del Haz de secundarios.....	139
Imagen 58. Imagen SEM tomada a 25 KV con una magnificación de 31x y con una altura de trabajo WD de 2.11mm mediante el uso del Haz de retro dispersos.....	139
Imagen 59. Imagen SEM donde se localiza el borde de inicio de fractura del perno tomada a 20 KV con una magnificación de 58x y una distancia de trabajo de 15.82 mm mediante el detector de electrones secundarios.....	140
Imagen 60. Imagen SEM donde se acerca y se ubica la separación de los pliegues de playa que aparecen en una fractura a fatiga tomada a 20 KV con una magnificación de 299x y una distancia de trabajo de 15.58 mm mediante el detector de electrones secundarios.....	140
Imagen 61. Imagen SEM donde se muestra la distancia desde el borde de inicio de fractura del perno hasta el final de los pliegues de playa tomada a 20 KV con una magnificación de 170x y una distancia de trabajo de 16.84 mm mediante el detector de electrones secundarios.....	141
Imagen 62. Imagen SEM donde se muestran cráteres que aparecen en la zona central del perno donde el perno ha perdido la ductilidad tomada a 25 KV con una magnificación de 2940x y una distancia de trabajo de 11.64 mm mediante el detector de electrones secundarios.....	141
Imagen 63. Imagen SEM donde se muestran cráteres que aparecen en la zona central del perno donde el perno ha perdido la ductilidad tomada a 25 KV con una magnificación de 2940x y una distancia de trabajo de 11.64 mm mediante el detector de electrones retrodispersos.....	142
Imagen 64. Imagen SEM donde se muestra el inicio de la fractura localizada junto al borde del perno en medio de la rosca con las marcas de playa que se evidencian tomada a 25 KV con una magnificación de 2940x y una distancia de trabajo de 11.64 mm mediante el detector de electrones retrodispersos.....	142
Imagen 65. Imagen SEM donde se muestran grietas microscópicas debidas la galvanización ya que las grietas se muestran de forma perpendicular al borde del perno	

tomada a 20 KV con una magnificación de 579x y una distancia de trabajo de 22.68 mm mediante el detector de electrones secundarios.....	143
Imagen 66. Imagen SEM donde se muestran grietas microscópicas debidas la galvanización con una longitud aproximada 50um tomada a 20 KV con una magnificación de 579x y una distancia de trabajo de 22.68 mm mediante el detector de electrones secundarios.....	143
Imagen 67. Gráfico de comparación de valores Tstudent.	146

Índice de tablas

Tabla 1. Características principales de los métodos de Galvanización	5
Tabla 2. Espesores recomendados para piezas pequeñas centrifugas según Norma ASTM A153/A 153M-05	12
Tabla 3. Resistencia a fatiga y resistencia a tracción (Rm).	17
Tabla 4. Constantes a y b para el cálculo del factor de superficie, Ka	23
Tabla 5. Variación de propiedades con la temperatura.	24
Tabla 6. Factores de confiabilidad.....	24
Tabla 7. Nivel de Confianza para tamaños muestrales.....	28
Tabla 8. Operacionalización de la Variable Independiente.....	28
Tabla 9. Operacionalización de la Variable Dependiente	29
Tabla 10. Especificaciones para pernos grado SAE.....	39
Tabla 11. Codificación para identificación de pernos ensayados.....	44
Tabla 12. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG1	49
Tabla 13. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG 2	51
Tabla 14. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG3	52
Tabla 15. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG4	54
Tabla 16. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG5	56
Tabla 17. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG6	58
Tabla 18. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG7	60
Tabla 19. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR1	62

Tabla 20. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR2	64
Tabla 21. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR3	66
Tabla 22. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR4	68
Tabla 23. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR5	70
Tabla 24. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR6	72
Tabla 25. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR7	74
Tabla 26. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRSG1	76
Tabla 27. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRSG2.....	78
Tabla 28. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRSG3.....	80
Tabla 29. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRSG4.....	82
Tabla 30. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRSG5.....	84
Tabla 31. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRSG6.....	86
Tabla 32. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRSG7.....	88
Tabla 33. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG1	90
Tabla 34. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG2.....	92

Tabla 35. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG3.....	94
Tabla 36. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG4.....	96
Tabla 37. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG5.....	98
Tabla 38. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG6.....	100
Tabla 39. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG7.....	102
Tabla 40. Composición de los Pernos SAE.....	105
Tabla 41. Ficha de ensayo visual y macrográfico de pernos SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca.	106
Tabla 42. Ficha de ensayo visual y macrográfico de pernos SAE grado 5 galvanizados y con sección a ensayar por cortante sin rosca.	109
Tabla 43. Ficha de ensayo visual y macrográfico de pernos SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante roscada.	112
Tabla 44. Ficha de ensayo visual y macrográfico de pernos SAE grado 5 galvanizados y con sección a ensayar por cortante roscada.	115
Tabla 45. Análisis Metalográfico de los pernos galvanizados SAE grado 5.....	118
Tabla 46. Ficha de ensayo visual y macrográfico de pernos SAE grado 5 galvanizados y con sección a ensayar por cortante roscada.	120
Tabla 47. Ficha de análisis de resultados de pernos con su sección ensayada sin rosca galvanizados vs sin galvanizar.	124
Tabla 48. Ficha de análisis de resultados de pernos galvanizados con su sección ensayada sin rosca.	126
Tabla 49. Ficha de análisis de resultados de pernos con su sección ensayada con rosca galvanizados vs sin galvanizar.	128
Tabla 50. Ficha de análisis de resultados de pernos analizados el espesor del galvanizado.....	130
Tabla 51. Tabla de ponderación de probetas.	131

Tabla 52. Tabla de valoración	132
Tabla 53. Tabla de limites	132
Tabla 54. Tabla de resultados pernos sin galvanizar	133
Tabla 55. Tabla tabulada de SN de acero de mediana resistencia.	136
Tabla 56. Tabla de datos de base para la verificación de la hipótesis de la influencia del galvanizado.....	145

Resumen ejecutivo

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE GALVANIZADO EN CALIENTE EN LA RESISTENCIA A LA FATIGA DE PERNOS SAE GRADO 5 UTILIZADOS EN JUNTAS A CORTE PARA TORRES DE TELECOMUNICACIONES.

Autor: Eugenio Martínez

Tutor: Ing. Mg. César Arroba

El trabajo experimental fue desarrollado para determinar la influencia del proceso de galvanizado en caliente para evaluar la vida a fatiga de los pernos SAE grado 5 que son muy utilizados en la industria de la construcción de torres de telecomunicaciones pues los pernos de esta denominación no vienen galvanizados y la empresa que realiza este tipo de edificaciones realiza el tratamiento térmico con el fin de prolongar su vida útil debido a estos motivos se plantea obtener la variación del número de ciclos de dichos pernos hasta su fractura final y poder brindar un criterio de falla como prevención de uso y además de conocer la influencia del montaje de pernos con su sección roscada en el plano de corte de las placas.

Se procedió a fabricar un mecanismo de ensayo para simular las condiciones de trabajo de los pernos y a galvanizar los pernos para ensayarlos sometidos a esfuerzos cíclicos y similar ajuste de torque manteniendo las mismas condiciones de ensayo en todos los casos.

Los ensayos a cortante de los pernos mostraron que existe una disminución de la resistencia de los pernos galvanizados que no tienen su sección de ensayo roscada de 13% con respecto a los pernos sin galvanizar y sin sección de ensayo roscada. El siguiente ensayo de los pernos con su sección de ensayo roscada mostro una extrema disminución de la resistencia la cual sobrepasa el 95% y perjudica en exceso el funcionamiento de cualquier equipo o mecanismo que use los pernos de esa manera.

Palabras clave: Pernos, vida, fatiga, SAE, resistencia, galvanizado, cortante, caliente, ciclos, torres.

Abstract

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE PROCESS OF HOT DIP GALVANIZATION IN THE RESISTANCE OF SAE GRADE 5 SCREWS USED IN CUT GASKETS FOR TELECOMMUNICATION TOWERS

Author: Eugenio Martinez

Tutor: Ing. Mg. César Arroba

This experimental work was done to determine the influence of hot-dip galvanization processes to evaluate the fatigue resistance of SAE grade 5 screws, which are often used in the construction of telecommunication towers, as screws of this denomination do not come galvanized and the company that build this type of structures uses heat treatment in order to lengthen service life due to these reasons we propose the obtainment of variation in the number of cycles of the afore mentioned screws until their final fracture and to be able to give a failure criteria as use prevention and also to know the influence of screw assemblage with their thread in the plane of plate cutting.

We proceeded to create a test mechanism to simulate the working conditions of the screws and to galvanize the screws in order to test them, subjecting them to cyclic strains and similar torque adjustments, maintaining the same test conditions in each case

These tests showed a decline of the resistance in galvanized screws that do not have a threaded test section of 13% with respect to the screws that were not galvanized and did not have a threaded test section. The following test of screws with a threaded test section shows an extreme decrease of the resistance which surpasses 95% and is exceedingly harmful to the performance of any equipment or mechanism that uses screws in this fashion.

Keywords: Bolts, life, fatigue, SAE, resistance, galvanized, shearing, hot, cycles, towers.

Capítulo I

ANTECEDENTES

1.1 Tema del trabajo experimental

“Análisis de la Influencia del Proceso de Galvanizado en Caliente en la Resistencia a la Fatiga de Pernos SAE grado 5 utilizados en juntas a corte para torres de telecomunicaciones”

1.2 Antecedentes

En el artículo técnico “EVALUATING RELAXATION OF HIGH-STRENGTH BOLTS BY PARAMETERS ON SLIP FAYING SURFACES OF BOLTED CONNECTIONS” redactado por H. Nah, H. Lee, K. Kim, J. Kim y W. Kim para la revista International Journal of Steel Structures resume lo siguiente:

- La fuerza de sujeción inicial que un perno obtiene se va reduciendo a medida que pasa el tiempo debido al deslizamiento de las conexiones atornilladas, es decir que la reducción de la fuerza de sujeción es distinto para pernos sometidos a diferentes tratamientos superficiales, se observó mediante ensayos que la disminución del deslizamiento de las juntas sin revestir disminuyó un 6,2% la fuerza de sujeción, las revestidas con una capa de 5 mil de espesor de zinc disminuyó un 8,37% y las de plomo rojo con una capa de 4,9 mm de espesor un 24,6% por lo tanto no es recomendable el revestimiento de plomo rojo para juntas atornilladas. [1]

En el artículo técnico “SLIP RESISTANCE OF METALIZED–GALVANIZED FAYING SURFACES IN STEEL BRIDGE CONSTRUCTION” redactado por C. Annan y A. Chiza para la revista Journal of Constructional Steel Research resume lo siguiente:

- La resistencia al deslizamiento de juntas atornilladas dependen del estado superficial de los elementos de unión, en la construcción de puentes de acero es importante que las superficies expuestas al ambiente tengan protección para la corrosión y para disminuir su deterioro se realizó ensayos con acabados superficiales metalizados, galvanizados y no recubiertos con regímenes de prueba a tensión y compresión para obtener un coeficiente de deslizamiento

medio, como resultado se conoció que las superficies metalizadas tienen una resistencia de deslizamiento mayor que las galvanizadas y no recubiertas. [2]

En el artículo técnico “FAILURE ANALYSIS OF HIGH STRENGTH GALVANIZED BOLTS USED IN STEEL TOWERS” redactado por J. Álvarez, R. Lacalle, B. Arroyo, S. Cicero y F. Gutiérrez-Solana para la revista Metals resume lo siguiente:

- El artículo analiza las fallas de tres pernos usados en conexiones de torres de acero del norte de Europa, se utilizan varios métodos para la identificación de las fallas. Se analizó mediante microscopía electrónica de barrido, visual, análisis metalográfico y de dureza. Se presentan en los pernos el crecimiento y propagación de la grieta hasta la falla final del elemento de unión y el factor de rapidez del crecimiento de la grieta se debe a la fisuración por corrosión ocasionado por hidrógeno y se descarta la falla debido a fatiga.

En el artículo técnico “STUDY ON SELF-LOOSENING OF BOLTED JOINTS EXCITED BY DYNAMIC AXIAL LOAD” redactado por J. Liu, H. Ouyang, Z. Cai, X. Liu y M. Zhu para la revista Tribology International concluye lo siguiente:

- El artículo muestra el aflojamiento que se producen en las juntas atornilladas y se los somete a precargas y amplitudes de excitación para determinar los efectos en el rendimiento antilooscencia luego se analiza los efectos de la precarga mediante análisis SEM y software teniendo similitud en ambos resultados y deduciendo que los pernos revestidos tienen mejor rendimiento que los no revestidos. [3]

1.3 Justificación

Las estructuras metálicas se han convertido en los pilares del desarrollo tecnológico a nivel mundial, estas estructuras tienen diversos campos de aplicación debido a la resistencia que brindan. La Industria de la Telecomunicación es una de las que se beneficia de estas estructuras debido a que las utilizan para la interconexión de las redes de telecomunicación, el uso e interés por mantener estas estructuras en pie más tiempo y sin mayores costos de mantenimiento ha aumentado debido a los avances tecnológicos de la última década.

Actualmente el uso de un dispositivo móvil es indispensable para la comunicación entre personas, por lo cual aumenta la utilidad y el uso de las redes de telecomunicación que se interconectan entre sí para aumentar la cobertura y brindar un mejor servicio a los

usuarios, de esta manera las empresas de telecomunicación mejoran su servicio y les permita ser competitivas en el Mercado local e internacional.

A nivel Internacional, específicamente al Norte de Europa el interés por conocer las deficiencias que podrían tener este tipo de estructuras ha crecido, por lo cual diversas entidades tanto públicas como privadas buscan conocer las fallas que tienen tales estructuras, sin embargo, los análisis que realizan es una vez que las estructuras fallan. Su criterio de análisis se basa en que los pernos que emplean tienen características propias que exige la ASTM y para ciertas aplicaciones. [4]

Las Telecomunicaciones en nuestro país también han tenido un alto crecimiento según el impacto que causa la tecnología. De tal manera que es muy importante un análisis exhaustivo del tema debido al costo que requiere el diseño y construcción de estas estructuras y el conocer los límites permisibles de los elementos de unión permitirá su mejor aplicación. La aplicación de elementos de unión para la construcción de estas estructuras son los que provee características SAE. Sin embargo, no existen estudios de la factibilidad de parte de entidades relacionadas.

A nivel local no se registran análisis sobre el tema en los cuales se pueda obtener un criterio específico. De esta manera es conveniente analizar las propiedades metalográficas y variaciones que lleguen a obtenerse luego de tratamientos térmicos a los que son sometidas los pernos SAE grado 5.

El análisis permitirá recomendar o descartar el uso de dichos pernos según sea el resultado que se obtenga y una vez concluido el análisis permitirá obtener un panorama mucho más amplio de resistencia de estos elementos.

Los beneficiarios de este estudio son usuarios, proveedores de comunicación celular y empresas constructoras de estructuras metálicas permitiéndoles obtener un estudio de factibilidad de sus construcciones y promover la seguridad de las mismas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

- Analizar la influencia del proceso de galvanizado en caliente en la resistencia a la fatiga de pernos SAE Grado 5, utilizados en juntas a corte para torres de telecomunicaciones.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Determinar la variación del número de ciclos a los que se produce la falla en pernos sin el proceso de galvanizado y con el proceso de galvanizado.
- Analizar la variación de la micro estructura en pernos sin el proceso de galvanizado y con el proceso de galvanizado.
- Determinar la variación de la sensibilidad a fatiga en la zona roscada de los pernos, para determinar el factor de concentración de esfuerzos de fatiga.
- Proponer un procedimiento de diseño de juntas a corte utilizando software de elementos finitos.

Capítulo II FUNDAMENTACIÓN

2.1 Fundamentación teórica

2.1.1 Galvanizado

El proceso de galvanizado es conocido como el proceso en el cual se aplica un recubrimiento generalmente de zinc fundido sobre el acero. El acero es sometido a procesos similares que aplican recubrimientos galvanizados sin embargo no son los mismos. Es decir que no todos los procesos de galvanizado brindan las mismas propiedades. Los procesos de galvanizados otorgan diferentes espesores al material e igualmente el medio en el que se crea son diferentes. Tales factores influyen en la resistencia de los materiales al igual que la carga que estos tienen. Se pueden realizar procesos como: el proceso de galvanizado en caliente en continuo y discontinuo, electrozincado o galvanización en frío y la pulverización térmica de zinc. Los recubrimientos de zinc tienden a variar de acuerdo al método que se use por lo cual se muestra una diferencia en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1. Características principales de los métodos de Galvanización

Recubrimiento metálico	Espesores normales (µm)	Aleación con el sustrato	Aplicaciones típicas
Galvanización en caliente (discontinua)	50 - 150	Si	Acero estructural, pequeños componentes, en general todo tipo de piezas.
Galvanización en caliente (continua)	15 - 40	Si	Chapas metálicas para interiores, e.g. conductos de aire acondicionado.
Proyección térmica	80 – 150	No	Estructuras en la construcción.
Electro-zincado o galvanizado electrolítico	5 - 25	No	Pequeños componentes en ambientes interiores.

(Fuente: [5])

2.1.1.1 Galvanizado por Inmersión en Caliente (discontinua)

Se considera al galvanizado por inmersión en caliente como un recubrimiento que se aplican al sumergir el metal en zinc fundido o en aleaciones del mismo de tal manera que puede ser en forma continua o en un proceso por lote. Este método es el más utilizado cuando se trata de brindar un recubrimiento a los aceros debido a que estos recubrimientos brindan buena adherencia entre el recubrimiento y el metal base. El recubrimiento que se ubica crea interfases entre los componentes que tiene una baja ductilidad mostrando como frágil, sin embargo, el proceso no es complicado pero el detalle metalúrgico que interviene en el procedimiento muestra cierto grado de complejidad. [6]

La temperatura de galvanización se encuentra entre (445°C - 460°C), el Zinc y el Acero a esta temperatura reacciona correctamente la fusión. Cuando se completa el baño de zinc entre las piezas se extraen cuando se considera que la reacción se ha completado (el tiempo de reacción no es prolongado). El recubrimiento de Zinc se forma en este período de tiempo mostrando una estructura que se sigue consolidando a medida que el material se encuentra caliente. [6]

2.1.1.2 Proceso de Galvanizado por Inmersión en Caliente

De acuerdo a la fuente podemos mencionar que en el proceso de galvanizado es importante el tratamiento de las piezas antes de galvanizar por lo cual se ha tratado de evidenciar el proceso de galvanizado desde su preparación, de la preparación del material depende la posterior adherencia que obtiene el zinc al metal y la uniformidad del recubrimiento. La secuencia de tratamiento para el galvanizado en caliente de los materiales se detalla en la Imagen 1 la cual muestra el Desengrase, Decapado, Fluxado, Baño de Zinc y Enfriamiento. [7]

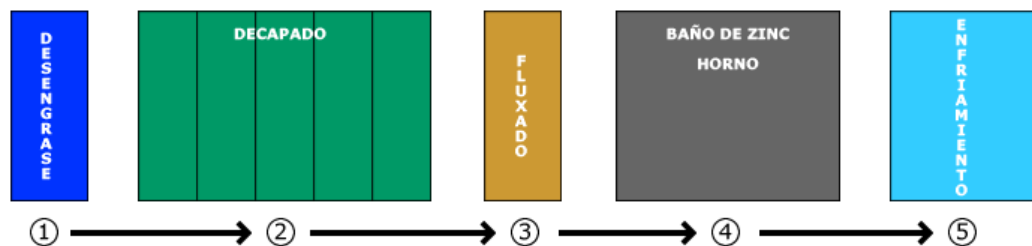


Imagen 1. Etapas del proceso de Galvanizado.

(Fuente: [7])

2.1.1.3 Desengrase

En la fuente nos menciona que es común quitar la grasa mediante soluciones alcalinas o ácidas que permiten eliminar los contaminantes que puede contener el material puesto que pueden ser orgánicos, marcas de pintura, grasa o aceite, para agregar un lavado posterior a la pieza en agua fría. [8]

En la Imagen 2, se muestra la etapa de desengrase en el tanque con solución alcalina eliminando cualquier contaminante que perjudique el proceso.



Imagen 2. Proceso de Desengrase.

(Fuente: [8])

2.1.1.4 Decapado ácido

En este procedimiento nos menciona que se usa ácidos que eliminan el óxido formado en la superficie del material, el ácido puede ser ácido clorhídrico o sulfúrico o una mezcla de ambos componentes. Cuando se trata de materiales especiales se puede usar ácido sulfámico, fluosilícico, fluobórico, etc. [9]

En la Imagen 3, se puede observar la solución acida con la cual se limpian las piezas metálicas para galvanizar.

El ácido clorhídrico debe ser inhibido para evitar que ataque y dañe al metal, este debe contener una concentración de 50%. [9]



Imagen 3. Elementos extraídos del tanque de decapado ácido.

(Fuente: [9])

2.1.1.5 Fluxado

En este procedimiento se utiliza una solución de Cloruro de Zinc y Amonio, la cual se disuelve óxidos formados sobre el material que se haya realizado el proceso de decapado. En la Imagen 4, se puede observar la formación de la película de fundente que protege la superficie de la formación del óxido y brinda un recubrimiento homogéneo de zinc. El material para galvanizar debe secarse y precalentarse previo a sumergirlas en el crisol. [10]

Cuando se realiza un buen proceso de limpieza, decapado y lavado del acero, permitirá una mínima manifestación de humos al ingresar el material en el crisol. La aparición de contaminantes en el preflux interviene en la calidad del galvanizado, y se producen pérdidas de zinc. [10]

La formación de hierro con apariencia de sales solubles creado en el decapado es el contaminante más dañado. Su aparición crea escoria en el crisol y aumenta el espesor del galvanizado creando capas Inter metálicas sin uniformidad ni resistencia. Es recomendable mantener la solución del hierro menor al 0,5% y ajustar el PH del preflux en 5. [10]

En ciertas plantas de galvanización y que no poseen horno de precalentamiento o secado es importante ajustar la temperatura de prefluxado a (55-75) °C ayudando a que el proceso de secado sea mucho más rápido de tal manera que cuando se use Flux este evite salpicaduras y prevenga la emisión de humo cuando se ubiquen las piezas a galvanizar en el crisol, de esta manera se reduce la generación de cenizas y energía. El uso recomendable de componentes para un buen fluxado es el cloruro de zinc y amonio. [10]

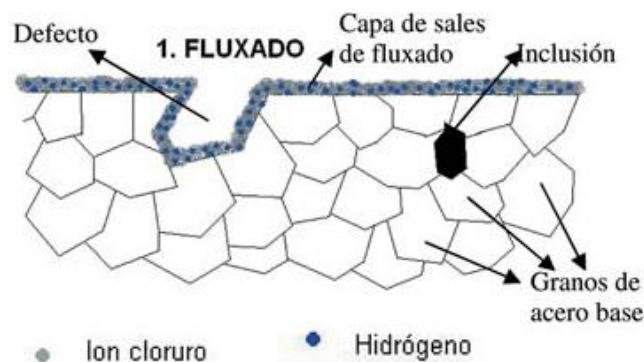


Imagen 4. Formación de la capa de fluxado sobre el metal base.

(Fuente: [11])

2.1.1.6 Galvanizado en Caliente.

La actividad de galvanización en este punto se realiza al sumergir el material en un crisol donde en zinc esta fundido y mantenido a temperatura aproximada de 440°C y 460°C. Sin embargo, existen ciertos procesos en los cuales incluso llegan a operar en temperaturas como los 560°C. La pureza que debe contener el zinc fundido se especifica en diferentes estándares internacionales y europeos los cuales mencionan que deben alcanzar un 98,5% como mínimo para su correcta adherencia en el metal base. En su introducción de los materiales en el baño de zinc fundido se puede evidenciar que se producen diferentes capas Inter metálicas que varían su composición desde el metal base hasta la superficie que entra en contacto con el aire. [12]

Luego de que las piezas se extraen del baño de zinc galvanizado como se muestra en la Imagen 5, las piezas quedan con una capa de zinc que es similar a la del zinc fundido. Para que el recubrimiento de zinc tenga una correcta aplicación sobre la superficie se evidencia que depende diversos factores como la temperatura del zinc fundido, la composición del metal base, el espesor del metal que se va a aplicar el recubrimiento. En cualquier caso, el material que se requiere galvanizar debe mantenerse en el baño de zinc tratando que este alcance la temperatura de la solución. Previo a extraer el material galvanizado es importante remover de la superficie del material la capa fina de óxidos que se genera en el proceso evitando que se adhiera a la superficie. Ocasionando discontinuidades en el mismo. [12]



Imagen 5. Extracción elementos galvanizados.

(Fuente: [12])

2.1.1.7 Control de Calidad

Esta es una etapa en la que se verifica y garantiza que todo el material o elementos galvanizados cumplan con los diferentes estándares como puede ser ASTM A-123 o ASTM A-153, según el caso. [13]

Mediante inspección visual de los elementos como muestra la Imagen 6, se revisa el material acorde a las especificaciones técnicas pertenecientes a cada elemento y obtener su respectiva conformidad. Los aspectos a controlar son acabado, adherencia, espesores y apariencia final.



Imagen 6. Control de calidad de galvanizado.

(Fuente: [13])

2.1.1.8 Micrografía de Galvanizado

En el proceso de galvanizado como se mencionó anteriormente el acero y el zinc reaccionan rápidamente de tal manera que se forman ciertas capas intermetálicas conocidas como las siguientes fases de zinc-hierro: Gamma, Delta, Zeta y Eta, estas se ubican desde el interior hasta el exterior y tienen diferentes espesores y concentraciones de hierro decrecientes que van desde el 25%, 10%, 6% y finalmente 0%. [14]

Las capas Inter metálicas que se forman en el proceso del galvanizado tienen una característica primordial la cual nos muestra que tiene una resistencia a la abrasión que se encuentra entre los 3600 psi. [15]

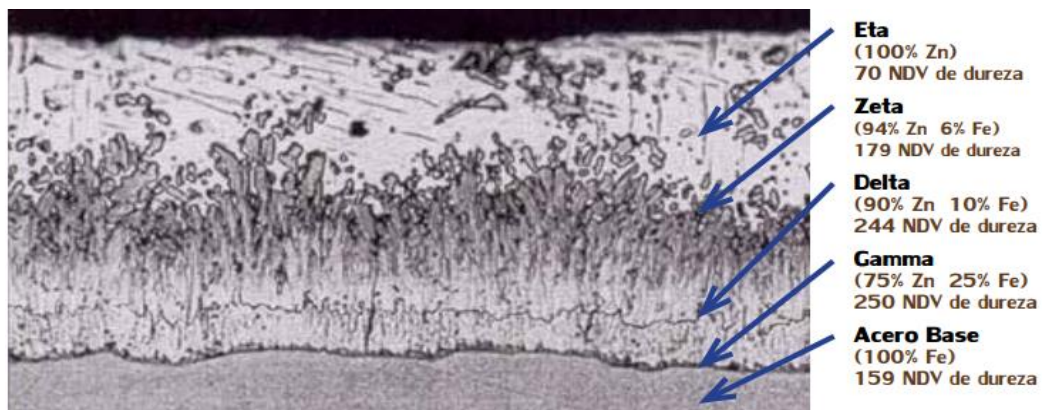


Imagen 7. Fotomicrografía del revestimiento galvanizado.

(Fuente: [15])

La Imagen 7, muestra un corte transversal de un revestimiento galvanizado en caliente en la imagen se puede notar la formación de las capas y como se encuentran distribuidas

sobre el material además que se puede notar la composición de cada componente con su respectiva dureza que debería contener. Las capas se generan de forma natural cuando se realiza el proceso de galvanizado debido a que la reacción metalúrgica se provoca muy rápidamente. Además de acuerdo a la dureza que se muestra en la imagen la cual es en dureza Vickers que la dureza va incrementando acorde a como las capas van alejándose del metal base y mostrando que la dureza del metal base es mucho menor que la capa final galvanizada, la capa esta se denota que posee ductilidad y complica cuando se trata de generar daño en la superficie. [15]

De acuerdo a la reacción química o metalúrgica que se produce cuando se realiza el proceso de galvanizado se puede mencionar que esto provoca que el galvanizado sea creciente en todas las superficies galvanizadas. Por eso, el revestimiento tal como muestra la Imagen 8, es decir que es tan espeso en esquinas y bordes del material como en superficies planas del mismo. [15]

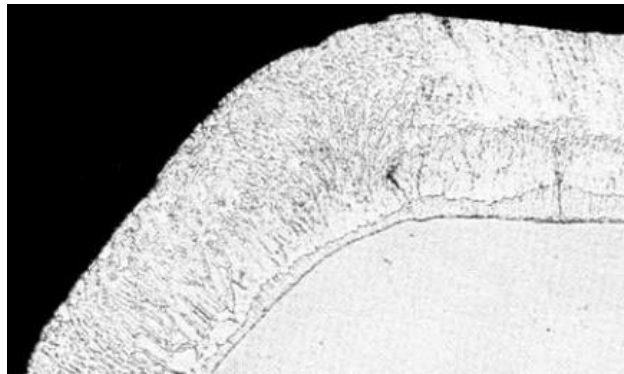


Imagen 8. Revestimiento de zinc alrededor de borde curvado.

(Fuente: [15])

Es evidente que en muchos casos el daño en las superficies con aristas vivas es mucho mayor que de lo común de esta manera se trata de reducir el daño. En métodos en los cuales se aplica el revestimiento con un cepillo o spray genera que el volumen en esquinas y bordes disminuya su resistencia. [15]

2.1.1.9 Dureza de Galvanizado

El recubrimiento galvanizado es muy resistente debido a que tienen buenas propiedades mecánicas de las capas Inter metálicas. La Imagen 13 muestra un diagrama de la dureza de estas capas, expresada en unidades Vickers (HV). [16]

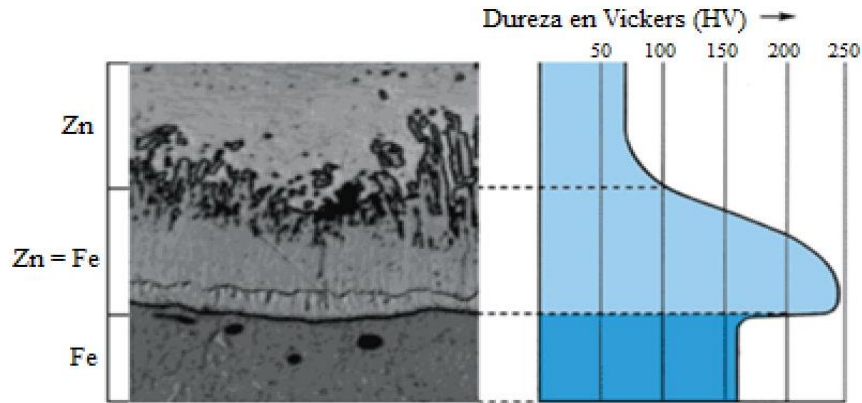


Imagen 9. Dureza Vickers del Galvanizado.

(Fuente: [16])

Los aceros suaves tienen una dureza típica de su naturaleza la cual ronda las 160 unidades de dureza Vickers, la consiguiente capa del recubrimiento formada por la aleación zinc-hierro tiene una dureza comprendida hasta 240 HV y la capa exterior de zinc muestra ser más blanda y dúctil que la capa de acero y las capas de la aleación. [16]

Según el texto anterior se puede notar que a cualquier condición de esfuerzo de la capa exterior permite deformarse y absorber el daño mientras que la dureza que contienen sus capas Inter metálicas de aleación proporciona una alta resistencia a la abrasión y en casos que se desprendieran recubrimientos por determinados esfuerzos la capa que se mantendría adherida al metal base sería la capa Gamma de la aleación que seguiría otorgando una protección electroquímica al mismo. [16]

2.1.1.10 Espesor de Galvanizado

Las normas principales para espesores de recubrimiento son ASTM A123 (Para elementos estructurales medianos-grandes) y ASTM A153 (Para herrajes y piezas pequeñas), para el galvanizado de láminas en continuo se utiliza la Norma ASTM A653, para tubos la Norma ASTM A53 y para Electro galvanizado la Norma ASTM B633. En la Tabla 2 se puede apreciar los espesores mínimos exigidos del recubrimiento, según sea el tamaño de la pieza a galvanizar: [16]

Tabla 2. Espesores recomendados para piezas pequeñas centrifugas según Norma ASTM A153/A 153M-05

Tipo de Material	Valor Promedio	Valor Unitario
------------------	----------------	----------------

		μm	g/m^2	μm	g/m^2
Clase A-	Piezas de fundición	86	610	79	550
Clase B1-	Artículos de 3/16" (4.76mm) o más y más de 15" (381mm) de largo	86	610	79	550
Clase B2-	Artículos menores de 3/16" (4.76mm) y más de 15" (381mm) de largo	66	458	53	381
Clase B3-	Cualquier espesor y de 15" (381mm) o menos de largo	56	397	48	336
Tornillería					
Clase C-	\varnothing de 3/8" (9.52mm) o más, arandelas de 3/16" y 1/4" de espesor (4.76mm y 6.35mm)	53	381	43	305
Clase D-	\varnothing de 3/8" (9.52mm) o menor, arandelas de menos de 3/16" de espesor (4.76mm)	43	305	36	259

(Fuente: [16])

2.1.2.1 Esfuerzos uniformemente distribuidos

El esfuerzo conocido también como cortante directo es aquel que se como el esfuerzo distribuido a través de un plano perpendicular a su campo de acción, este debe ejercer cuando no hay flexión sobre el elemento, un ejemplo muy particular puede ser cuando se usa unas tijeras para cortar metal y la acción del corte sobre la hoja metálica atraviesa la superficie. En muchos casos el uso de pernos o tornillos muestran que su campo de trabajo esta basado en muchos casos en este esfuerzo en particular. Se puede mencionar que el esfuerzo cortante directo es uniforme a través de su sección transversal y esta denotada por la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2.1)$$

De donde τ es el esfuerzo cortante, A es el área de la sección transversal de acción del elemento y V es la fuerza cortante, el esfuerzo no es uniforme especialmente en los alrededores donde se aplica la fuerza sin embargo su variación es aceptable lo cual genera valores no muy alejados de la realidad.

2.1.2.2 Fatiga

La fatiga es conocida como la rotura que se produce en elementos que están sometidos a fuerzas dinámicas y fluctuantes en cualquier caso o medio tales pueden ser puentes, aviones, maquinas, etc. De esta manera la resistencia hasta la rotura es mucho menor que su resistencia a tracción o carga estática sometida del elemento mostrando como una tensión sensible o propensa a la falla rápida. La fatiga es una de las principales fallas de los materiales, su termino conocido como Fatiga hacer referencia a cargas o tensiones repetidas en cortos o largos periodos de tiempo según su condición. [17]

Con frecuencia se encuentran maquinas o equipos que fallan de acuerdo a la acción de esfuerzos fluctuantes o repetitivos, y al realizar un análisis cuidadoso se revela que su falla estuvo por debajo de la resistencia ultima e incluso muy por debajo de su limite de cedencia dependiendo del caso de estudio o del modo de trabajo de los componentes y una singularidad de esta falla es que produjeron su falla cuando fueron sometidos a un determinado numero de ciclos por lo cual se llama falla por fatiga. [18]

Una característica importante es que los elementos sometidos a esfuerzos fluctuantes tienden fallar en tensiones que se encuentran muy por debajo de tensiones que harían fallar a los elementos con cargas. [19]

El hecho de su reducción de la resistencia se puede mencionar que se genera debido a que existen regiones microscópicas donde el esfuerzo es mayor en ciertos casos debido a que actúa en forma transversal y según la repetición de las cargas se generan grietas microscópicas que aumenta el riesgo de generarse el fallo. Las grietas ocasionan que aumente el esfuerzo en las fronteras y va reduciendo el área y creando un punto en el que el elemento ya no soporta la carga repetida y produce su fractura súbita. [20]

Cuando se trata de determinar la fuerza de falla del material es necesario realizar ensayos, por ejemplo, en el caso de que requiera es importante ensayar a varios niveles de esfuerzo y extraer del número de ciclos de falla respectivos. Se puede ensayar una probeta en ensayos a tensión y carga repetida obteniendo un σ_1 . Los ensayos se continúan y registrando el número de ciclos de cada uno cuando ocurre la fractura. Se debe variar los esfuerzos y obtener los valores de la fractura a distintos niveles de esfuerzo. Es importante recolectar la mayor cantidad de datos relevantes para trazar la gráfica del diagrama S/N. [21]

2.1.2.3 Curva S/N

Los resultados que se obtienen del ensayo se ubican en un diagrama que representa al esfuerzo en la ordenada del diagrama y en la abscisa el número de ciclos N . El diagrama se denomina S/N o de esfuerzos-ciclos, y tienen una cualidad que con mucha frecuencia se ubica los valores de N en escala logarítmica debido a que son valores demasiado grandes. [20]

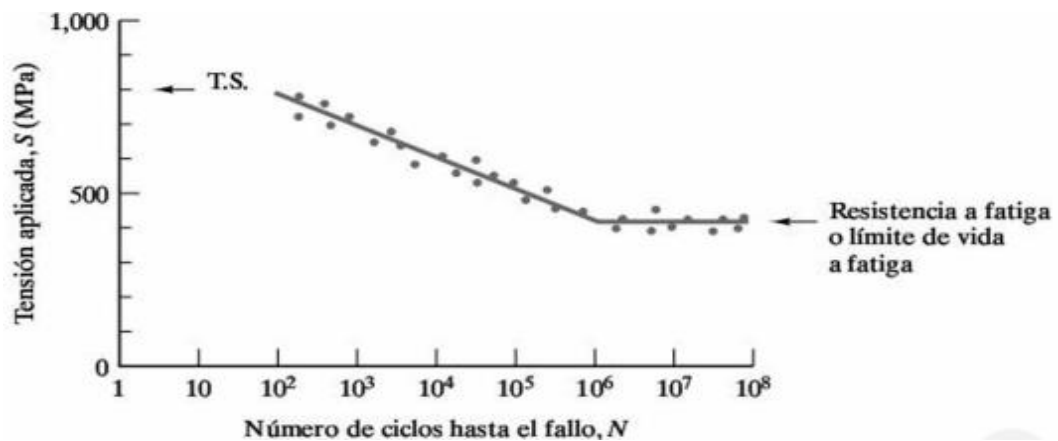


Imagen 10. Curva de típica de fatiga.

(Fuente: [22])

En la imagen 10 se presenta una curva de fatiga típica. El diagrama mostrado en la imagen representa la tensión para diferente número de ciclos a los cuales fueron ensayados y denota la escala logarítmica como característica primordial. Los valores mostrados indican que para un esfuerzo de 800 Mpa que en una única aplicación se rompe luego de 10000 ciclos con una tensión menor a 600 MPa como una resistencia refinada.

En la imagen 11, muestra la aplicación repetitiva de tensión y genera la deformación plástica de la superficie del metal, manifestándose discontinuidades similares a extrusiones o intrusiones que una vez generadas provocan la formación de grietas o discontinuidades a lo largo de toda la superficie reduciendo la resistencia y beneficiando la aparición de grietas. [22]

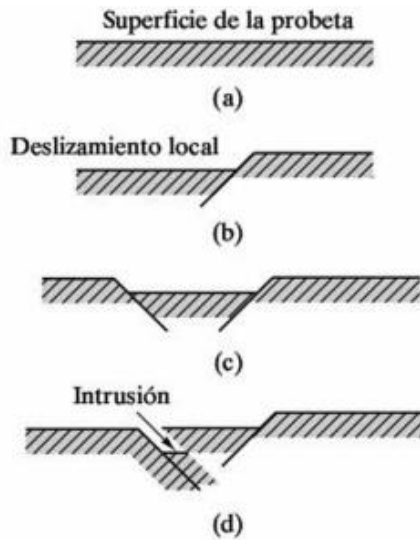


Imagen 11. Aparición discontinuidades debido a la aplicación repetitiva de tensión.

(Fuente: [22])

2.1.2.4 Resistencia a la Fatiga/ Limite de Fatiga/ Limite de vida a Fatiga

La resistencia a la fatiga es muy característico de aleaciones de metales ferrosos. [22]

El límite de resistencia a la fatiga se conoce como aquel valor de esfuerzo mostrado en una gráfica S-N, en la cual se vuelve horizontal. Para los aceros ya existe un valor bien definido de este limite el cual es de $(S_{cl})_{ac} = 27 \text{ klb/pulg}^2$ en el sistema inglés y de 186 MPa en el sistema internacional. [20]

La resistencia a la fatiga de los materiales féreos se encuentra generalmente entre la cuarta parte y la mitad de la resistencia a tracción, mostrado en la Tabla 3 y la Imagen 12.

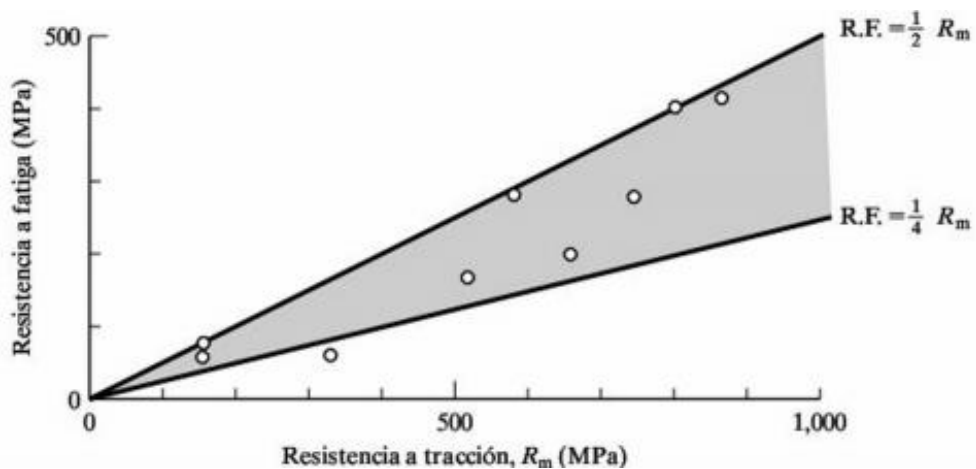


Imagen 12. Representación gráfica de la Tabla 3.

(Fuente: [20])

Tabla 3. Resistencia a fatiga y resistencia a tracción (Rm).

Aleación	Resistencia a fatiga (MPa)	R _m (MPa)
1. Acero al carbono 1040	280	750
2. Acero de baja aleación 8630	400	800
3. a. Acero inoxidable 304		515
3. b. Acero inoxidable 304	170	
7. a. Aluminio 3003-H14	62	150
8. b. Magnesio de moldeo AM100A	69	150
9. a. Ti-5Al-2.5Sn	410	862
10. Bronce al aluminio, 9% (aleación de cobre)	200	652
11. Monel 400 (aleación de níquel)	290	579
12. Cinc AC41A	56	328

(Fuente: [20])

Una curva de resistencia a la fatiga se muestra en la Imagen 13 y denota que si el esfuerzo es menor el número de ciclos de fractura será mayor y si el esfuerzo es mayor el número de ciclos será mucho menor. El **límite de fatiga o límite de resistencia a la fatiga** se vuelve horizontal en ciertos materiales. El límite de resistencia a la fatiga es un valor conocido como el que será el límite bajo el cual no ocurrirá la falla por fatiga sin importar el número de veces al cual se lo someta el esfuerzo o cuantas veces se repita la carga fluctuante. Diversos factores intervienen en la reproducción de la curva SN a fatiga tales pueden ser la geometría de la probeta de ensayo, las propiedades del material, la carga, la condición de la superficie de la probeta o la velocidad del ensayo. [21]

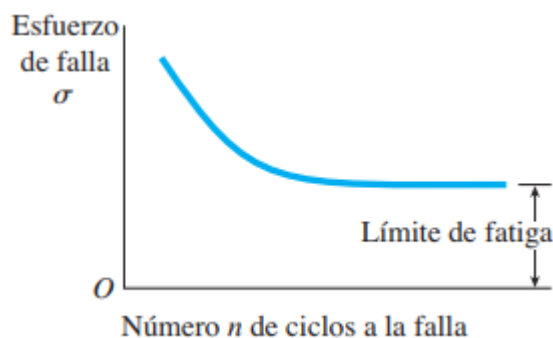


Imagen 13. Curva de resistencia a fatiga.

(Fuente: [21])

Ciertos autores destacan que la resistencia a la fatiga es evidente “Cuando un acero está sometido bajo cargas cíclicas y aunque el estado a tensional ensayado en todo instante sea imperceptible se rompa completamente. [23]

Las fallas por fatiga tienen apariencias de fractura frágil debido a que sus superficies de fractura generalmente son planas o perpendiculares hacia los ejes que actúan las fuerzas.

Pero la fractura que se produce por esfuerzos cíclicos conocidos como fatiga son muy diferentes de las fracturas que se producen al nivel de fractura frágil estática debido a que se producen tres etapas de desarrollo como se muestra a continuación [18]:

Los estudios que se llevan a cabo en metales se suelen dividir en tres etapas importantes o subgrupos: [23]

a) Fatiga de gran número de ciclos. La fatiga de este tipo tiende a mostrarse cuando actúan tensiones nominales muy pequeñas en comparación con el límite de cedencia del material. [23]

La fatiga de alto número de ciclos esta relacionada con la denominada fatiga a vida infinita con valores aproximadamente de 10^4 - 10^5 ciclos. [17]

b) Fatiga de bajo número de ciclos. Esta fatiga se evidencia cuando al someterse a esfuerzos es elevada y la deformación plástica es mas visible. [23]

Generalmente ocurre obteniendo la vida a fatiga entre 10^4 - 10^5 ciclos. [17]

c) Fatiga térmica. Esta fatiga aparece en tensiones que aparecen en los ciclos térmicos. [23]

2.1.2.5 Etapas de desarrollo de la Fatiga

En la falla mostrada en la Imagen 14 del perno se observa que la fractura comenzó en la raíz de la rosca donde se ubica la letra A atravesando hacia el lado opuesto C y evidenciando las marcas de playa en B en dirección que se propago antes de la fractura final en C. [18]

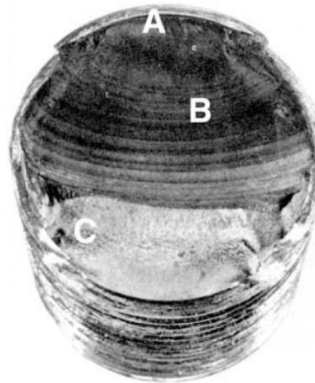


Imagen 14. Falla por fatiga de un perno.

(Fuente: [18])

La fractura característica de una rotura por fatiga tiene un inicio característico como muestra la imagen C mediante el cual se propaga la rotura hasta la falla final como muestra la Imagen 15 y es característico en la mayoría de materiales metálicos.

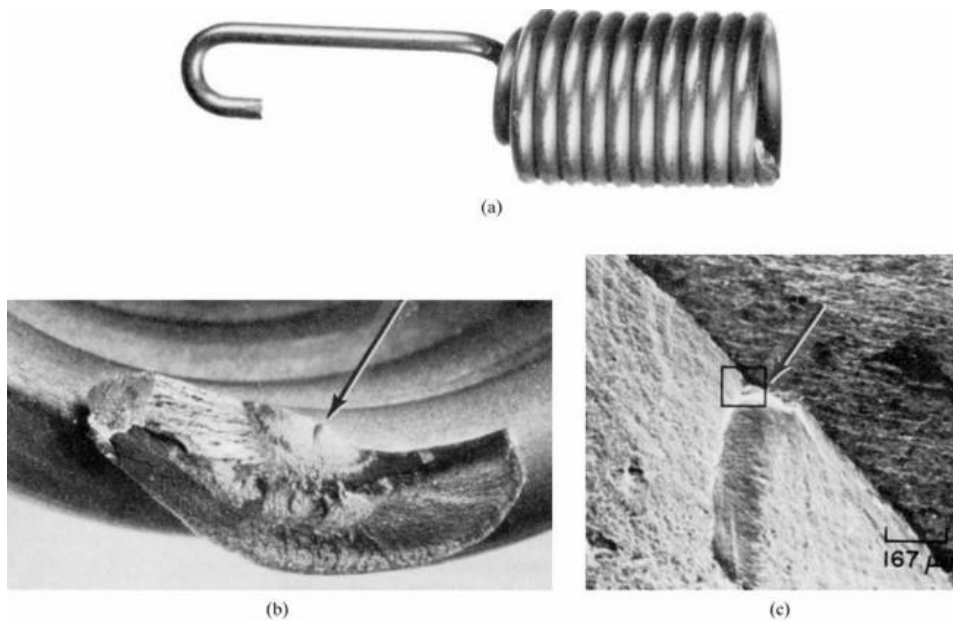


Imagen 15. Superficie con fractura por fatiga, (a) Fotografía de muelle de válvula de estrangulación. (b) Micrografa 10X del inicio de la rotura, (c) Micrografía SEM 60X que muestra un mayor acercamiento al origen de la rotura.

(Fuente: [22])

2.1.2.6 Etapa I

En la etapa I se empieza a generar las microgrietas a causa de la deformación plástica que ocurre en el material, a medida que se propagan las grietas el material va mostrando

la propagación cristalográfica a través de los granos del material. En esta etapa las grietas son imperceptibles a la vista normal. [18]

2.1.2.7 Etapa II

La Etapa II presenta la transformación de las microgrietas en macrogrietas de tal manera que crean superficies paralelas entre si las cuales son similares a mesetas con cierta separación entre si formando crestas longitudinales a través de la superficie de fractura. Las mesetas generadas son suaves y orientadas en dirección del esfuerzo máximo en tensión y pueden tener marcas singulares son conocidas como marcas de playa. Estas marcas que aparecen cuando son sometidos a esfuerzos cíclicos dependen del nivel de esfuerzo al que son sometidos. [18]

2.1.2.8 Etapa III

Esta etapa conocida como Etapa III se produce al final del ensayo cuando el esfuerzo al que fue sometido el material provoco que sufra una fractura súbita y el material ya no puede soportar otras cargas. [18]

La fractura generada en esta etapa puede tener diferentes apariencias y modos de fractura de las cuales pueden ser de forma frágil, dúctil o ambas. En la mayoría de los casos las líneas de playa que se generan cuando se someten a los esfuerzos son una muestra o guía hacia el origen de la fractura. [18]

2.1.2.9 Limite de resistencia a la fatiga

Según la referencia nos menciona que el límite de resistencia a la fatiga se ha determinado mediante varios ensayos relacionados al tema obteniendo datos como los que se muestran en la Imagen 16, además que menciona que varía desde aproximadamente 40 hasta 60 % de la resistencia a tensión para aceros hasta alrededor de 210 ksi (1450 MPa). [18]

En el caso de aceros se estimará el limite de resistencia a la fatiga a partir de las siguientes formulas:

$$S'e \begin{cases} 0.5 Sut & Sut \leq 200ksi (1400MPa) \\ 100ksi & Sut > 200ksi \\ 700 MPa & Sut > 1400MPa \end{cases} \quad (2. 2)$$

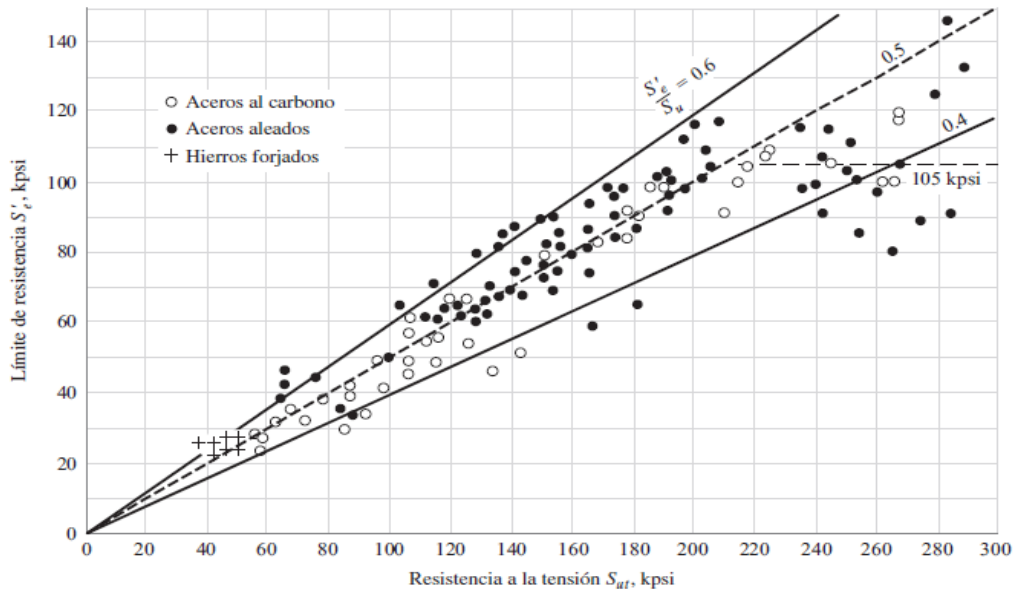


Imagen 16. Límites de resistencia a fatiga obtenidos experimentalmente.

(Fuente: [18])

2.1.2.10 Resistencia a la fatiga

De acuerdo a la literatura de [18] podemos evidenciar que la fatiga de altos ciclos se extiende desde 10^3 ciclos para materiales como aceros hasta alcanzar la vida de resistencia a la fatiga limite denotada por N_e que es aproximadamente 10^6 a 10^7 ciclos.

Según datos obtenidos experimentalmente podemos mencionar que los valores obtenidos en la fatiga de altos ciclos se tabulan de forma logarítmica. La determinación de la resistencia a fatiga en el límite de los 10^3 ciclos, se define la resistencia a fatiga de una probeta que contiene un numero específico de ciclos conocido como $(S'f)_N = E\Delta\epsilon\epsilon/2$, lo cual se deduce de la siguiente ecuación:

$$(S'f)_N = \sigma'_F(2N)^b \quad (2.3)$$

La cual si se obtiene valores a los 10^3 ciclos será:

$$(S'f)_{10^3} = \sigma'_F(2 \times 10^3)^b = fSut \quad (2.4)$$

De la cual f será la fracción de Sut descrita por $(S'f)_{10^3}$ ciclos.

Al emplear la ecuación de esfuerzo se emplea la aproximación SAE de la siguiente manera:

$$\sigma'_F = Sut + 50ksi \quad \text{ó} \quad \sigma'_F = Sut + 345 MPa \quad (2.5)$$

Para obtener b se reemplaza en la ecuación de la resistencia a la fatiga y los ciclos correspondientes S'e y N'e respectivamente:

$$b = \frac{\log\left(\frac{\sigma'_F}{S'e}\right)}{\log(2Ne)} \quad (2.6)$$

Para acortar la ecuación se toma como:

$$Sf = aN^b \quad (2.7)$$

Donde:

$$a = \frac{(fSut)^2}{Se} \quad (2.8)$$

$$b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{fSut}{Se}\right) \quad (2.9)$$

2.1.2.11 Factores que afectan la resistencia a la fatiga

Las probetas pueden contener características o parámetros que modifiquen la resistencia de los elementos. Estos factores que intervienen son analizados en esta sección.

Los factores que modifican la resistencia a fatiga son los siguientes [24]:

- Estado superficial
- Tamaño de la pieza
- Variabilidad en los procesos de manufactura
- Temperatura
- Efectos varios (corrosión, esfuerzos residuales y otros)
- Tipo de carga
- Concentradores de esfuerzos

Los efectos de los aspectos mostrados en el apartado anterior se presentan mediante factores como: Ka, Kb, Kc, Kd, Ke y Kf.

Factor de Superficie, Ka

El factor de superficie Ka tiene como principal aspecto el acabado superficial de los elementos ensayados. El factor Ka se puede calcular mediante la siguiente ecuación (2.4) y utilizando los datos de la tabla 4 [24]:

$$q = \frac{Kf-1}{Kt-1} \quad (2. 10)$$

Tabla 4. Constantes a y b para el cálculo del factor de superficie, Ka

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	Sut, kpsi	Sut, Mpa	
Esmerilado	1,34	1,58	-0,085
Maquinado o laminado en caliente	2,7	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Como sale de la forja	39,9	272	-0,995

(Fuente: [24])

Factor de Tamaño, Kb

El factor tamaño Kb se puede determinar de acuerdo a la ecuación:

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (2. 11)$$

Para ensayos que contengan carga axial no hay efecto de tamaño entonces[18]:

$$k_b = 1 \quad (2. 12)$$

Para los casos en los que se tiene secciones redondas no rotativas el área es el 95% del esfuerzo, en el caso de estudio el diámetro equivalente para el análisis se considerará como:

$$d_e = 0,370d \quad (2. 13)$$

Factor de carga, Kc

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0,85 & \text{axial} \\ 0,59 & \text{torsión} \end{cases} \quad (2. 14)$$

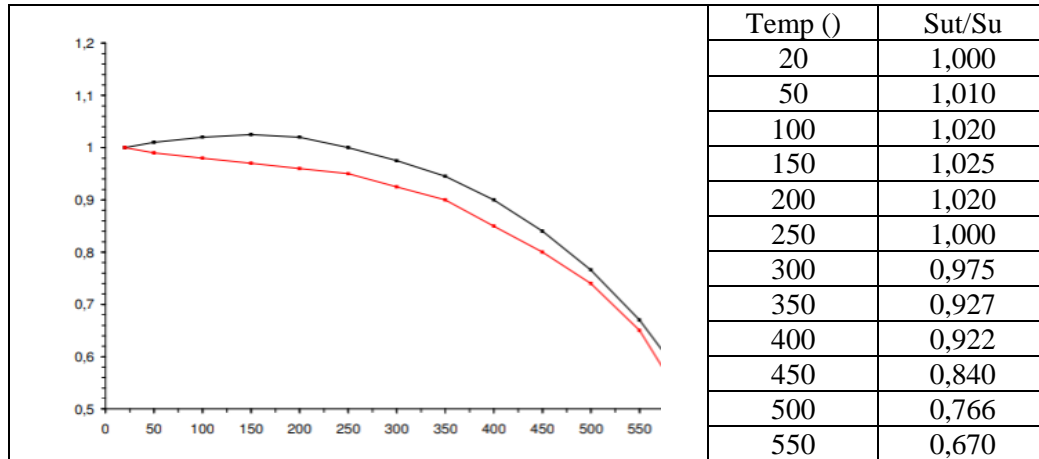
Factor de Temperatura, Kd

El factor de temperatura Kd tiene como aspecto principal la relación entre temperaturas de ensayo y operación, de tal manera que si se tiene una temperatura baja el fallo será más frágil y altas temperaturas será mucho más dúctil comprobando la fluencia. [25]

$$kd = \frac{Sut}{su} \quad (2.15)$$

Se puede obtener también los valores de la siguiente gráfica: [25]

Tabla 5. Variación de propiedades con la temperatura.



(Fuente: [25])

Factor de confiabilidad, Ke

El factor de confiabilidad Ke tiene parte considerando el aspecto estadístico de manera que acoge los valores de la distribución que genera el análisis a fatiga para evaluar la distribución a números específicos de ciclos de fractura con una desviación típica o standard σ . El valor medio del análisis de la resistencia mostraría que se está realizando un análisis con una confianza de 50%, sin embargo de preferencia se realiza un diseño con una seguridad de 90%. [25]

Tabla 6. Factores de confiabilidad.

Probabilidad de vida	Factor de multiplicación de la desviación D
50	0
85	1
90	1,3
95	1,6
99	2,3
99,9	3,1
99,99	3,7

(Fuente: [25])

Factor de efectos varios, Kf

El factor de efectos varios comprende un análisis de la reducción del límite de resistencia similar a un recordatorio de los efectos que intervienen en el ensayo y casi siempre no están disponibles. [18]

2.1.2.12 Concentración de esfuerzos y sensibilidad a la muesca

Las discontinuidades que se presentan en cualquier componente de una maquina degenera el esfuerzo que se distribuye a través del mismo. Esas discontinuidades son conocidas como intensificadores de esfuerzos y a las inmediaciones donde que ocurren o actúan esos esfuerzos se las considera como concentración de esfuerzos. Esas concentraciones pueden ocurrir también si el material presenta cualquier discontinuidad inherente del mismo que se pueden originar por marcas de herramientas, muescas, ranuras o roscas. [18]

Las discontinuidades de generadas se pueden considerar como geométricas y estas ocasionaran que el esfuerzo real máximo en la parte sea mayor que el que se obtiene de los cálculos con las fórmulas más sencillas. Cuando se ha obtenido los factores de concentración de esfuerzos estos mostraran que el esfuerzo real máximo es mayor que el esfuerzo nominal, σ_{nom} o τ_{nom} , calculados con las ecuaciones sencillas. El Símbolo de esos factores es K_t . [26]

$$\sigma_{max} = K_t \times \sigma_{nom} \quad \text{ó} \quad \tau_{max} = K_t \times \tau_{nom} \quad (2. 16)$$

Sin embargo [18] menciona que de la ecuación anterior este sería un factor K_f en lugar de K_t debido a que algunos materiales de estudio no son completamente sensibles a la presencia de muescas por lo tanto es necesario usar un valor reducido de K_t . [18]. Aunque la ecuación contiene los mismos términos este factor también se conoce como factor de concentración del esfuerzo por fatiga.

Entonces, es conveniente pensar en K_f como un factor de concentración del esfuerzo reducido de K_t debido a la disminución de la sensibilidad a la muesca. El factor resultante se define mediante la ecuación: [18]

$$K_f = \frac{\text{esfuerzo maximo en la pieza de prueba con muesca}}{\text{esfuerzo en la pieza de prueba sin muesca}} \quad (2. 17)$$

La sensibilidad a la muesca, q , está definida por: [18]

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1} \quad (2. 18)$$

2.2 Hipótesis

Ho- El proceso de galvanizado en caliente no influye en la resistencia a la fatiga de los pernos SAE grado 5 utilizados en juntas a corte para torres de telecomunicaciones.

Ha- El proceso de galvanizado en caliente influye en la resistencia a la fatiga en los pernos SAE grado 5 utilizados en juntas a corte para torres de telecomunicaciones.

2.3 Señalamiento de variables de la hipótesis

2.3.1 Variable Independiente

Galvanizado en caliente

2.3.2 Variable Dependiente

Resistencia a la Fatiga

Capítulo III.

METODOLOGÍA

3.1 Nivel o tipo de investigación

3.1.1 Exploratoria

Esta investigación permite conocer las características superficiales de la galvanización en caliente evidenciando la existencia de discontinuidades (micro fisuras) y evaluando la penetración del galvanizado sobre el metal base de los pernos SAE grado 5 y del modo de trabajo que se les da a los pernos en su campo de aplicación recreando el medio actuante de los mismos.

3.1.2 Descriptivo

Mediante esta investigación se llegaría a observar el procedimiento de galvanización y comportamiento del perno ensayado para describir correctamente las características o rasgos de la influencia del proceso de galvanizado en la resistencia mecánica de los pernos SAE grado 5.

3.1.3 Experimental

De acuerdo a este tipo de investigación, el ensayar los pernos a cargas dinámicas que evalúa su resistencia a fatiga permitirá obtener diversos criterios los cuales evidenciarán

factores que influyen en la falla de estos elementos de unión, con lo cual posteriormente se conocerá su viabilidad y criterios de vida útil en la construcción de las torres de telecomunicaciones denotando el mantenimiento respectivo que se debería brindar a estos elementos antes de fallo final.

3.1.4 Bibliográfica

Mediante esta investigación se buscaría los criterios técnicos e información relacionada al tema sobre investigaciones previas que brinden datos relevantes sobre la experimentación de parte de expertos en diseño de elementos de máquinas y otros similares y se obtendría métodos de análisis y comparación de resultados obtenidos a base de la experimentación de acuerdo a las investigaciones relacionadas al tema.

3.1.5 Correlacional

Con esta investigación se trata de relacionar los resultados obtenidos mediante la experimentación y comparar con el análisis de elementos finitos para obtener criterios de los resultados obtenidos y elaborar un respectivo procedimiento de análisis mediante software.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

El análisis comprende al conjunto de Pernos de la denominación SAE (Society of Automotive Engineers) en grado 5, dividiendo la población en pernos aplicados un procedimiento de galvanizado en caliente y otros sin el proceso de galvanizado, los cuales serán de media pulgada de diámetro y su longitud estará comprendida entre dos y media y tres pulgadas.

3.2.2 Muestra

El tamaño de la muestra a utilizar para el desarrollo del trabajo experimental parte de la fórmula para la población infinita o desconocida para Variables Cuantitativas a estimar, basado en investigaciones previas sobre el tema desarrollado obteniendo los siguientes factores mostrados para el cálculo. [27]

$$n = \frac{Z^2 x \sigma^2}{e^2} \quad (3. 1)$$

Donde:

- n: tamaño muestral.

- z: valor correspondiente a la confianza del estudio (95% = 1,96).
- e: error que se prevé cometer (e = 3).
- σ : Desviación estándar obtenida en base a investigaciones previas ($\sigma = 4$).

Tabla 7. Nivel de Confianza para tamaños muestrales.

Nivel de Confianza	
Probabilidad	Z
90%	1.64
95%	1.96
99%	2.58

(Fuente: [27])

$$n = \frac{Z^2 \times \sigma^2}{e^2}$$

$$n = \frac{(1,96)^2 \times (4)^2}{(3)^2}$$

$$n = \frac{3,8416 \times 16}{9}$$

$$n = 6,829 \approx 7$$

3.3 Operacionalización de variables

3.3.1 Variable Independiente

Galvanizado en caliente

Tabla 8. Operacionalización de la Variable Independiente

Contextualización	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentación
Proceso en el cual se sumerge elementos de acero en un baño de zinc fundido como recubrimiento a	Parámetros físicos.	<p>Espesor del recubrimiento.</p> <p>Discontinuidad</p>	<p>43um-53um</p> <p>¿Qué cantidad de</p>	<p>Observación de laboratorio</p> <p>Observación de</p>

una temperatura alrededor de 450°C.	Superficie	des presentes en la superficie.	discontinuidades (micro fisuras) existe?	laboratorio
-------------------------------------	------------	---------------------------------	--	-------------

3.3.2 Variable Dependiente

Resistencia a la Fatiga

Tabla 9. Operacionalización de la Variable Dependiente

Contextualización	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentación
Comportamiento físico y mecánico del perno SAE grado 5 en las juntas de corte evaluados mediante ensayos recreando el entorno de trabajo del perno	Parámetros mecánicos	Resistencia a número de ciclos	Pernos SAE grado 5 de 1/2" galvanizados Pernos SAE grado 5 de 1/2" Sin galvanizar	Ensayos Mecánicos Ensayos Mecánicos Observación de

	Parámetros físicos	Evaluación de rotura	Comparación de rotura	laboratorio
--	--------------------	----------------------	-----------------------	-------------

3.4 Plan de recolección de información

La recolección de Información sobre el proyecto experimental está basada en técnicas de obtención de datos como ensayos mecánicos y observación de laboratorio.

El análisis de la Resistencia a fatiga de las juntas a corte de los Pernos SAE grado 5 parte del esquema de la junta a simple cizalladura como se muestra en la Imagen 17, las placas someten al perno a esfuerzos cortantes hasta la rotura final del mismo determinando un cierto número de ciclos de rotura a determinada fuerza simulando el funcionamiento en la construcción de las torres metálicas de telecomunicaciones.

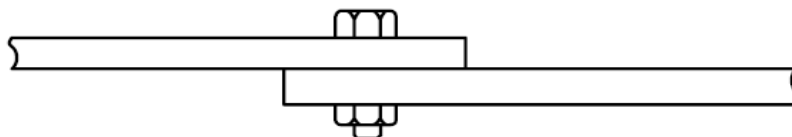


Imagen 17. Esquema de montaje del perno a simple cizalladura.

Los ensayos mecánicos se realizaron en un banco de pruebas que consta de un cilindro hidráulico de cuatro pulgadas de diámetro en la sección de empuje y con un vástago de 2 pulgadas de diámetro como muestra la Imagen 18:



Imagen 18. Cilindro oleo hidráulico.

El cilindro oleo hidráulico es accionado por una bomba oleo hidráulica de paletas, comandado por una electroválvula bidireccional e impulsado por un motor de 7,5 HP a corriente Trifásica como se muestra en las Imágenes 19, 20 y 21 respectivamente:

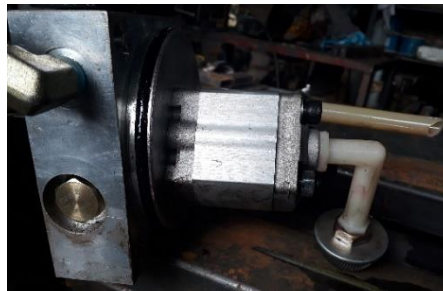


Imagen 19. Bomba oleo hidráulica de paletas.



Imagen 20. Electroválvula bidireccional.



Imagen 21. Motor Trifásico de 7,5 HP de potencia.

El sistema tiene dos válvulas reguladoras de presión y dos manómetros a las entradas del aceite al cilindro para regular que la presión tanto al empuje como al retorno y que sean las mismas, como se muestra en las Imágenes 22 y 23 respectivamente:



Imagen 22. Válvula reguladora de presión.



Imagen 23. Manómetro.

El Sistema Oleo hidráulico está controlado por un cuadro automatizado mediante Arduino el cual permite accionar manualmente la salida, retorno del cilindro y ejecutar el ensayo automáticamente, es decir, accionar la salida y retorno del cilindro cada dos segundos, además de dos botones adicionales que permiten pausar el ensayo y resetear el contador para un nuevo ensayo. Los ciclos que se van realizando se visualizan en una pantalla LCD 16x2 igualmente conectada a la tarjeta Arduino. El cuadro de control se muestra en la Imagen 24:



Imagen 24. Cuadro de control de la Maquina de ensayos a fatiga de juntas a corte.

Para el encendido del motor de la bomba tiene su propio cuadro simplificado con el botón de encendido y apagado como se muestra a continuación en la Imagen 25:



Imagen 25. Cuadro de encendido del motor de la bomba.

La ubicación de los pernos va en dos placas de acero A36 como muestra la Imagen 26 y estas placas van atornilladas al banco de la máquina.



Imagen 26. Placas de montaje de los pernos.

Y en la mitad ubicado a dos diámetros considerados desde el borde de la placa se ubica el agujero donde van un bocín de una pulgada de diámetro de acero AISI 4340 para tener mayor resistencia, por ser un material ideal para realizar tratamientos térmicos se ha maquinado dos bocines de este material y posteriormente se ha realizado un temple a 850 °C con enfriamiento en aceite y protegiendo el material para evitar la descarburización por lo cual se introdujo en viruta de acero y una vez que la temperatura de los bocines alcanzo los 125 °C (temperatura controlada por el pirómetro) inmediatamente se realizó un revenido a 600 grados centígrados para aliviar tensiones como se muestra en las siguientes Imágenes 27, 28, 29, 30, 31, 32 y 33:



Imagen 27. Torneado de bocines de acero AISI 4340.



Imagen 28. Bocines maquinados.



Imagen 29. Introducción de bocines en viruta de acero.



Imagen 30. Horno tras dos horas de alcanzar la temperatura de 850 °C.



Imagen 31. Pirómetro para medir temperatura.



Imagen 32. Verificación de temperatura del temple.



Imagen 33. Proceso de temple de los bocines.

Finalmente se ensablo la maquina ubicando en los agujeros se sujeción de las placas perno SAE grado 8 de 5/8 de diámetro de pulgada por 2.5 pulgadas de largo ubicando una hilera de 5 pernos para aumentar su resistencia y evitar su fallo posterior como se muestra en la Imagen 34.



Imagen 34. Ensamble de máquina de ensayos a fatiga.

La máquina lista para la ejecución de los ensayos es la que se muestra en la Imagen 35:



Imagen 35. Máquina de ensayos a fatiga para juntas a corte.

Los pernos serán ensayados sin pretensión, sin embargo, se los ha ajustado con un $\frac{1}{4}$ del torque mínimo recomendado para el ajuste de pernos por lo cual se ha aplicado un torque de 20ft-lb usando el torquímetro mostrado en la Imagen 36:



Imagen 36. Torquímetro de aguja.

Mediante el uso del microscopio metalográfico como se muestra en la Imagen 37 se verifico el tamaño de la capa de galvanizado y se comparó con las normas respectivas para revisar su cumplimiento.



Imagen 37. Visualización del galvanizado de los pernos SAE grado 5.

Se utilizo el microscopio electrónico de barrido para realizar el análisis de microscopia, el cual funciona con gas Nitrógeno puro, además cuenta con una bomba que permite crear el vacío en la cámara interna, este microscopio funciona como un escáner de electrones que como su nombre lo dice realiza un barrido sobre la superficie permitiendo evaluar y magnificar mucho mejor la superficie con diferentes opciones que permiten realizar aumentos hasta de 1.000.000 X. En la parte superior del microscopio se ubica un electrodo de tungsteno que se calienta acorde al voltaje que se calibre el cual puede ir hasta 30kV y mejorar la visualización de la muestra y es posible realizar la inspección mediante el detector de Secundarios SE o de retro dispersos BSE:



Imagen 38. Microscopio SEM

Al identificar el equipo y su funcionamiento se seleccionó las probetas que tienen mejor apariencia de rotura e identificandolas:



Imagen 39. Identificación de muestras

Se retiro el vacío de la cámara del microscopio y se abrió para ubicar las probetas sobre el porta probetas:



Imagen 40. Muestras sobre el porta probetas.

Al final se ajustó los pernos del porta probetas y se visualizó en el programa del microscopio obteniendo los resultados mostrados en las tablas en el siguiente capítulo.

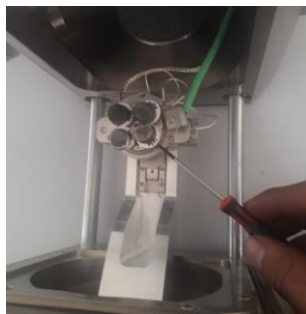


Imagen 41. Ajuste de probetas.

Los ensayos se los realizó en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato debido a la Conexión Trifásica que necesita el motor para su funcionamiento y por el apoyo cercano de parte de los ingenieros de nuestra facultad.

3.5 Plan de procesamiento y análisis

La recolección de los datos, procesamiento de información y el respectivo análisis se realizará de la siguiente manera.

- Análisis de la resistencia a fatiga de los pernos SAE grado 5.
- Fabricación de las juntas a corte.
- Galvanizado de los pernos de sujeción SAE grado 5 de ½”.
- Análisis de la microestructura de los pernos.
- Comparación bajo norma del espesor del galvanizado de los pernos.
- Ensayo de las juntas a corte sujetadas con pernos SAE grado 5 de ½” galvanizados y sin galvanizar.
- Comparar el número de ciclos de falla de cada perno.
- La información obtenida de los ensayos propuestos se tabulará en tablas que faciliten su manejo y comprensión.
- Los resultados obtenidos se mostrarán en graficas que permitan identificar y obtener criterios específicos acerca de la resistencia mecánica que provee los elementos de unión.
- Determinar la sensibilidad a fatiga en la Zona roscada y la concentración de esfuerzos de fatiga.
- La información obtenida se comprobará y comparará con especificaciones de fabricación en condiciones ideales bajo normativa.
- Modelación en software de Elementos finitos para proponer un procedimiento de diseño de juntas sometidas a corte sujetas con pernos.

Capítulo IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Caracterización del método de ensayo

Las propiedades del perno SAE grado 5 de ½” pulgada de diámetro tiene las especificaciones mostradas en la Tabla 10 con las respectivas características que muestra la Imagen 42.

Tabla 10. Especificaciones para pernos grado SAE.

Grado SAE	Intervalo de tamaños (inclusive) (in)	Resistencia límite mínima a la tracción S_p (ksi)	Resistencia de fluencia mínima a la tracción S_f (ksi)	Resistencia última mínima a la tracción S_u (ksi)	Características del acero
1	¼ a 1½	33	36	60	Medio o bajo carbono
2	¼ a ¾	55	57	74	Medio o bajo carbono
	7/8 a 1½	33	36	60	
4	¼ a 1½	65	100	115	Medio carbono estirado en frío
5	¼ a 1	85	92	120	Medio carbono templado y revenido
	1 1/8 a 1½	74	81	105	
5.2	¼ a 1	85	92	120	Martensítico de bajo carbono, templado y revenido
7	¼ a 1½	105	115	133	Aleado de medio carbono, templado y revenido
8	¼ a 1½	120	130	150	Aleado de medio carbono, templado y revenido
8.2	¼ a 1	120	130	150	Martensítico de bajo carbono, templado y revenido

(Fuente: [28])

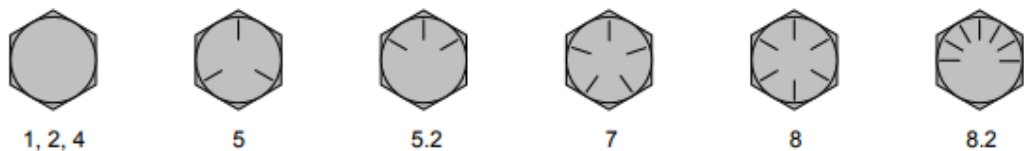


Imagen 42. Características de los pernos SAE

(Fuente: [28])

Las propiedades del Perno SAE grado 5 son:

- $S_y = 92$ ksi
- $S_{ut} = 120$ ksi

El perno tiene un diámetro de $D = 12,7$ mm en su sección no roscada por lo tanto su área de esfuerzo a cortante será:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0,5)^2}{4}$$

$$A = 0.196 \text{ in}^2$$

El cálculo de la resistencia a fatiga para los pernos va según el siguiente análisis:

$$S'e = 0,5 \times S_{ut}$$

$$S'e = 0,5 \times 120 \text{ ksi}$$

$$S'e = 60 \text{ ksi}$$

Se determinan los factores de Marin que modifican el límite de resistencia a fatiga de los pernos y obtener el límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica del ensayo:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

- Factor de modificación por la condición superficial (k_a)

$$k_a = a S_{ut}^b$$

$$k_a = 2,7 (120 \text{ ksi})^{-0,265}$$

$$k_a = 0,759$$

- Factor de modificación por el tamaño (k_b)

Se usará el diámetro efectivo para el cálculo debido a que es un eje que no es rotativo.

$$d_e = 0,370d$$

$$d_e = 0,370 (0,5 \text{ in})$$

$$d_e = 0,185 \text{ in}$$

$$k_b = 0,879 d^{-0,107}$$

$$k_b = (0,879 \times 0,185)^{-0,107}$$

$$k_b = 0,828$$

- Factor de modificación por la carga (k_c)

$$k_c = 1$$

- Factor de modificación por la temperatura (k_d)

$$k_d = 1$$

- Factor de confiabilidad (k_e)

Con una confiabilidad del 99,99% obtenemos lo siguiente:

$$k_e = 0,702$$

- Factor de modificación de efectos varios (k_f)

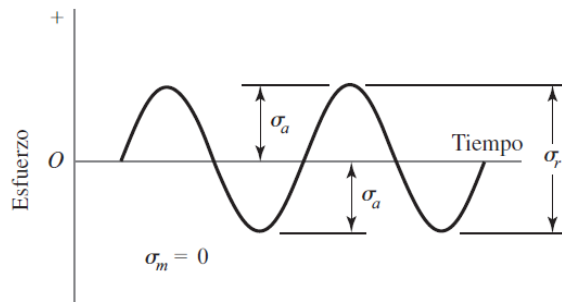
$$k_f = 1$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

$$S_e = 0,759 \times 0,828 \times 1 \times 1 \times 0,702 \times 1 \times (60 \text{ ksi})$$

$$S_e = 26,47 \text{ ksi}$$

El esfuerzo que actúa sobre el perno se caracteriza en la siguiente figura:



Es decir que tendrá el mismo esfuerzo en los dos sentidos del perno.

$$\sigma'_F = Sut + 50 \text{ ksi}$$

$$\sigma'_F = 120 \text{ ksi} + 50 \text{ ksi}$$

$$\sigma'_F = 170 \text{ ksi}$$

Para obtener una fractura del perno se propone que su rotura será a $N_e = 650$ ciclos para que se reemplaza en la formula a continuación:

$$b = -\frac{\log\left(\frac{\sigma'_F}{S'e}\right)}{\log(2N_e)}$$

$$b = -\frac{\log\left(\frac{170 \text{ ksi}}{60 \text{ ksi}}\right)}{\log(2 * 650)}$$

$$b = -0,145$$

$$f = \frac{\sigma'_F}{Sut} (2 * 650)^b$$

$$f = \frac{170 \text{ ksi}}{120 \text{ ksi}} (2 * 650)^{-0,145}$$

$$f = 0,5$$

$$a = \frac{(f Sut)^2}{S_e}$$

$$a = \frac{(0,50 * 120)^2}{26,47}$$

$$a = 136 \text{ ksi}$$

$$S'f = aN^b$$

$$S'f = 136 (650)^{-0,145}$$

$$S'f = 53,17 \text{ ksi}$$

Es necesario un esfuerzo de 60,2 ksi para la rotura del perno en 650 ciclos.

Parte de la ecuación del esfuerzo cortante de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{V}{A}$$

$$V = \tau \times A$$

$$V = 53,17 \text{ ksi} \times 0,196 \text{ in}^2$$

$$V = 10421,315 \text{ lb}$$

Las áreas del cilindro hidráulico disponible son las siguientes:

Área del pistón

Área del cilindro hidráulico de salida (Acs):

- Diámetro del cilindro = 4 in

$$Acs = \frac{\pi(D)^2}{4}$$

$$Acs = \frac{\pi(4 \text{ in})^2}{4}$$

$$Acs = 12.57 \text{ in}^2$$

Área del cilindro hidráulico al retorno (Acr):

- Diámetro del eje del cilindro = 2 in

$$Acr = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

$$Acr = \frac{\pi[(4\text{in})^2 - (2\text{in})^2]}{4}$$

$$Acr = 9.42 \text{ in}^2$$

Fuerza del cilindro:

Fuerza del cilindro a la salida:

$$Fcs = 10421,315 \text{ lb}$$

$$Pcs = \frac{Fcs}{Acs}$$

$$P_{cs} = \frac{10421,315 \text{ lb}}{12,57 \text{ in}^2}$$

$$P_{cs} = 829 \text{ psi}$$

Fuerza del cilindro de retorno:

$$P_{cr} = \frac{F_{cr}}{A_{cr}}$$

$$P_{cr} = \frac{10421,315 \text{ lb}}{9,42 \text{ in}^2}$$

$$P_{cr} = 1106,3 \text{ psi}$$

Con estos parámetros hay que calibrar la máquina de ensayos y compararlos para determinar el factor de concentración de esfuerzos.

4.2 Caracterización del material de los pernos

Los pernos tienen geometrías idénticas por lo cual su diámetro es de 0,5 in con denominación SAE de grado 5 y para su mejor manejo de datos se propuso la siguiente codificación mostrada en la Tabla:

Tabla 11. Codificación para identificación de pernos ensayados.

Codificación	Característica
PSRG	Pernos sin galvanizar con sección ensayada sin rosca
PGSR	Pernos galvanizados con sección ensayada sin rosca
PCRS	Pernos sin galvanizar con sección ensayada roscada
PCRG	Pernos galvanizados con sección ensayada roscada

Los casos de estudio a realizarse se pueden notar en la Imagen 43:

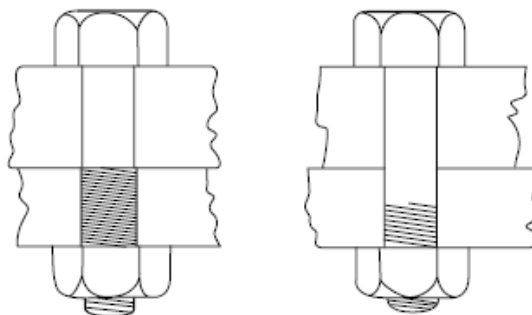


Imagen 43. Especificaciones perno SAE grado 5.

Los pernos para los cuales se ejecutó el ensayo son de ½ pulgada de diámetro y de 2.5 y 3 pulgadas de longitud para obtener las condiciones anteriormente mencionadas, como muestra la Imagen 44 y tiene las dimensiones mostradas en la misma.

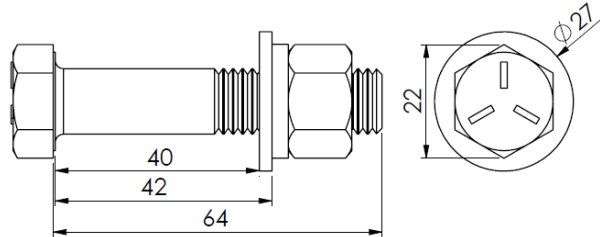


Imagen 44. Especificaciones perno SAE grado 5 de ½” por 2,5” de longitud.

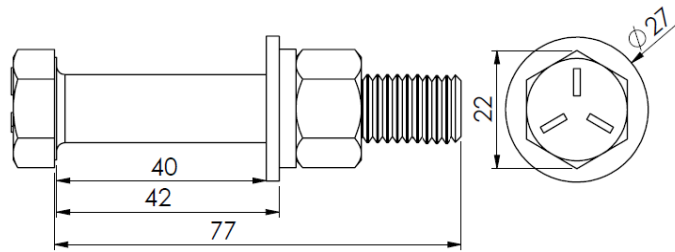


Imagen 45. Especificaciones perno SAE grado 5 de 3” de longitud.

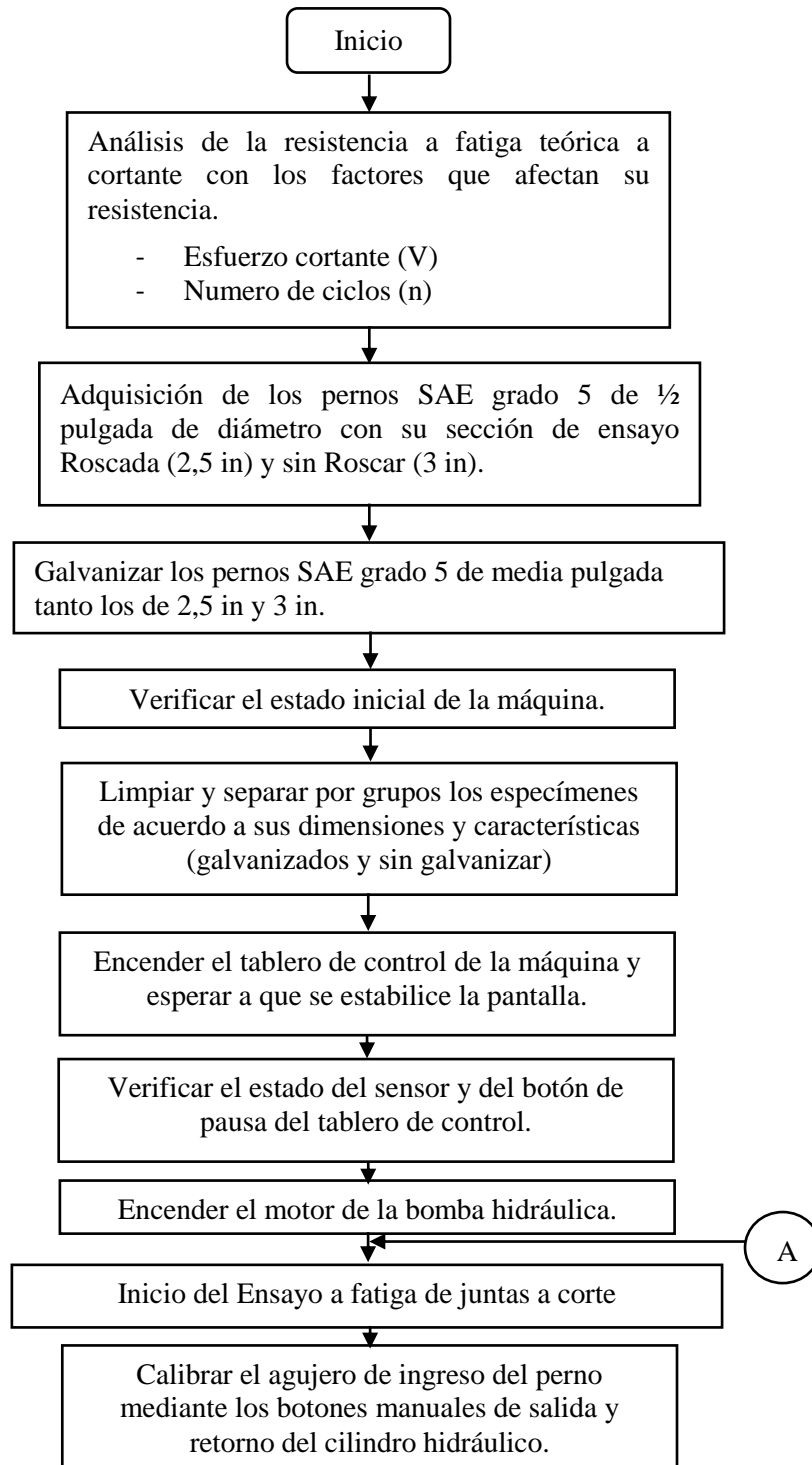
Los pernos galvanizados y sin galvanizar para los ensayos pertinentes son los que se muestran en la Imagen 46:

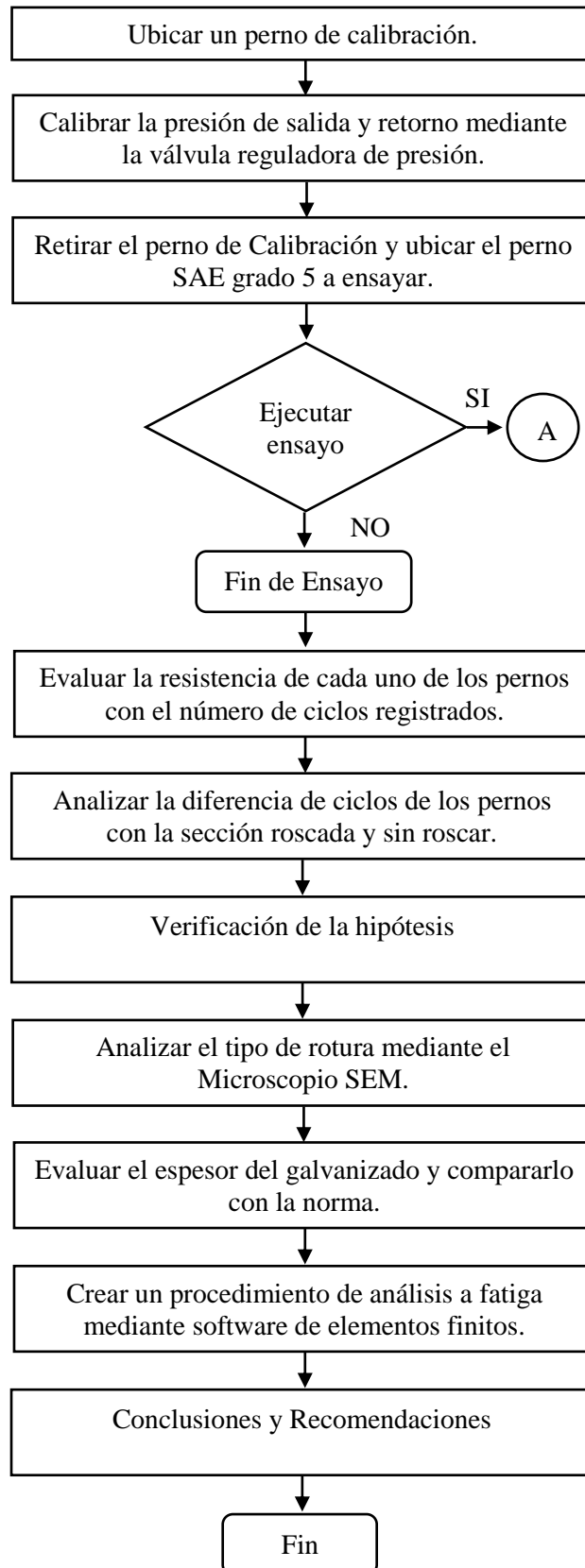


Imagen 46. Pernos para los respectivos ensayos.

4.3 Recolección de datos





Los resultados obtenidos de los ensayos a fatiga de los pernos SAE grado 5 se muestran de acuerdo a lo propuesto en las siguientes fichas de ensayo donde se detallan los resultados en orden y con su respectiva codificación asignada. Los cuales fueron ejecutados de acuerdo al siguiente diagrama de procesos mostrado:









4.3.1 Fichas de ensayo pernos SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a cortante sin rosca.

Tabla 12. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG1

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 - PSRG1		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Sin galvanizar	Identificación:	

Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in				
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C				
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)				
PSRG1	53,17 ksi	20 pie-lb	653				
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO							
							
GRÁFICO DE RESULTADOS							
<p>Resistencia a Fatiga PSRG1</p>  <table border="1"> <caption>Data for Fatigue Resistance Graph</caption> <thead> <tr> <th>Número n de ciclos de falla</th> <th>Esfuerzo de falla, τ (ksi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>653</td> <td>72</td> </tr> </tbody> </table>				Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)	653	72
Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)						
653	72						
OBSERVACIONES							
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 653 ciclos hasta su rotura final.							
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba				

Tabla 13. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG 2

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PSRG2		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Sin galvanizar	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección:	Sin Rosca	Temperatura	24 °C

ensayada.		de ensayo:	
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			
CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PSRG 2	53,17 ksi	20 pie-lb	672
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
<div style="text-align: center;"> <p>Resistencia a Fatiga PSRG2</p>  </div>			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 672 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

Tabla 14. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG3

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PSRG3		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Sin galvanizar	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PSRG3	53,17 ksi	20 pie-lb	641
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
 <p style="text-align: center;">Resistencia a Fatiga PSRG3</p> <p style="text-align: center;">Esfuerzo de falla, τ (ksi)</p> <p style="text-align: center;">Número n de ciclos de falla</p>			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 641 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

Tabla 15. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG4

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	04
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PSRG4		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Sin galvanizar	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			



CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)				
PSRG4	53,17 ksi	20 pie-lb	685				
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO							
							
GRÁFICO DE RESULTADOS							
<p>Resistencia a Fatiga PSRG4</p>  <table border="1"> <caption>Data from Fatigue Resistance Graph</caption> <thead> <tr> <th>Número n de ciclos de falla</th> <th>Esfuerzo de falla, τ (ksi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>685</td> <td>53,17</td> </tr> </tbody> </table>				Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)	685	53,17
Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)						
685	53,17						
OBSERVACIONES							
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 685 ciclos hasta su rotura final.							
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba				

Tabla 16. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG5

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	05
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PSRG5		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARAMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Sin galvanizar	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			






CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PSRG5	53,17 ksi	20 pie-lb	669
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRAFICO DE RESULTADOS			
 <p style="text-align: center;">Resistencia a Fatiga PSRG5</p>			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 669 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba



Tabla 17. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	06
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PSRG6		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Sin galvanizar	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PSRG6	53,17 ksi	20 pie-lb	647
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
 <p style="text-align: center;">Resistencia a Fatiga PSRG6</p> <p style="text-align: center;">Esfuerzo de falla, τ (ksi)</p> <p style="text-align: center;">Número n de ciclos de falla</p>			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 647 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba





Tabla 18. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PSRG7

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	07
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PSRG7		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Sin galvanizar	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PSRG7	53,17 ksi	20 pie-lb	679
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
<p>Resistencia a Fatiga PSRG7</p> 			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporte 679 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

4.3.2 Fichas de ensayo pernos SAE grado 5 galvanizados y con sección a cortante sin rosca.

Tabla 19. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR1

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	08
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PGSR1		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			


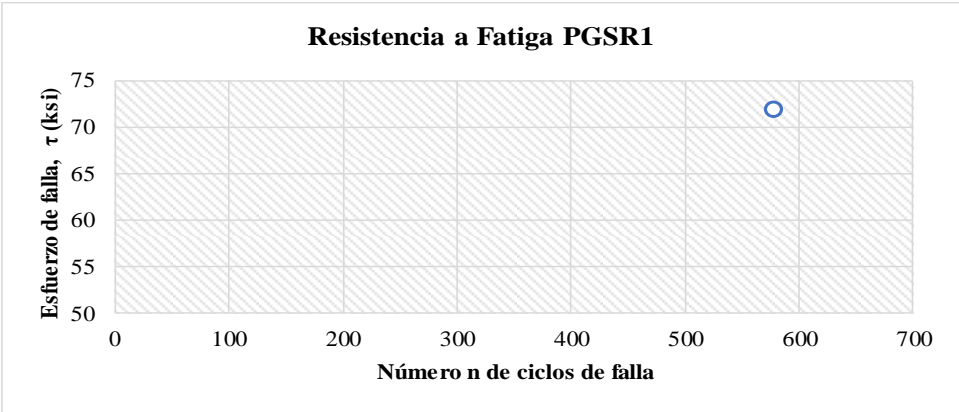
CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)				
PGSR1	53,17 ksi	20 pie-lb	578				
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO							
							
GRÁFICO DE RESULTADOS							
<p>Resistencia a Fatiga PGSR1</p>  <table border="1"> <caption>Data from Fatigue Resistance Graph</caption> <thead> <tr> <th>Número n de ciclos de falla</th> <th>Esfuerzo de falla, τ (ksi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>578</td> <td>72</td> </tr> </tbody> </table>				Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)	578	72
Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)						
578	72						
OBSERVACIONES							
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 578 ciclos hasta su rotura final.							
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba				

Tabla 20. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR2

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	09
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PGSR2		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			


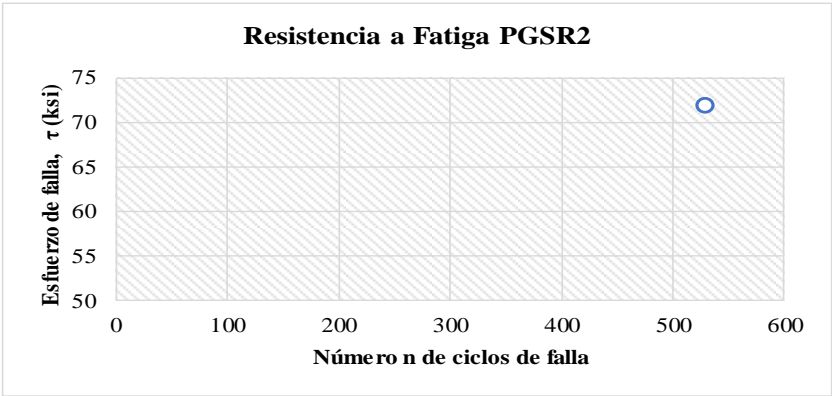
CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PGSR2	53,17 ksi	20 pie-lb	530
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
<p>Resistencia a Fatiga PGSR2</p> 			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 530 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

Tabla 21. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR3

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	010
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PGSR3		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			







CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PGSR3	53,17 ksi	20 pie-lb	601
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
<p>Resistencia a Fatiga PGSR3</p> 			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporte 601 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

Tabla 22. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR4

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	011
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PGSR4		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PGSR4	53,17 ksi	20 pie-lb	567
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 567 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

Tabla 23. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR5

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	012
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PGSR5		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			








CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PGSR5	53,17 ksi	20 pie-lb	586
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
<p>Resistencia a Fatiga PGSR5</p> 			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporte 586 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

Tabla 24. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	013
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PGSR6		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PGSR6	53,17 ksi	20 pie-lb	565
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
<div style="text-align: center;"> <p>Resistencia a Fatiga PGSR6</p>  </div>			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 565 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

Tabla 25. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PGSR7

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	014
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PGSR7		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)				
PGSR7	53,17 ksi	20 pie-lb	575				
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO							
							
GRÁFICO DE RESULTADOS							
 <p style="text-align: center;">Resistencia a Fatiga PGSR7</p> <p style="text-align: center;">Esfuerzo de falla, τ (ksi)</p> <p style="text-align: center;">Número n de ciclos de falla</p> <table border="1"> <caption>Data from Fatigue Resistance Graph</caption> <thead> <tr> <th>Número n de ciclos de falla</th> <th>Esfuerzo de falla, τ (ksi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>575</td> <td>72</td> </tr> </tbody> </table>				Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)	575	72
Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)						
575	72						
OBSERVACIONES							
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 575 ciclos hasta su rotura final.							
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba				

4.3.3 Fichas de ensayo pernos SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a cortante roscada.

Tabla 26. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRSG1

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	015
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRS G1		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)				
PCRS1	53,17 ksi	20 pie-lb	15				
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO							
							
GRÁFICO DE RESULTADOS							
<p>Resistencia a Fatiga PCRS1</p>  <table border="1"> <caption>Data for Fatigue Resistance Graph</caption> <thead> <tr> <th>Número n de ciclos de falla</th> <th>Esfuerzo de falla, τ (ksi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>72</td> </tr> </tbody> </table>				Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)	15	72
Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)						
15	72						
OBSERVACIONES							
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 15 ciclos hasta su rotura final.							
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba				

Tabla 27. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRS2

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	016
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRS2		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PCRSG2	53,17 ksi	20 pie-lb	17
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
<p>Resistencia a Fatiga PCSRG2</p> 			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyó su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soportó 17 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

Tabla 28. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCSRG3

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	017
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRS3		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			


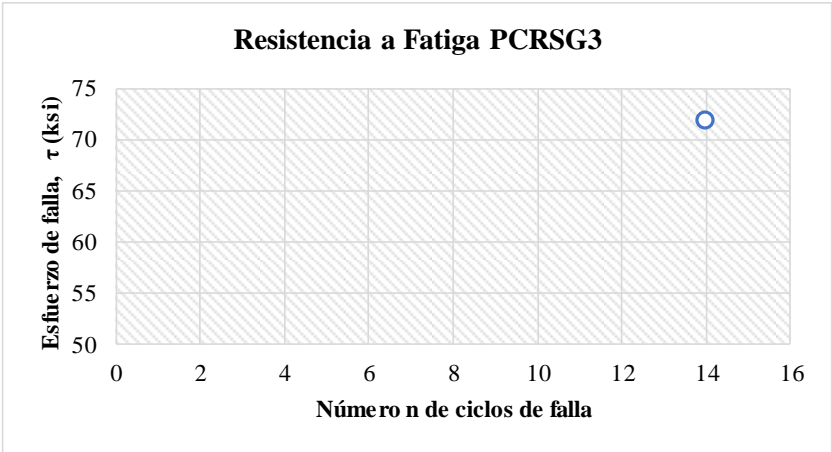
CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PCRSG3	53,17 ksi	20 pie-lb	14
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
 <p style="text-align: center;">Resistencia a Fatiga PCRSG3</p> <p style="text-align: center;">Esfuerzo de falla, τ (ksi)</p> <p style="text-align: center;">Número n de ciclos de falla</p>			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 14 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

Tabla 29. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRSG4

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	018
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRS4		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PCRSG4	53,17 ksi	20 pie-lb	14
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
 <p style="text-align: center;">Resistencia a Fatiga PCRSG4</p> <p>The graph plots 'Esfuerzo de falla, τ (ksi)' on the y-axis (ranging from 50 to 75) against 'Número n de ciclos de falla' on the x-axis (ranging from 0 to 16). A single data point is plotted at approximately 14 cycles and 72 ksi.</p>			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 14 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

Tabla 30. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRSG5

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	019
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRS5		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PCRSG5	53,17 ksi	20 pie-lb	16
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
<div style="text-align: center;"> <p>Resistencia a Fatiga PCRSG5</p>  </div>			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyó su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soportó 16 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

Tabla 31. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRSG6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	020
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRS6		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)				
PCRS6	53,17 ksi	20 pie-lb	15				
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO							
							
GRÁFICO DE RESULTADOS							
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">Resistencia a Fatiga PCRS6</p>  <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <caption>Data from Fatigue Resistance Graph</caption> <thead> <tr> <th>Número n de ciclos de falla</th> <th>Esfuerzo de falla, τ (ksi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>72</td> </tr> </tbody> </table> </div>				Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)	15	72
Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)						
15	72						
OBSERVACIONES							
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporte 15 ciclos hasta su rotura final.							
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba				




Tabla 32. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRS6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	021
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRS7		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)				
PCRS67	53,17 ksi	20 pie-lb	16				
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO							
							
GRÁFICO DE RESULTADOS							
<p>Resistencia a Fatiga PCRS67</p>  <table border="1"> <caption>Data from Fatigue Resistance Graph</caption> <thead> <tr> <th>Número n de ciclos de falla</th> <th>Esfuerzo de falla, τ (ksi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>16</td> <td>72</td> </tr> </tbody> </table>				Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)	16	72
Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)						
16	72						
OBSERVACIONES							
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporte 16 ciclos hasta su rotura final.							
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba				

4.3.4 Fichas de ensayo pernos SAE grado 5 galvanizados y con sección a cortante roscada.

Tabla 33. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG1

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	022
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRG1		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			


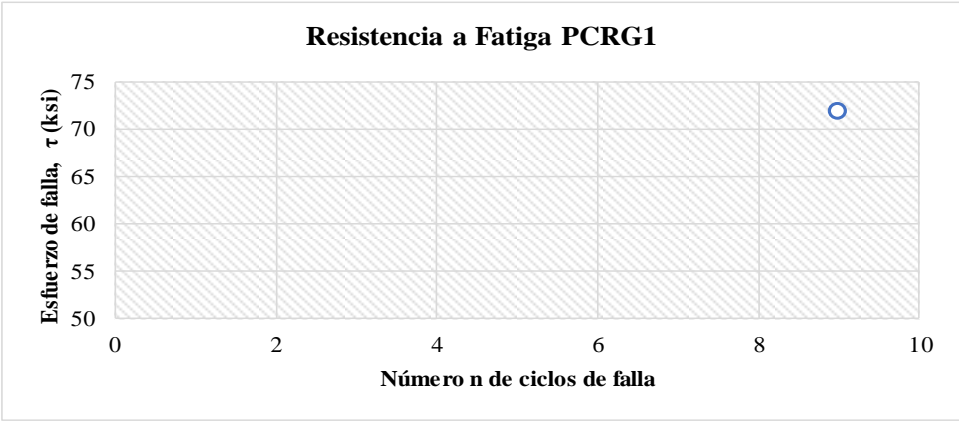


CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)				
PCRG1	53,17 ksi	20 pie-lb	9				
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO							
							
GRÁFICO DE RESULTADOS							
<p>Resistencia a Fatiga PCRG1</p>  <table border="1"> <caption>Data from Fatigue Resistance Graph</caption> <thead> <tr> <th>Número n de ciclos de falla</th> <th>Esfuerzo de falla, τ (ksi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9</td> <td>72</td> </tr> </tbody> </table>				Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)	9	72
Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)						
9	72						
OBSERVACIONES							
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 9 ciclos hasta su rotura final.							
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba				

Tabla 34. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG2

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	023
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRG2		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			







CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)				
PCRG2	53,17 ksi	20 pie-lb	10				
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO							
							
GRÁFICO DE RESULTADOS							
<p>Resistencia a Fatiga PCRG2</p>  <table border="1"> <caption>Data for Fatigue Resistance Graph</caption> <thead> <tr> <th>Número n de ciclos de falla</th> <th>Esfuerzo de falla, τ (ksi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>53,17</td> </tr> </tbody> </table>				Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)	10	53,17
Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)						
10	53,17						
OBSERVACIONES							
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 10 ciclos hasta su rotura final.							
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba				

Tabla 35. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG3

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	024
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRG3		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			



CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PCRG3	53,17 ksi	20 pie-lb	10
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
 <p style="text-align: center;">Resistencia a Fatiga PCRG3</p> <p>The graph plots 'Esfuerzo de falla, τ (ksi)' on the y-axis (ranging from 50 to 75) against 'Número n de ciclos de falla' on the x-axis (ranging from 0 to 12). A single data point is plotted at (10, 72).</p>			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 10 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

Tabla 36. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG4

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	025
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRG4		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			







CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)				
PCRG4	53,17 ksi	20 pie-lb	11				
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO							
							
GRÁFICO DE RESULTADOS							
<p>Resistencia a Fatiga PCRG4</p>  <table border="1"> <caption>Data for Fatigue Resistance Graph</caption> <thead> <tr> <th>Número n de ciclos de falla</th> <th>Esfuerzo de falla, τ (ksi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11</td> <td>72</td> </tr> </tbody> </table>				Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)	11	72
Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)						
11	72						
OBSERVACIONES							
El perno ensayado disminuyó su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soportó 11 ciclos hasta su rotura final.							
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba				

Tabla 37. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG5

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	026
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRG5		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)				
PCRG5	53,17 ksi	20 pie-lb	10				
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO							
							
GRÁFICO DE RESULTADOS							
 <p style="text-align: center;">Resistencia a Fatiga PCRG5</p> <table border="1"> <caption>Data from Fatigue Resistance Graph</caption> <thead> <tr> <th>Número n de ciclos de falla</th> <th>Esfuerzo de falla, τ (ksi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>72</td> </tr> </tbody> </table>				Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)	10	72
Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)						
10	72						
OBSERVACIONES							
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 10 ciclos hasta su rotura final.							
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba				

Tabla 38. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	027
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRG6		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			


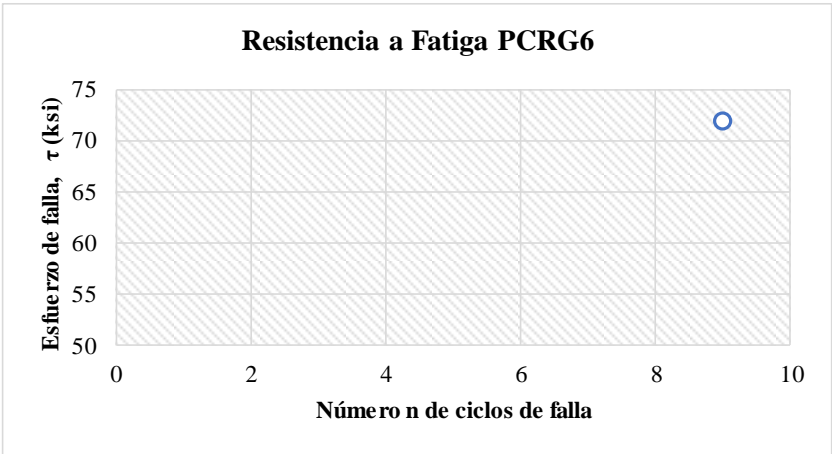






CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)				
PCRG6	53,17 ksi	20 pie-lb	9				
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO							
							
GRÁFICO DE RESULTADOS							
<div style="text-align: center;"> <p>Resistencia a Fatiga PCRG6</p>  <table border="1" style="margin: 0 auto;"> <caption>Data from Fatigue Resistance Graph</caption> <thead> <tr> <th>Número n de ciclos de falla</th> <th>Esfuerzo de falla, τ (ksi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9</td> <td>72</td> </tr> </tbody> </table> </div>				Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)	9	72
Número n de ciclos de falla	Esfuerzo de falla, τ (ksi)						
9	72						
OBSERVACIONES							
El perno ensayado disminuyó su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soportó 9 ciclos hasta su rotura final.							
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba				

Tabla 39. Ficha de Ensayo a fatiga de juntas a corte perno SAE grado 5 galvanizado y con sección a ensayar por cortante sin rosca, código PCRG7

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	028
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 – PCRG7		
Centro de Análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			

CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
PCRG7	53,17 ksi	20 pie-lb	11
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
			
OBSERVACIONES			
El perno ensayado disminuyo su área de contacto en la sección no roscada debido a un esfuerzo cíclico de 53,17 ksi y soporto 11 ciclos hasta su rotura final.			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

4.4 Identificación posterior

Los pernos después de los ensayos correspondientes muestran diferentes tipos de rotura y distinto número de ciclos de falla para cada uno de los criterios propuestos para el análisis. La Norma J429 es el estándar que permite conocer las características que deben poseer los pernos SAE grado 2, 5 y 8 según la cual se conoce que los pernos SAE grado 5 son fabricados de acero de medio carbono templado y revenido que posee una composición de 0.28 – 0,55 % Carbono, 0.030% máximo de Fosforo y 0.050 % de Sulfuro.

La Norma SAE J429 muestra que su composición química es la mostrada en la Tabla:

Tabla 40. Composición de los Pernos SAE

Grado	Material	Carbono, %	Fosforo, %	Sulfuro, %
1	Acero de bajo y medio carbono	0.55 max	0.030 max	0.050 max
2	Acero de bajo y medio carbono	0.15 - 0.55	0.030 max	0.050 max
5	Acero de medio carbono	0.28 - 0.55	0.030 max	0.050 max
8	Aleaciones de acero de medio carbono	0.28 - 0.55	0.030 max	0.050 max

Además, se conoce que durante su proceso de fabricación los pernos se someten a un temple, revenido y además de un proceso de galvanizado en caliente con inmersión en zinc posterior agregándole una capa superficial.





4.5 Ensayo Visual y Macrografía:




El examen macrográfico permite el análisis de grandes regiones con aumentos no mayores a 50X por lo cual los elementos ensayados se muestran en las fichas de ensayo visual y macrográfico:



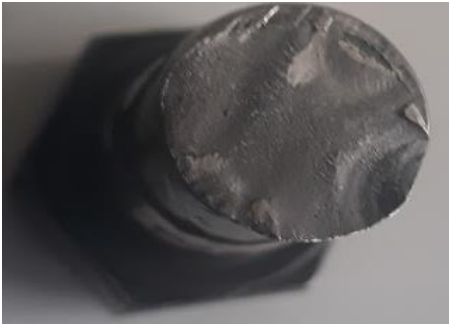
La evaluación de los pernos empieza con una inspección visual y análisis macrográfico de los pernos identificando y clasificando su rotura final para por lo cual se muestran de las siguientes fichas de ensayo.

- Pernos ensayados a cortante con sección a cortante sin rosca y sin galvanizar.

Tabla 41. Ficha de ensayo visual y macrográfico de pernos SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante sin rosca.





	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO VISUAL Y MACROGRÁFICO			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	
Centro de análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	21/07/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
EQUIPOS USADOS			
Equipo		Lentes de aumento	
FOTOGRAFÍA		EVALUACIÓN	
PERNO PSRG1			
		<p>El análisis de macrografía del perno muestra una clara disminución del área que fue ensayada lo cual indica una evidencia de su rotura a fatiga por cortante, contiene las líneas características de una rotura frágil después de ceder y superar su límite de rotura.</p>	




FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PSRG2	
	<p>El perno muestra las características de la rotura a fatiga además se puede evidenciar el lado por el cual inicio su rotura frágil hasta su falla final.</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PSRG3	
	<p>El perno mostrado en la imagen contiene su sección disminuida con un claro inicio de rotura mostrando el inicio claro de la rotura frágil.</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PSRG4	
	<p>El perno mostrado contiene líneas características de la rotura que se muestran como pliegues sin embargo en el centro casi existe detalles de una fractura frágil.</p>

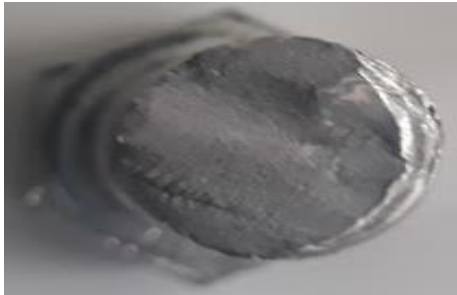


FOTOGRAFÍA		EVALUACIÓN	
PERNO PSRG5			
		<p>El perno de la imagen muestra claras ondulaciones del esfuerzo que soporto el perno tanto a cortante positivo como negativo</p>	
FOTOGRAFÍA		EVALUACIÓN	
PERNO PSRG6			
		<p>El perno mostrado contiene pocos pliegues visibles sin embargo se puede notar como se desgarró la cara del perno que entra en el plano cortante.</p>	
FOTOGRAFÍA		EVALUACIÓN	
PERNO PSRG7			
		<p>El perno mostrado contiene pocos pliegues de la rotura que sufrió el elemento y en el centro se muestra una clara fractura frágil.</p>	
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

- Pernos ensayados a cortante con sección a cortante sin rosca y galvanizados.

Tabla 42. Ficha de ensayo visual y macrográfico de pernos SAE grado 5 galvanizados y con sección a ensayar por cortante sin rosca.



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO VISUAL Y MACROGRÁFICO			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	
Centro de análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	21/07/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
EQUIPOS USADOS			
Equipo		Lentes de aumento	
FOTOGRAFÍA		EVALUACIÓN	
PERNO PSRG1			
		<p>El perno mostrado en la figura corresponde a una rotura donde contiene pocos pliegues de rotura los cuales no son muy evidentes, sin embargo denotan su rotura dúctil en sus extremos y frágil en el centro.</p>	

FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PSRG2	
	<p>El perno mostrado contiene su reducción de diámetro correspondiente con una muestra clara de fractura frágil en el centro.</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PSRG3	
	<p>El elemento mostrado en la figura muestra el inicio de la rotura en un extremo y su reducción de diámetro en sus costados.</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PSRG4	
	<p>Al igual que el perno anterior el perno muestra una evidente rotura frágil lo cual denota la resistencia baja del elemento.</p>




FOTOGRAFÍA		EVALUACIÓN	
PERNO PSRG5			
		<p>El perno de la figura muestra su inicio de rotura con pocos pliegues en su superficie donde muestra la fractura frágil.</p>	
FOTOGRAFÍA		EVALUACIÓN	
PERNO PSRG6			
		<p>El elemento de la figura muestra mejor la superficie con pliegues y el sector de rotura que cedió hasta su falla final.</p>	
FOTOGRAFÍA		EVALUACIÓN	
PERNO PSRG7			
		<p>El perno mostrado en la figura evidencia que su rotura fue dúctil en sus extremos mientras que en el centro fallo mas rápidamente.</p>	
Elaborado por:			
Egdo. Eugenio Martinez		Revisado por:	
		Ing. Mg. César Arroba	

- Pernos ensayados a cortante con sección a cortante roscada y sin galvanizar.

Tabla 43. Ficha de ensayo visual y macrográfico de pernos SAE grado 5 sin galvanizar y con sección a ensayar por cortante roscada.





	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO VISUAL Y MACROGRÁFICO			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	
Centro de análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	21/07/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
EQUIPOS USADOS			
Equipo		Lentes de aumento	
FOTOGRAFÍA		EVALUACIÓN	
PERNO PSRG1			
		<p>Estos pernos ensayados no muestran la típica reducción de área como se evidencio en los elementos anteriormente mostrados esto debido a que su rotura con los mismos parámetros fue más repentina.</p>	




FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PSRG2	
	<p>Este elemento al igual que el anterior ejemplo fue con su rotura repentina a menor número de ciclos que el anterior.</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PSRG3	
	<p>Este elemento de sujeción muestra que igualmente tuvo una rotura frágil sin embargo su rotura muestra dos sectores de inicio de grieta que provoca su rotura por lo cual desgarró el diente del perno provocando su falla.</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PSRG4	
	<p>Igualmente, el elemento mostrado indica que su inicio de fractura fue situado en dos puntos de elemento desgarrando el diente de la rosca.</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PSRG5	



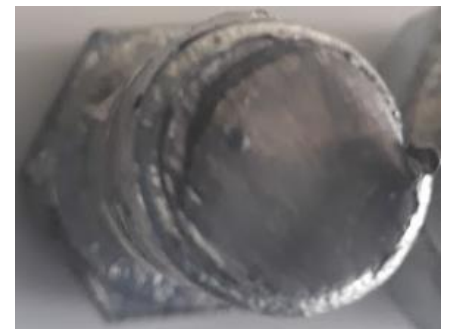
		<p>El perno mostrado en la imagen muestra que su rotura fue en el centro de la rosca provocando un desgarre no uniforme.</p>	
FOTOGRAFÍA		EVALUACIÓN	
PERNO PSRG6			
		<p>El perno mostrado en la figura contiene pocos pliegues de rotura debido a su rotura y es evidente que el inicio de fractura se produjo en la rosca.</p>	
FOTOGRAFÍA		EVALUACIÓN	
PERNO PSRG7			
		<p>El perno mostrado en la figura contiene su borde fracturado en la rosca del elemento y además es evidente el inicio de la fractura.</p>	
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

- Pernos ensayados a cortante con sección a cortante roscada y galvanizados.

Tabla 44. Ficha de ensayo visual y macrográfico de pernos SAE grado 5 galvanizados y con sección a ensayar por cortante roscada.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO VISUAL Y MACROGRÁFICO			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	
Centro de análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	21/07/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
EQUIPOS USADOS			
Equipo		Lentes de aumento	
RESULTADOS OBTENIDOS			
FOTOGRAFÍA		EVALUACIÓN	
PERNO PCRG1			
		<p>Este elemento de sujeción muestra que igualmente tuvo una rotura frágil sin embargo su rotura muestra el inicio de grieta que provoca su rotura por lo cual desgarró el diente del perno provocando su falla.</p>	




FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PCRG2	
	<p>El perno ensayado mostrado en la figura denota su fractura frágil con inicio de grieta en la rosca.</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PCRG3	
	<p>El perno mostrado contiene igualmente su rotura de modo frágil.</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PCRG4	
	<p>El perno mostrado en la figura evidencia que la rosca influye mucho en su rotura y se observa su inicio de fractura.</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PCRG5	

	<p>El perno mostrado en la figura contiene su borde fracturado en la rosca del elemento y además es evidente el inicio de la fractura.</p>		
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN		
PERNO PCRG6			
	<p>El perno mostrado en la imagen muestra que su rotura fue en el centro de la rosca provocando un desgarre no uniforme.</p>		
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN		
PERNO PCRG7			
	<p>El perno mostrado igual que los casos anteriores muestra su fractura frágil con su borde sin pliegues.</p>		
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

4.6 Análisis Microestructural

Los pernos fueron seccionados en su parte no roscada y posteriormente montadas las secciones en baquelita para su análisis respectivo y determinar como se muestra la microestructura del perno.

Tabla 45. Análisis Metalográfico de los pernos galvanizados SAE grado 5





	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO METALGRÁFICO			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente:	Perno SAE grado 5 - PSM1		
Centro de análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	12/06/2018	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Egdo. Eugenio Martinez	Supervisado por:	Ing. Mg. César Arroba
PARAMETROS			
Maquina/Equipo:	Microscopio Metalográfico		
Marca:	VANGUARD		
Modelo:	N267521		
Magnificación:	40-400X		
Filtro:	4 colores		
Iluminación:	Luz fluorescente		
Alimentación:	110 V		
PARAMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			

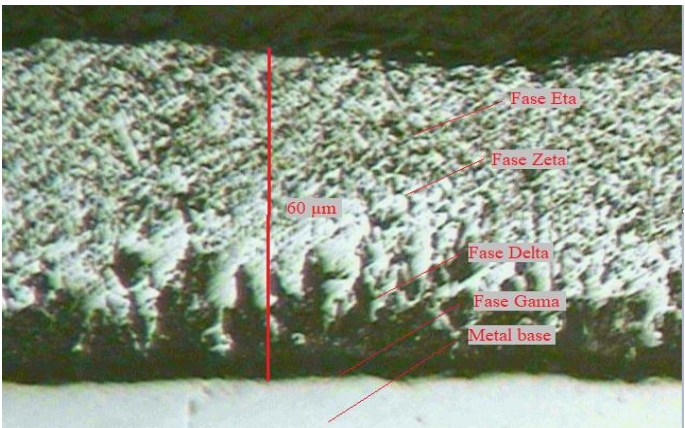
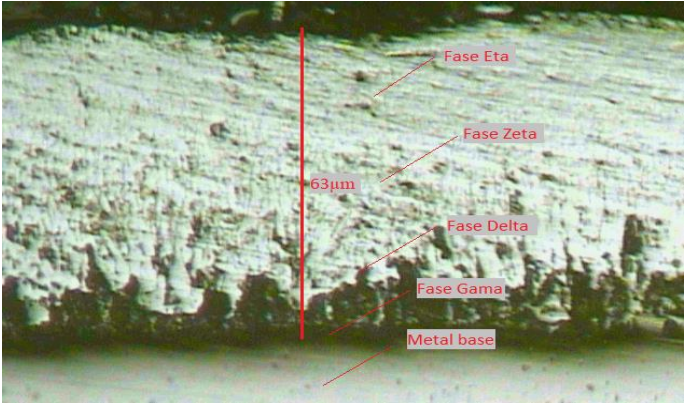
Característica del elemento:	Sin galvanizar		
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie preparada en:	Lijas: 240, 320, 400, 600, 1000, 1500		
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo hasta reacción de la superficie:	10 segundos		
Temperatura de ensayo:	24 °C		
FOTOGRAFÍAS DE LA MICROESTRUCTURA			
			
100X	200X	400X	
RESULTADOS OBTENIDOS			
Se realizó un análisis metalográfico en los pernos mostrando placas de martensita revenida y templada junto con bainita debido al tratamiento térmico al cual fueron sometidos los elementos de unión.			
OBSERVACIONES			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

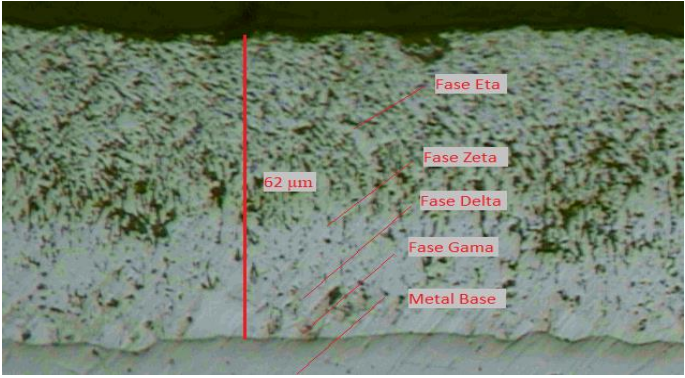
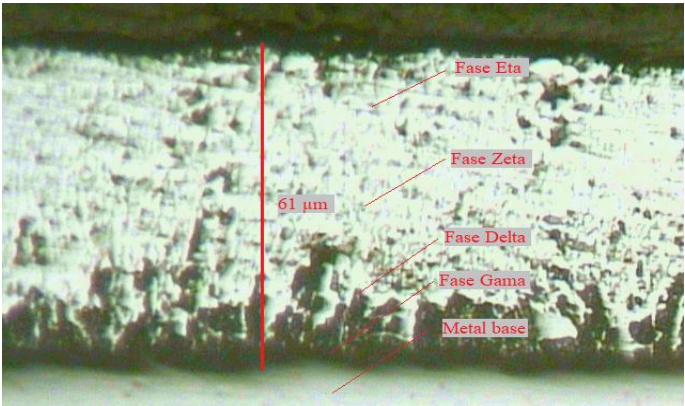
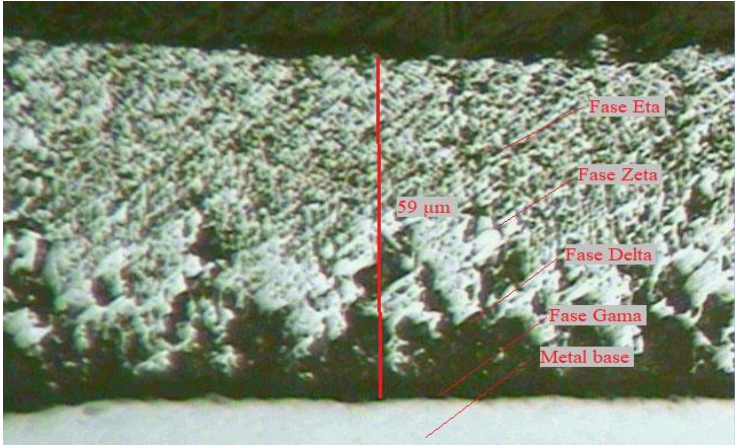
4.7 Análisis de espesores de recubrimiento galvanizado

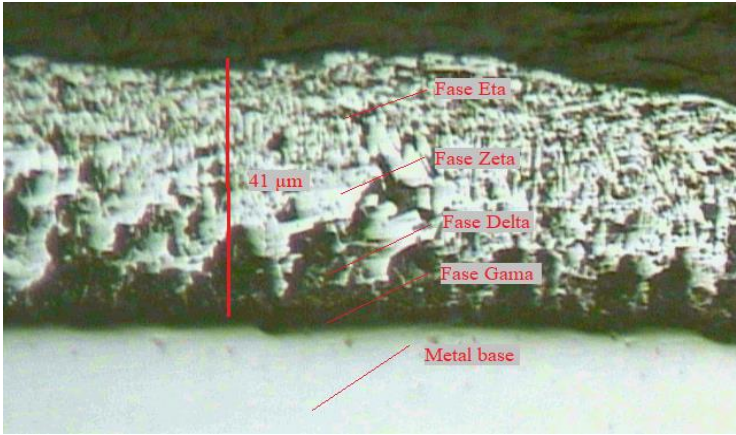
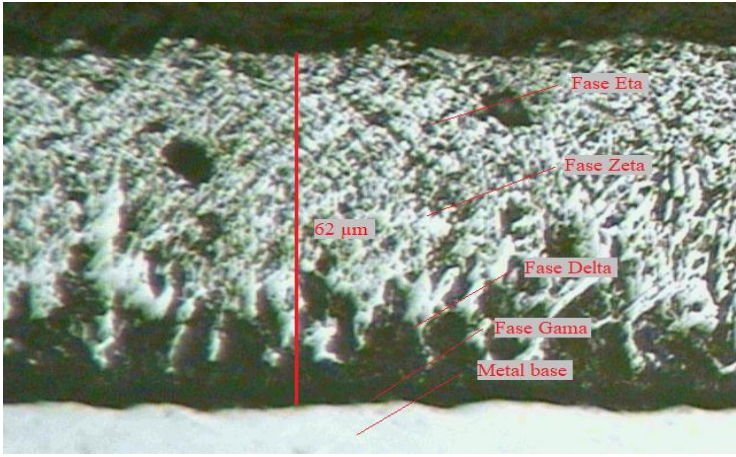
Junto con el análisis y preparación metalográfica se pudo realizar la medición pertinente para encontrar el espesor del galvanizado como se muestra a continuación.

Tabla 46. Ficha de ensayo visual y macrográfico de pernos SAE grado 5 galvanizados y con sección a ensayar por cortante roscada.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO METALOGRÁFICO			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	
Centro de análisis y estudio:	Laboratorio de Materiales FICM- UTA		
Fecha:	21/07/2018	Ciudad:	Ambato
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:		SAE grado 5	
Recubrimiento:	Galvanizado	Identificación:	
Diámetro:	1/2 in	Longitud:	3 in
Sección: ensayada.	Sin Rosca	Temperatura de ensayo:	24 °C
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Microscopio Metalográfico		
Marca:	VANGUARD		
Modelo:	N267521		
Magnificación:	40-400X		
Filtro:	4 colores		
Iluminación:	Luz fluorescente		
Alimentación:	110 V		



PARAMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO	
Característica del elemento:	Galvanizado en caliente
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico
Superficie preparada en:	Lijas: 240, 320, 400, 600, 1000, 1500
Ataque químico de la superficie con:	Zinc y sus aleaciones (Parte A y Parte B)
Tiempo hasta reacción de la superficie:	10 segundos
Temperatura de ensayo:	24 °C
RESULTADOS OBTENIDOS	
FOTOGRAFÍA (200X)	EVALUACIÓN
PERNO PEG1	
	<p>El perno SAE grado 5 galvanizado en caliente una vez realizado el ensayo de metalografía muestra las fases básicas de un procedimiento de galvanizado y al medir su espesor nos da 60 μm</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PEG2	
	<p>El perno SAE grado 5 galvanizado en caliente una vez realizado el ensayo de metalografía muestra las fases básicas de un procedimiento de galvanizado y al medir su espesor nos da 63 μm</p>

FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PEG3	
 <p>62 μm</p> <p>Fase Eta</p> <p>Fase Zeta</p> <p>Fase Delta</p> <p>Fase Gama</p> <p>Metal Base</p>	<p>El perno SAE grado 5 galvanizado en caliente una vez realizado el ensayo de metalografía muestra las fases básicas de un procedimiento de galvanizado y al medir su espesor nos da 62 μm</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PEG4	
 <p>61 μm</p> <p>Fase Eta</p> <p>Fase Zeta</p> <p>Fase Delta</p> <p>Fase Gama</p> <p>Metal base</p>	<p>El perno SAE grado 5 galvanizado en caliente una vez realizado el ensayo de metalografía muestra las fases básicas de un procedimiento de galvanizado y al medir su espesor nos da 61 μm</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN
PERNO PEG5	
 <p>59 μm</p> <p>Fase Eta</p> <p>Fase Zeta</p> <p>Fase Delta</p> <p>Fase Gama</p> <p>Metal base</p>	<p>El perno SAE grado 5 galvanizado en caliente una vez realizado el ensayo de metalografía muestra las fases básicas de un procedimiento de galvanizado y al medir su espesor nos da 59 μm</p>
FOTOGRAFÍA	EVALUACIÓN

PERNO PEG6			
		<p>El perno SAE grado 5 galvanizado en caliente una vez realizado el ensayo de metalografía muestra las fases básicas de un procedimiento de galvanizado y al medir su espesor nos da 41 μm</p>	
FOTOGRAFÍA		EVALUACIÓN	
PERNO PEG7			
		<p>El perno SAE grado 5 galvanizado en caliente una vez realizado el ensayo de metalografía muestra las fases básicas de un procedimiento de galvanizado y al medir su espesor nos da 62 μm</p>	
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

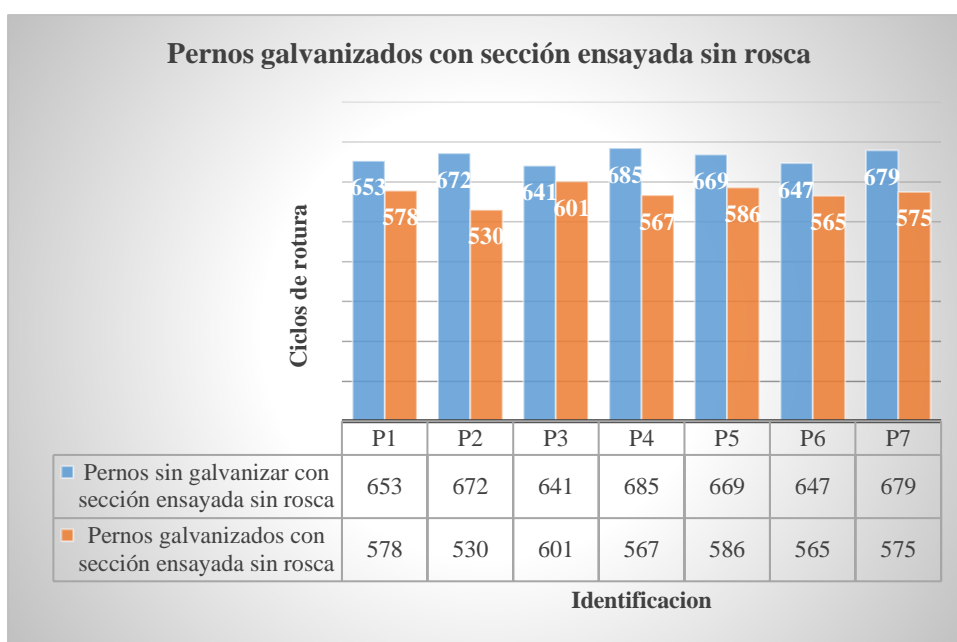
4.8 Análisis de los resultados

Tabla 47. Ficha de análisis de resultados de pernos con su sección ensayada sin rosca galvanizados vs sin galvanizar.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																					
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PERNOS FRENTE AL ESFUERZO CICLÍCO																						
<p>Los pernos sin galvanizar y son sección a cortante sin rosca muestra los siguientes resultados:</p>																						
<table border="1" style="width: 100%; background-color: #d9e1f2;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Pernos sin galvanizar con sección ensayada sin rosca</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Identificación</td> <td style="text-align: center;">Ciclos de rotura</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PSRG1</td> <td style="text-align: center;">653</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PSRG2</td> <td style="text-align: center;">672</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PSRG3</td> <td style="text-align: center;">641</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PSRG4</td> <td style="text-align: center;">685</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PSRG5</td> <td style="text-align: center;">669</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PSRG6</td> <td style="text-align: center;">647</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PSRG7</td> <td style="text-align: center;">679</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio</td> <td style="text-align: center;">664</td> </tr> </table>			Pernos sin galvanizar con sección ensayada sin rosca		Identificación	Ciclos de rotura	PSRG1	653	PSRG2	672	PSRG3	641	PSRG4	685	PSRG5	669	PSRG6	647	PSRG7	679	Promedio	664
Pernos sin galvanizar con sección ensayada sin rosca																						
Identificación	Ciclos de rotura																					
PSRG1	653																					
PSRG2	672																					
PSRG3	641																					
PSRG4	685																					
PSRG5	669																					
PSRG6	647																					
PSRG7	679																					
Promedio	664																					
<p>Los pernos galvanizados y son sección a cortante sin rosca muestra los siguientes resultados:</p>																						
<table border="1" style="width: 100%; background-color: #d9e1f2;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Pernos galvanizados con sección ensayada sin rosca</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Identificación</td> <td style="text-align: center;">Ciclos de rotura</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PGSR1</td> <td style="text-align: center;">578</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PGSR2</td> <td style="text-align: center;">530</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PGSR3</td> <td style="text-align: center;">601</td> </tr> </table>			Pernos galvanizados con sección ensayada sin rosca		Identificación	Ciclos de rotura	PGSR1	578	PGSR2	530	PGSR3	601										
Pernos galvanizados con sección ensayada sin rosca																						
Identificación	Ciclos de rotura																					
PGSR1	578																					
PGSR2	530																					
PGSR3	601																					

PGSR4	567
PGSR5	586
PGSR6	565
PGSR7	575
Promedio	572

GRÁFICO DE RESULTADOS





EVALUACIÓN

El comportamiento de los pernos galvanizados frente a los pernos sin galvanizar es evidente debido al promedio de ciclos de falla de cada grupo, es decir que los pernos no galvanizados muestran un promedio de 664 ciclos hasta su fractura final mientras que los pernos galvanizados tienen un promedio de 572 ciclos hasta su fractura por lo cual tienen un 13,86% menos de resistencia de fatiga a cortante.

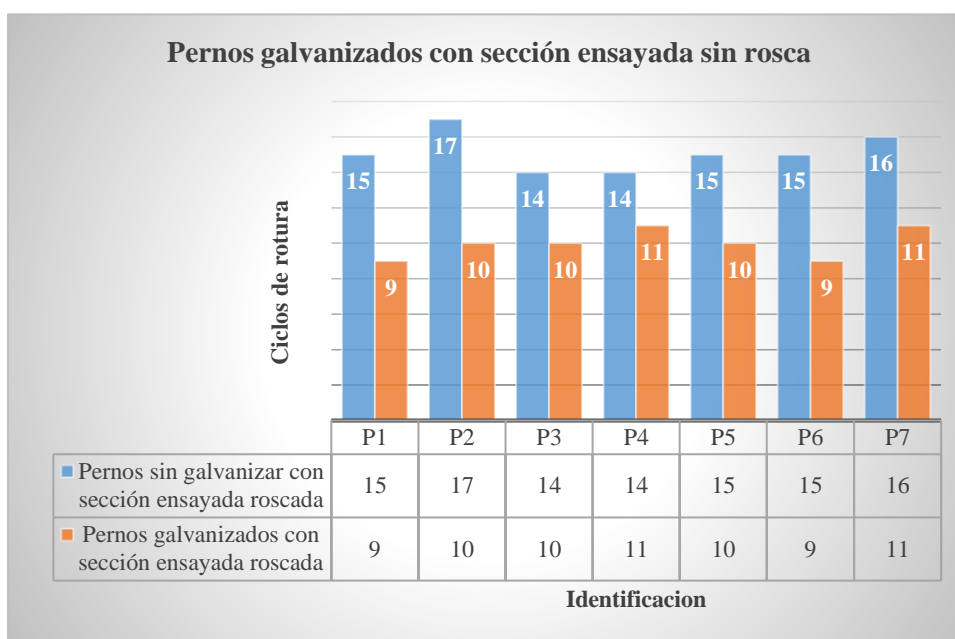
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba
-----------------------	------------------------	----------------------	-----------------------

Tabla 48. Ficha de análisis de resultados de pernos galvanizados con su sección ensayada sin rosca.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																					
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PERNOS FRENTE AL ESFUERZO CICLÍCO																						
<p>Los pernos sin galvanizar y son sección a cortante sin rosca muestra los siguientes resultados:</p>																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="608 736 1050 853" style="background-color: #d9e1f2;">Pernos sin galvanizar con sección ensayada roscada</th> </tr> <tr> <th data-bbox="608 853 815 916" style="background-color: #d9e1f2;">Identificación</th> <th data-bbox="815 853 1050 916" style="background-color: #d9e1f2;">Ciclos de rotura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="608 916 815 978">PCRS1</td> <td data-bbox="815 916 1050 978" style="text-align: center;">15</td> </tr> <tr> <td data-bbox="608 978 815 1041">PCRS2</td> <td data-bbox="815 978 1050 1041" style="text-align: center;">17</td> </tr> <tr> <td data-bbox="608 1041 815 1104">PCRS3</td> <td data-bbox="815 1041 1050 1104" style="text-align: center;">14</td> </tr> <tr> <td data-bbox="608 1104 815 1167">PCRS4</td> <td data-bbox="815 1104 1050 1167" style="text-align: center;">14</td> </tr> <tr> <td data-bbox="608 1167 815 1229">PCRS5</td> <td data-bbox="815 1167 1050 1229" style="text-align: center;">15</td> </tr> <tr> <td data-bbox="608 1229 815 1292">PCRS6</td> <td data-bbox="815 1229 1050 1292" style="text-align: center;">15</td> </tr> <tr> <td data-bbox="608 1292 815 1355">PCRS7</td> <td data-bbox="815 1292 1050 1355" style="text-align: center;">16</td> </tr> <tr> <td data-bbox="608 1355 815 1440" style="background-color: #fff2cc;">Promedio</td> <td data-bbox="815 1355 1050 1440" style="background-color: #ffff00; text-align: center;">16</td> </tr> </tbody> </table>			Pernos sin galvanizar con sección ensayada roscada		Identificación	Ciclos de rotura	PCRS1	15	PCRS2	17	PCRS3	14	PCRS4	14	PCRS5	15	PCRS6	15	PCRS7	16	Promedio	16
Pernos sin galvanizar con sección ensayada roscada																						
Identificación	Ciclos de rotura																					
PCRS1	15																					
PCRS2	17																					
PCRS3	14																					
PCRS4	14																					
PCRS5	15																					
PCRS6	15																					
PCRS7	16																					
Promedio	16																					
<p>Los pernos galvanizados y son sección a cortante sin rosca muestra los siguientes resultados:</p>																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="608 1536 1050 1653" style="background-color: #d9e1f2;">Pernos galvanizados con sección ensayada roscada</th> </tr> <tr> <th data-bbox="608 1653 815 1715" style="background-color: #d9e1f2;">Identificación</th> <th data-bbox="815 1653 1050 1715" style="background-color: #d9e1f2;">Ciclos de rotura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="608 1715 815 1778">PCRG1</td> <td data-bbox="815 1715 1050 1778" style="text-align: center;">9</td> </tr> <tr> <td data-bbox="608 1778 815 1841">PCRG2</td> <td data-bbox="815 1778 1050 1841" style="text-align: center;">10</td> </tr> <tr> <td data-bbox="608 1841 815 1904">PCRG3</td> <td data-bbox="815 1841 1050 1904" style="text-align: center;">10</td> </tr> <tr> <td data-bbox="608 1904 815 1975">PCRG4</td> <td data-bbox="815 1904 1050 1975" style="text-align: center;">11</td> </tr> </tbody> </table>			Pernos galvanizados con sección ensayada roscada		Identificación	Ciclos de rotura	PCRG1	9	PCRG2	10	PCRG3	10	PCRG4	11								
Pernos galvanizados con sección ensayada roscada																						
Identificación	Ciclos de rotura																					
PCRG1	9																					
PCRG2	10																					
PCRG3	10																					
PCRG4	11																					

PCRG5	10
PCRG6	9
PCRG7	11
Promedio	10

GRÁFICO DE RESULTADOS





EVALUACIÓN

El comportamiento de los pernos galvanizados frente a los pernos sin galvanizar es evidente debido al promedio de ciclos de falla de cada grupo, es decir que los pernos no galvanizados muestran un promedio de 16 ciclos hasta su fractura final mientras que los pernos galvanizados tienen un promedio de 10 ciclos hasta su fractura por lo cual tienen un 37,5% menos de resistencia de fatiga a cortante.

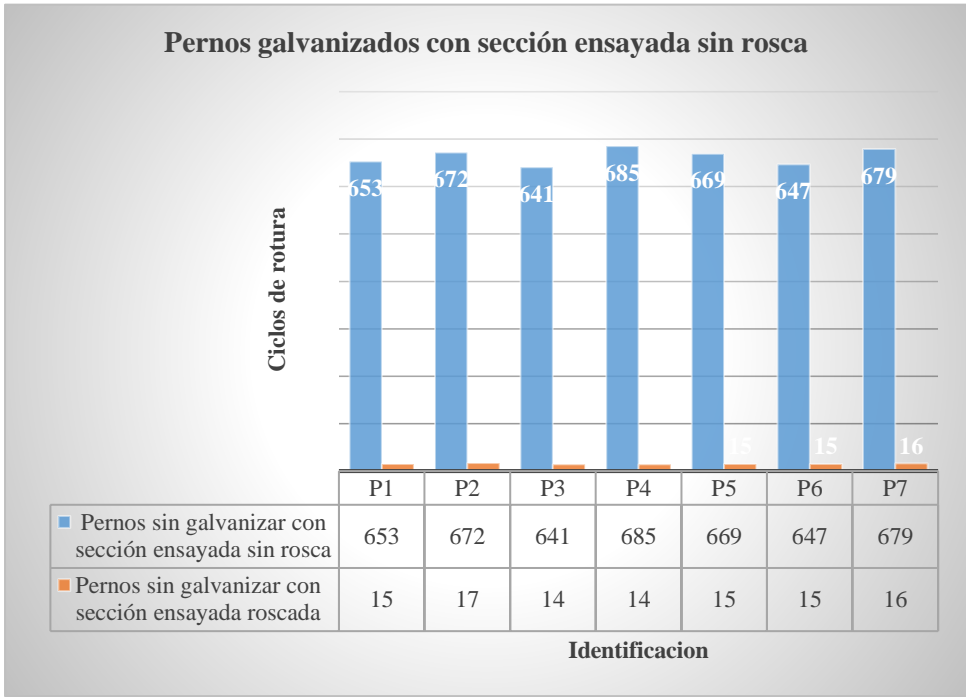
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba
-----------------------	---------------------------	----------------------	--------------------------

Tabla 49. Ficha de análisis de resultados de pernos con su sección ensayada con rosca galvanizados vs sin galvanizar.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																					
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PERNOS FRENTE AL ESFUERZO CICLÍCO																						
<p>Los pernos sin galvanizar y son sección a cortante con rosca muestra los siguientes resultados:</p>																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #d9e1f2;">Pernos sin galvanizar con sección ensayada sin rosca</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #d9e1f2;">Identificación</th> <th style="background-color: #d9e1f2;">Ciclos de rotura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>P1</td><td style="text-align: center;">653</td></tr> <tr><td>P2</td><td style="text-align: center;">672</td></tr> <tr><td>P3</td><td style="text-align: center;">641</td></tr> <tr><td>P4</td><td style="text-align: center;">685</td></tr> <tr><td>P5</td><td style="text-align: center;">669</td></tr> <tr><td>P6</td><td style="text-align: center;">647</td></tr> <tr><td>P7</td><td style="text-align: center;">679</td></tr> <tr style="background-color: #ffff00;"> <td>Promedio</td> <td style="text-align: center;">664</td> </tr> </tbody> </table>			Pernos sin galvanizar con sección ensayada sin rosca		Identificación	Ciclos de rotura	P1	653	P2	672	P3	641	P4	685	P5	669	P6	647	P7	679	Promedio	664
Pernos sin galvanizar con sección ensayada sin rosca																						
Identificación	Ciclos de rotura																					
P1	653																					
P2	672																					
P3	641																					
P4	685																					
P5	669																					
P6	647																					
P7	679																					
Promedio	664																					
<p>Los pernos sin galvanizar y son sección a cortante con rosca muestra los siguientes resultados:</p>																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #d9e1f2;">Pernos sin galvanizar con sección ensayada roscada</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #d9e1f2;">Identificación</th> <th style="background-color: #d9e1f2;">Ciclos de rotura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>PCRS1</td><td style="text-align: center;">15</td></tr> <tr><td>PCRS2</td><td style="text-align: center;">17</td></tr> <tr><td>PCRS3</td><td style="text-align: center;">14</td></tr> <tr><td>PCRS4</td><td style="text-align: center;">14</td></tr> </tbody> </table>			Pernos sin galvanizar con sección ensayada roscada		Identificación	Ciclos de rotura	PCRS1	15	PCRS2	17	PCRS3	14	PCRS4	14								
Pernos sin galvanizar con sección ensayada roscada																						
Identificación	Ciclos de rotura																					
PCRS1	15																					
PCRS2	17																					
PCRS3	14																					
PCRS4	14																					

PCRS5	15
PCRS6	15
PCRS7	16
Promedio	16

GRÁFICO DE RESULTADOS

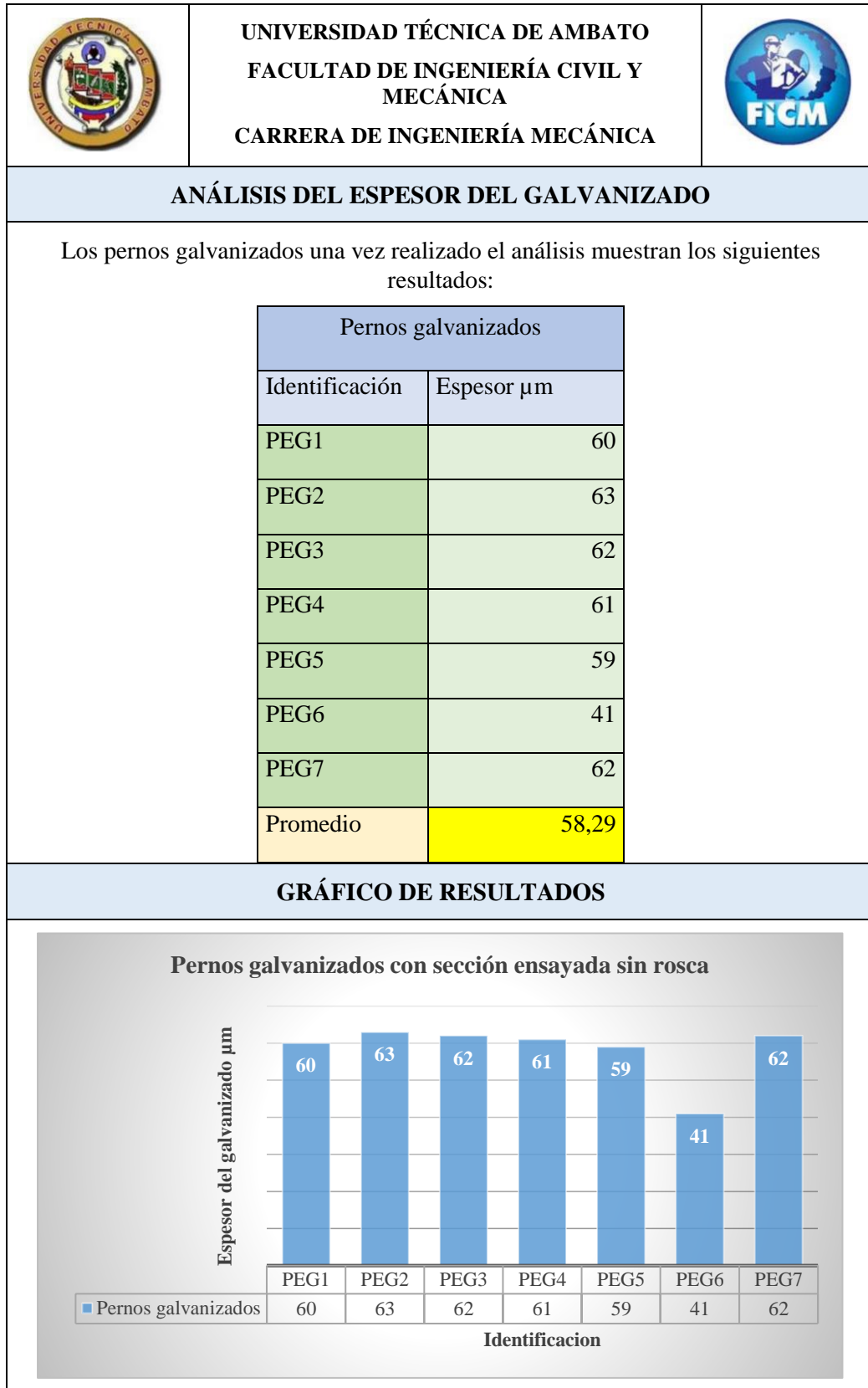


EVALUACIÓN

El comportamiento de los pernos sin galvanizar sin sección ensayada roscada frente a los pernos con sección roscada es evidente debido al promedio de ciclos de falla de cada grupo, es decir que los pernos sin sección roscada muestran un promedio de 664 ciclos hasta su fractura final mientras que los pernos con sección roscada tienen un promedio de 16 ciclos hasta su fractura por lo cual tienen un 97,59% menos de resistencia de fatiga a cortante.

Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martínez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba
-----------------------	------------------------	----------------------	-----------------------

Tabla 50. Ficha de análisis de resultados de pernos analizados el espesor del galvanizado.



EVALUACIÓN			
<p>Los pernos que se analizaron el espesor del galvanizado muestra que su espesor en cada perno es diferente teniendo un promedio general de 58,29μm que al compararlo con la norma ASTM A153 el cual muestra que son de clase C para elementos de tornillería de diámetro 3/8 de pulgada o mayores recomienda que el espesor de esos elementos galvanizados debería ser de 53 μm mostrando un 9,07 % como exceso lo cual de acuerdo a la norma menciona que el galvanizado de estos elementos están bajo las normas de calidad de los sujetadores y destaca que es importante la funcionalidad de los pernos sin mencionar algún otro parámetro con lo cual se muestra que el galvanizado realizado no afecta la funcionalidad de los mismos y se aceptan.</p>			
Elaborado por:	Egdo. Eugenio Martinez	Revisado por:	Ing. Mg. César Arroba

Con los datos obtenidos se realiza un análisis estadístico para conocer el grado de aceptabilidad de los componentes ensayados para obtener menor relación entre los mismos, se realiza una evaluación utilizando tablas de ponderación de la siguiente manera:

Tabla 51. Tabla de ponderación de probetas.

ENSAYO A CORTANTE			
Identificación de la probeta	Variación de ciclos a cortante	Δ	Mejores propiedades (sobre 10)
1.- Pernos sin galvanizar con sección a cortante sin rosca	664	348,50	10
2.- Pernos galvanizados con sección a cortante sin rosca	572	256,50	10
3.- Pernos sin galvanizar con sección a cortante roscada	16	299,50	5
4.- Pernos galvanizados con	10	305,50	5

sección a cortante roscada			
Parámetros	315,5		
D. estándar	351,32		

Para la respectiva valoración se toma en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 52. Tabla de valoración

Aceptable	10
Mediamente aceptable	5
No aceptable	0

De acuerdo a los datos obtenidos se realiza una tabla que permita obtener los valores que sean representativos para graficarlos:

Tabla 53. Tabla de limites

Datos	Promedio	Lim.max.desv.	Lim.min.desv.
664	315,5	666,82	-35,82
572	315,5	666,82	-35,82
16	315,5	666,82	-35,82
10	315,5	666,82	-35,82

Con lo cual obtenemos la siguiente grafica para su valoración respectiva:

De acuerdo al análisis mostrado se considera que el uso de los pernos con su sección roscada ubicada en el plano de corte no se recomienda debido baja resistencia.

4.10 Determinación del factor de concentración de esfuerzos

De acuerdo a los datos obtenidos en los ensayos partimos de los mismos juntándolos en la siguiente tabla:

Tabla 54. Tabla de resultados pernos sin galvanizar

Pernos sin galvanizar con sección ensayada sin rosca		Pernos sin galvanizar con sección ensayada rosca	
Identificación	PE1	Identificación	PE2
Promedio	664	Promedio	16

De acuerdo a los ensayos realizados se pudo determinar que los pernos que tienen su sección rosca cuando se someten a un esfuerzo de 53,17 ksi el perno sufre su rotura a un promedio de 16 ciclos, entonces:

$$b = -\frac{\log\left(\frac{\sigma'_F}{S'_e}\right)}{\log(2Ne)}$$

$$b = -\frac{\log\left(\frac{170\text{ksi}}{60\text{ksi}}\right)}{\log(2 * 15)}$$

$$b = -0,3$$

$$S'f = aN^b$$

$$a = \frac{S'f}{N^b}$$

$$a = \frac{53,17 \text{ ksi}}{(15)^{-0,3}}$$

$$a = 119,81$$

$$f = \frac{\sigma'_F}{S_{ut}} (2 * N)^b$$

$$f = \frac{170}{120} (2 * 15)^{-0,3}$$

$$f = 0,51$$

$$a = \frac{(f S_{ut})^2}{S_e}$$

$$S_e = \frac{(0,51 \times 120)^2}{119,81}$$

$$S_e = 31,26 \text{ ksi}$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

$$S'_e = 60 \text{ ksi}$$

$$k_a = 0,759$$

$$k_b = 0,828$$

$$k_c = 1$$

$$k_d = 1$$

$$k_e = 0,702$$

$$k_f = \frac{k_a k_b k_c k_d k_e S'_e}{S_e}$$

$$k_f = \frac{0,759 \times 0,828 \times 1 \times 1 \times 0,702 \times 60 \text{ ksi}}{31,26 \text{ ksi}}$$

$$k_f = 0,84$$

4.11 Procedimiento de análisis mediante Software de elementos finitos

El modelo de ensayo del cual se pretende evaluar es un ensayo a cortante simple el cual fue modelado en el Software SolidWorks como se muestra en la Imagen y puede usarse los formatos *.step (universal), *.igs (iges) o *.sat :

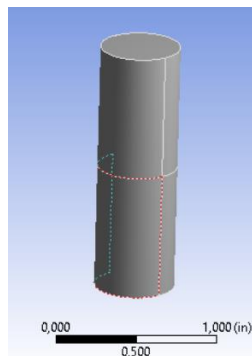


Imagen 47. Modelado de elemento

Al ubicarse en el software de elementos finitos la opción requerida para el análisis será Static Structural la cual debe arrastrarse hacia la pantalla principal:

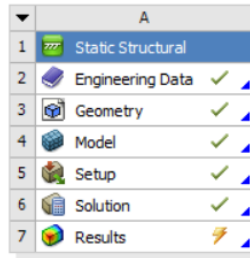


Imagen 48. Panel de ensayo

Seleccionar Engineering Data y presionar sobre la opción Crear nuevo material y ubicar el nombre del material, luego en la parte izquierda doble click sobre Linear Elasticity y presionar en Isotropic Elasticity y agregar el Módulo de Young del acero el cual debe estar en 29 ksi y Poisson de 0,3. Luego Presionar sobre Life y presionar Alternating Stress Mean Stress y ahí se ubicará los valores obtenidos del Atlas de fatiga para aceros de medio carbono. Luego en Life nuevamente presionar en Strain-life Parameters y agregar el Limite de cedencia del material debe ser 92 ksi y esfuerzo ultimo que debe estar en 120 ksi.

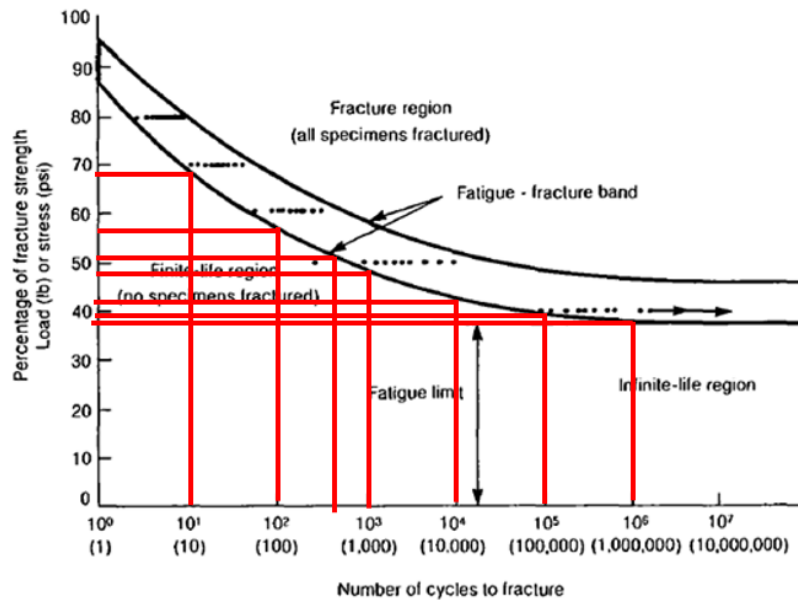


Imagen 49. Curva SN para aceros de mediana resistencia

(Fuente: [29])

De acuerdo a valores obtenidos del Atlas de fatiga relacionamos los valores obtenidos de los ensayos y obtenemos los siguientes valores:

Tabla 55. Tabla tabulada de SN de acero de mediana resistencia.

Valores SN a cortante aproximado	
Ciclos	Esfuerzo (psi)
10	68000
100	57000
660	53000
1000	48000
10000	42000
100000	39000

Con los valores obtenidos los introducimos en el Software:

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Isotropic Elasticity				
3	Derive from	Young's...			
4	Young's Modulus	29000	psi		
5	Poisson's Ratio	0,3			
6	Bulk Modulus	1,6662E+08	Pa		
7	Shear Modulus	7,6903E+07	Pa		
8	Field Variables				
9	Temperature	Yes			
10	Shear Angle	No			
11	Degradation Factor	No			
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
13	Interpolation	Linear			
14	Scale	1			
15	Offset	0	psi		
16	Tensile Yield Strength	92000	psi		
17	Tensile Ultimate Strength	1,2E+05	psi		

Imagen 50. Configuración de Material

Al configurar los parámetros del material es necesario importar la geometría que contiene el perno:

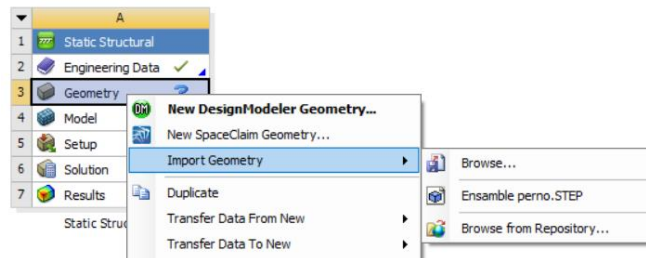


Imagen 51. Importación de la geometría

Luego abrir el modelo para configurar los parámetros del ensayo.

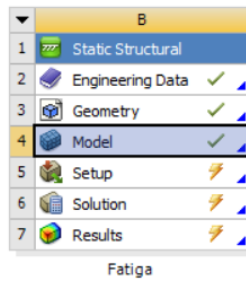


Imagen 52. Ingreso al Model para el análisis

A continuación, es importante agregar el mallado presionando la opción Mesh y generarla:

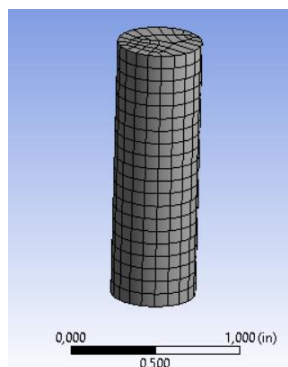


Imagen 53. Generación de malla

En la parte izquierda de la pantalla ubicarse en la opción Static Structural para agregar los soportes y cargas de acuerdo al modelo se ubicará en la placa superior el soporte ubicándolo como Fixed support y en la placa inferior la fuerza que genera el cálculo analítico el cual ubicándose dando click derecho sobre la opción Static Structural y presionando en Bearing Force para ingresar el valor de 10421,315 lb para producir un esfuerzo a cortante de 53,17 ksi.

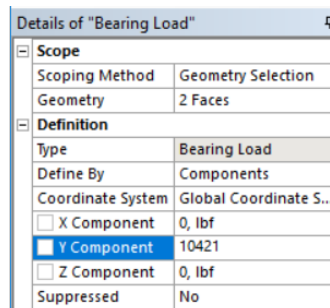


Imagen 54. Configuración de la fuerza cortante

Al final ubicarse sobre la opción Solution y se debe presionar agregar la barra de Fatigue Tool del cual se obtendrá las opciones Life que nos mostrarán el comportamiento de la junta empernada indicándonos el número de ciclos de fractura.

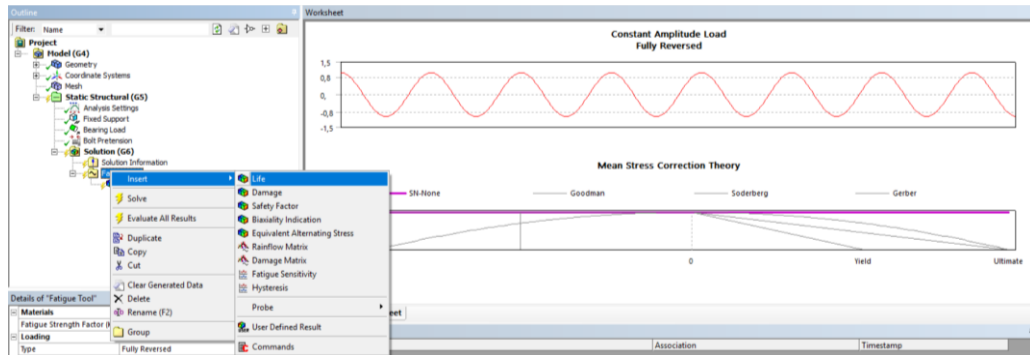


Imagen 55. Configuración de opciones Solution

Una vez ubicado los parámetros presiona clic derecho sobre Solution y una vez presionado en Solve se ejecutará el análisis finalmente se obtienen los siguientes resultados del análisis:

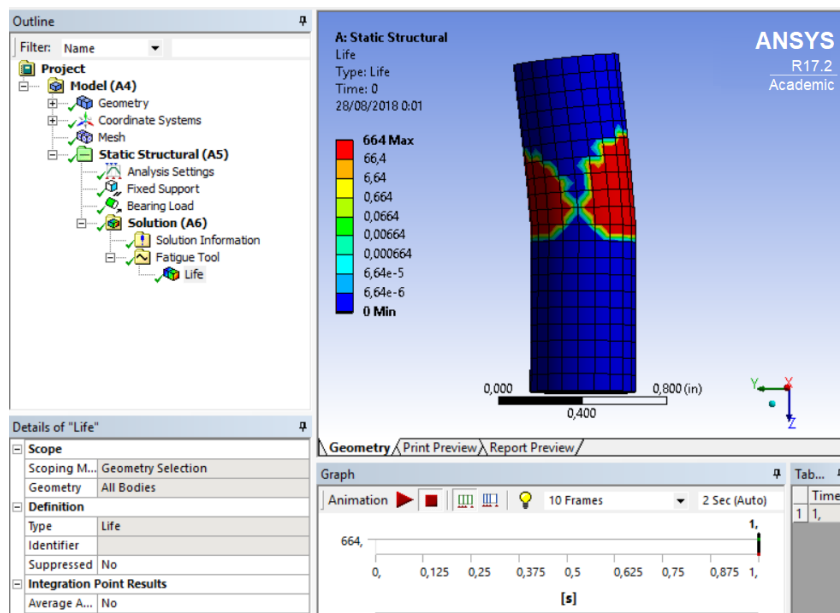


Imagen 56. Resultados del número de ciclos de falla opción Life

De acuerdo al análisis a fatiga del elemento nos muestra que su fractura se lleva a cabo a los 664 ciclos teniendo relación con los ensayos.

4.12 Análisis de Microscopia

Tornillo fracturado sin galvanizar.

Las características de fractura de un tornillo se evidencian en las etapas de desarrollo de fractura como lo menciona diferentes autores, con lo cual es conveniente localizar la ubicación del inicio de la fractura en las probetas que se tenga.

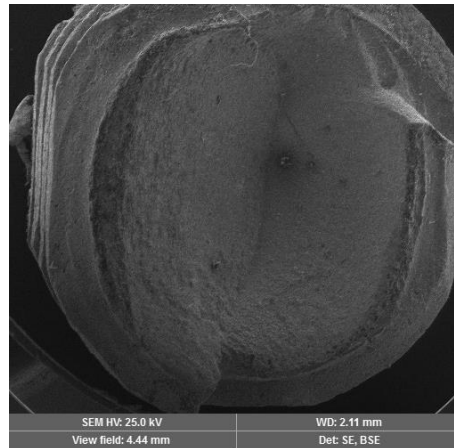


Imagen 57. Imagen SEM tomada a 25 KV con una magnificación de 31x y con una altura de trabajo WD de 2.11mm mediante el uso del Haz de secundarios.

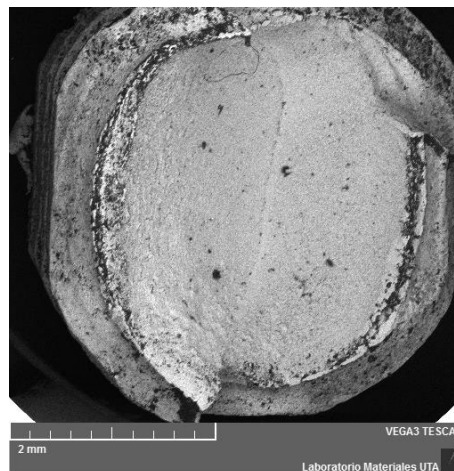


Imagen 58. Imagen SEM tomada a 25 KV con una magnificación de 31x y con una altura de trabajo WD de 2.11mm mediante el uso del Haz de retro dispersos.

Los pernos muestran que la fractura empieza en la en ambos lados del perno y es beneficiada por la concentración de esfuerzos que hay debido a la rosca del perno.

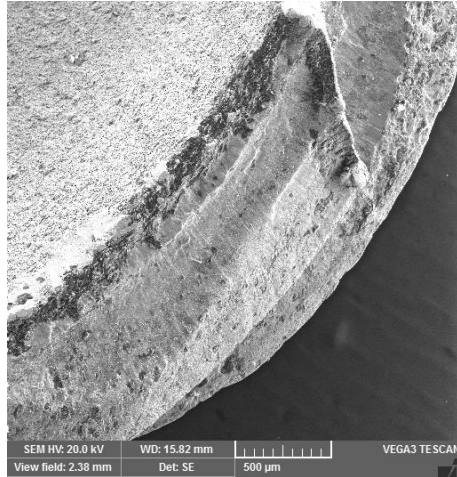


Imagen 59. Imagen SEM donde se localiza el borde de inicio de fractura del perno tomada a 20 KV con una magnificación de 58x y una distancia de trabajo de 15.82 mm mediante el detector de electrones secundarios.

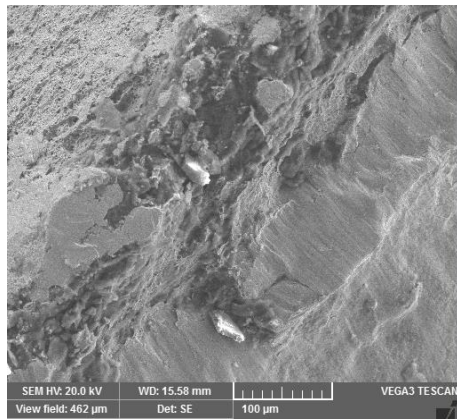


Imagen 60. Imagen SEM donde se acerca y se ubica la separación de los pliegues de playa que aparecen en una fractura a fatiga tomada a 20 KV con una magnificación de 299x y una distancia de trabajo de 15.58 mm mediante el detector de electrones secundarios.

Los pliegues de playa se ubican en una fractura producto del esfuerzo cíclico y son el límite en el cual se muestra el inicio del corte.

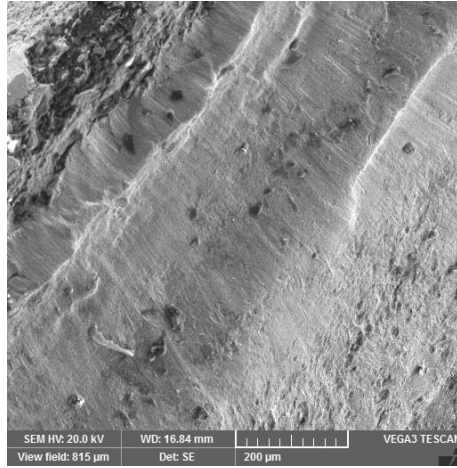


Imagen 61. Imagen SEM donde se muestra la distancia desde el borde de inicio de fractura del perno hasta el final de los pliegues de playa tomada a 20 KV con una magnificación de 170x y una distancia de trabajo de 16.84 mm mediante el detector de electrones secundarios.

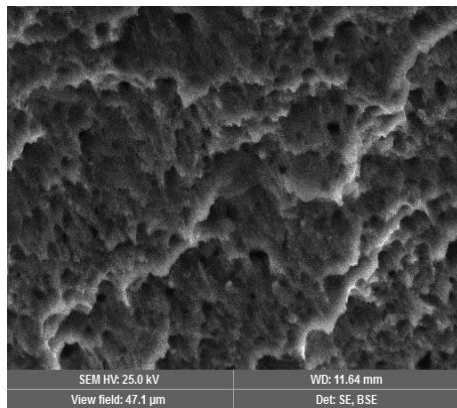


Imagen 62. Imagen SEM donde se muestran cráteres que aparecen en la zona central del perno donde el perno ha perdido la ductilidad tomada a 25 KV con una magnificación de 2940x y una distancia de trabajo de 11.64 mm mediante el detector de electrones secundarios.

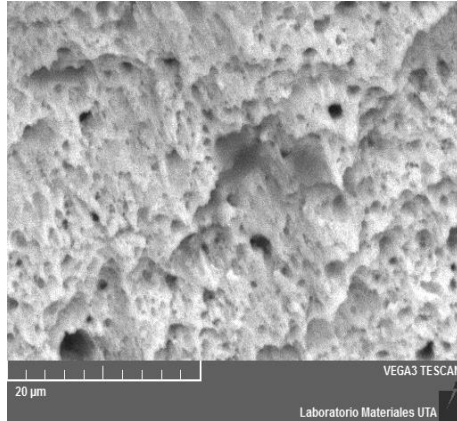


Imagen 63. Imagen SEM donde se muestran cráteres que aparecen en la zona central del perno donde el perno ha perdido la ductilidad tomada a 25 KV con una magnificación de 2940x y una distancia de trabajo de 11.64 mm mediante el detector de electrones retrodispersos.

Tornillo fracturado galvanizado

Las características de los pernos fracturados galvanizados y sin galvanizar son similares sin embargo el proceso de galvanizado como recubrimiento sirve para protegerlo de la corrosión al elemento. Sin un perno es sometido a cargas cíclicas o el proceso de galvanizado no se realiza correctamente pueden aparecer grietas o fisuras milimétricas que disminuyen la resistencia del elemento.

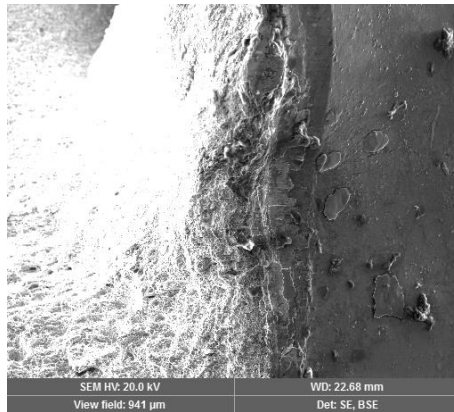


Imagen 64. Imagen SEM donde se muestra el inicio de la fractura localizada junto al borde del perno en medio de la rosca con las marcas de playa que se evidencian tomada a 25 KV con una magnificación de 2940x y una distancia de trabajo de 11.64 mm mediante el detector de electrones retrodispersos.

La galvanización y las cargas cíclicas pueden perjudicar el elemento por lo cual un acercamiento en la parte galvanizada es conveniente para determinar la aparición de grietas o fisuras.

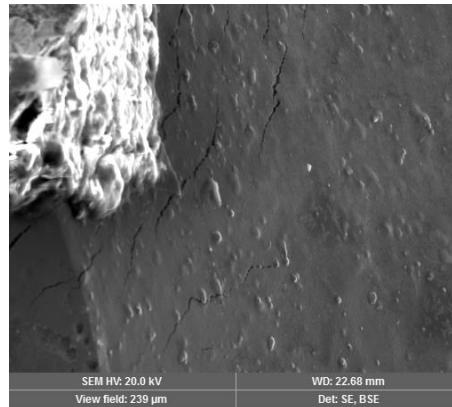


Imagen 65. Imagen SEM donde se muestran grietas microscópicas debidas la galvanización ya que las grietas se muestran de forma perpendicular al borde del perno tomada a 20 KV con una magnificación de 579x y una distancia de trabajo de 22.68 mm mediante el detector de electrones secundarios.

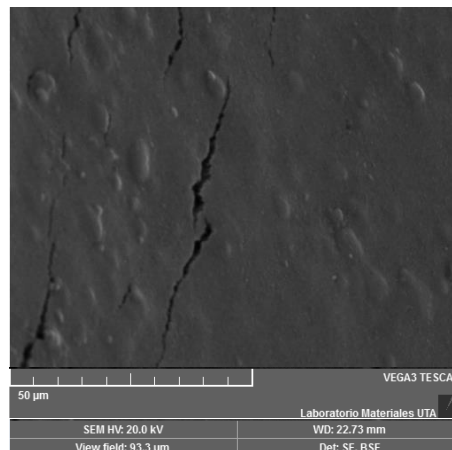


Imagen 66. Imagen SEM donde se muestran grietas microscópicas debidas la galvanización con una longitud aproximada 50µm tomada a 20 KV con una magnificación de 579x y una distancia de trabajo de 22.68 mm mediante el detector de electrones secundarios.

4.13 Verificación de hipótesis

La verificación de la hipótesis fue mediante la distribución T-Student para resistencia a fatiga de los pernos y conocer la influencia del galvanizado en los pernos.

El grupo ensayado con la sección sin rosca se analizará para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

- Ho: Hipótesis Nula
- Ha: Hipótesis Alternativa

Ho- El proceso de galvanizado en caliente no influye en la resistencia a la fatiga de los pernos SAE grado 5 utilizados en juntas a corte para torres de telecomunicaciones.

Ha- El proceso de galvanizado en caliente influye en la resistencia a la fatiga en los pernos SAE grado 5 utilizados en juntas a corte para torres de telecomunicaciones.

La hipótesis se comprobó utilizando una prueba bilateral es decir de dos colas, con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%.

Cálculo de la probabilidad, utilizando la ecuación (4.1):

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad (4.2)$$

Donde:

P= Probabilidad

α = Nivel de significancia

Reemplazando:

$$P = \frac{5}{100}$$

$$P = 0.05$$

Cálculo de grados de libertad, utilizando la ecuación (4.2):

$$G1 = n - 1 \quad (4.3)$$

Donde:

G1= Grados de libertad

n= Numero de muestras grupo

Reemplazando:

$$G1 = 7 - 1$$

$$G1 = 6$$

Con los valores de la probabilidad de 0.05 % y grados de libertad 6 se encuentra el valor t tabulado (ttabu) en la tabla de distribución T-Student.

$$Ttabu = \pm 1,9432$$

Tabla 56. Tabla de datos de base para la verificación de la hipótesis de la influencia del galvanizado

N° Probetas	Pernos sin galvanizar con sección a cortante sin rosca	Pernos galvanizados con sección a cortante sin rosca	H	H ^ 2
1	653	578	75,00	5625,00
2	672	530	142,00	20164,00
3	641	601	40,00	1600,00
4	685	567	118,00	13924,00
5	669	586	83,00	6889,00
6	647	565	82,00	6724,00
7	679	575	104,00	10816,00
		Σ	644,00	65742,00
		Promedio	92	

Cálculo de varianza, utilizando ecuación (4.3)

$$S^2d = \frac{\Sigma H^2 + \frac{(\Sigma H)^2}{n}}{n(n - 1)} \quad (4.4)$$

Donde:

- S2d = Desviación
- H = Diferencia entre los datos
- n = Número de datos

Reemplazando:

$$S^2d = \frac{65742 + \frac{(644)^2}{7}}{7(7-1)}$$

$$S^2d = 2975,95$$

$$Sd = 54,5$$

Se procede a calcular la t calculada con la ecuación (4,4)

$$t_{cal} = \frac{H \text{ promedio}}{sd} \quad (4.5)$$

Reemplazando:

$$t_{cal} = \frac{92}{54,55}$$

$$t_{cal} = 1,65$$

$$t_{cal} = 1,686 < t_{tab} = 1,9432$$

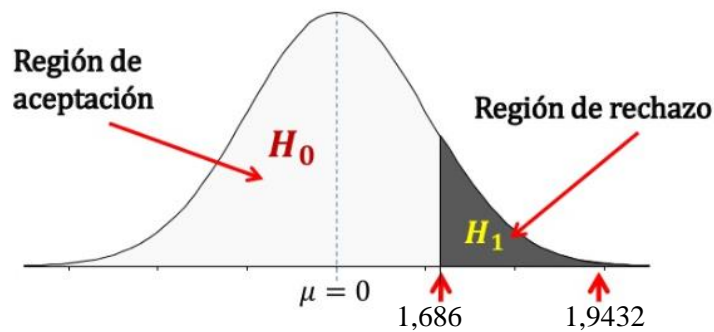


Imagen 67. Gráfico de comparación de valores Tstudent.

De acuerdo a los datos calculados se tiene que el tcal es menor al ttab por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Por lo cual podemos considerar que el proceso de galvanizado en caliente influye en la resistencia a la fatiga en los pernos SAE grado 5 utilizados en juntas a corte para torres de telecomunicaciones.

Capítulo V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los pernos ensayados con su sección no roscada y no galvanizados en caliente mostraron mayor resistencia a cortante que los pernos galvanizados y con su sección roscada.
- Los pernos SAE grado 5 con su sección ensayada sin roscar presentaron su falla en alrededor de 663 ciclos de fatiga presentando mayor resistencia a cortante que los otros pernos los cuales presentaron un promedio de 571 ciclos hasta su fractura.
- Los pernos galvanizados con su sección no roscada tuvieron sus ciclos de falla en alrededor de un 13,86% menos que los pernos sin galvanizar por lo cual muestra que su resistencia disminuye.
- Los pernos galvanizados muestran en el análisis metalográfico un espesor promedio de 60 μ m que en la mayoría de los pernos fue muy notorio y evidente la capa superficial.
- De acuerdo al análisis pertinente para determinar el factor de concentración de esfuerzos a fatiga de los pernos SAE grado 5 nos muestra que su factor debido a la rosca es de $K_f = 0,84$.
- El procedimiento de análisis mediante Software de elementos finitos nos muestra que es un análisis no lineal donde las propiedades del material asignado tienen su curva de esfuerzo deformación con más puntos de intersección que la que se usa para un análisis lineal.
- La rosca en los pernos SAE grado 5 debilita demasiado la resistencia a fatiga por lo cual en los ensayos al reproducir las mismas condiciones para todos los pernos la resistencia a fatiga demostró que son 90% menos eficientes.
- Los pernos ensayados que tienen su rosca en su sección a cortante presentaron su fractura mucho más frágil que los otros elementos de unión que no se ensayaron en su sección roscada.
- La fractura en los pernos fue guiada con una disminución en su diámetro de fractura lo cual se evidenció en los pernos que tenían su sección de ensayo no roscada.

- En ciertos elementos ensayados se pudo notar la formación de pliegues mostrando que su fractura creciente es decir que avanza hasta llegar a su zona plástica produciendo su fallo final.

5.2 Recomendaciones

- De acuerdo a la investigación realizada se puede mencionar que una buena opción para continuar la investigación puede ser la variación del tiempo de ensayo tanto para el esfuerzo a cortante positivo como negativo.
- En base a la investigación realizada se menciona que la pretensión de los pernos también es un factor importante que aumenta la resistencia por lo cual es una buena variante para posteriores investigaciones.
- El ejecutar los ensayos mecánicos en pernos galvanizados y que no tienen mucho tiempo de aplicación del recubrimiento no permite evidenciar de manera correcta el comportamiento real de los pernos.
- Es evidente que los pernos en su medio de trabajo se encuentran rodeados de muchos factores que intervienen en su modo de fallo, sin embargo la reproducción del ensayo trata de obtener la resistencia cíclica en condiciones ideales, por lo cual sería bueno realizar los mismos ensayos con pernos que ya fueron sometidos a algún tipo de medio que les permita corroerse y obtener la resistencia de los elementos simulando el uso en medios corrosivos lo cual permitiría conocer el beneficio del recubrimiento galvanizado.
- Los pernos que se ubican en los medios de trabajo tienen diferentes configuraciones o modos de montaje que a veces no son considerados, es decir que también existen juntas ensambladas a doble cortante por lo cual el comportamiento del perno no debería ser el mismo según este estudio permitiría conocer la influencia real una junta a doble cizalladura.
- El estudio de los pernos en esta investigación abarca pernos que se utilizan en torres de telecomunicaciones los cuales son del grado SAE, sin embargo, existen otras denominaciones con las cuales se puede comparar cada uno de los elementos y denotar su resistencia.
- Los pernos SAE grado 5 son elementos de unión intermedios que tienen su resistencia entre un perno de baja resistencia como el grado 3 y de alta resistencia como el grado 8 los cuales son los pernos que más se usan en el medio industrial, sin embargo, no hay estudios a fatiga de estos pernos por lo cual sería bueno obtener valores de estos elementos.

- La temperatura de ensayo de los pernos fue a temperatura ambiente, sin embargo, debido a los factores que intervienen en la resistencia de los pernos y que no solamente se usan en la región Andina se puede realizar un estudio con variación de temperatura de ensayo de los mismo.

C.- Materiales de referencia

1. Bibliografía

- [1] H.-S. Nah, H.-J. Lee, K.-S. Kim, J.-H. Kim y W.-B. Kim, «Evaluating Relaxation of High-strength Bolts by Parameters on Slip Faying Surfaces of Bolted Connections,» *International Journal of Steel Structures*, vol. 10, n° 3, pp. 295-303, Septiembre 2010.
- [2] C.-D. Annan y A. Chiza, «Slip resistance of metalized–galvanized faying surfaces in steel bridge construction,» *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 95, pp. 211-219, 2014.
- [3] J. Liu, H. Ouyang, J. Peng, C. Zhang, P. Zhou, L. Ma y M. Zhu, «Experimental and numerical studies of bolted joints subjected to axial excitation,» *Tribology International*, Vols. %1 de %2346-347, pp. 66-77, 2015.
- [4] J. A. Alvarez, R. Lacalle, B. Arroyo, S. Cicero y F. Gutierrez-Solana, «Failure Analysis of High Strength Galvanized Bolts Used in Steel Towers,» *Metals*, vol. 6, p. 163, 2016.
- [5] J. Sabadell, «Galvanización,» *Revista internacional sobre las aplicaciones del acero galvanizado*, pp. 19-20, 2013.
- [6] R. Oviedo Yraima, «Estructura y caracterización de los recubrimientos galvanizados por inmersión en caliente, sobre aceros.,» *Revista Digital de Investigación y Postgrado de la Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre"*, vol. 2, n° 5, pp. 368-378, Octubre 2012.
- [7] G. L. SA, «Galvanizados Lacunza,» GLSA, 29 Enero 2018. [En línea]. Available: <http://www.galvanizadoslacunza.com/ProcesoGalvanizado.htm>. [Último acceso: 13 Marzo 2018].

- [8] GIC, «Prohelsa,» 14 Diciembre 2017. [En línea]. Available:
<http://prohelsa.com/assets/catalogo-galvanizado-prohelsa.pdf>. [Último acceso: 22 Febrero 2018].
- [9] J. A. Ortega Maiquez, Corrosion Industrial, Marcombo, 1990, pp. 29-30.
- [10] O. Infante, «Asociacion de Industrias Metalurgicas y Metalmeccanicas A.G,» ASIMET, 1 Junio 2017. [En línea]. Available:
http://www.asimet.cl/galvanizado_b.htm. [Último acceso: 19 Junio 2017].
- [11] J. Carpio, J. A. Alvarez, J. A. Casado y F. Gutierrez-Solana, «Micromecanismos de fallo de aceros estructurales durante la galvanización en caliente,» *Deformacion y chapa*, vol. I, n° 12, pp. 50-65, 2014.
- [12] I. G. S.A, «INGALSA S:A,» 15 Diciembre 2016. [En línea]. Available:
http://www.ingalsa.net/pdfs/galvanizacion_quees.pdf. [Último acceso: 22 Febrero 2018].
- [13] S. Garcia Vega, «Garcia Vega SA,» GV, 8 12 2017. [En línea]. Available:
<http://garciavega.co/galvanizado-por-inmersion/>. [Último acceso: 14 Marzo 2018].
- [14] A. Sanchez y L. Ruiz, «Causas y consecuencias de la corrosión de una tubería de acero,» *Materiales de Construccion*, vol. 52, n° 266, pp. 77-83, 2002.
- [15] AGA, «American Galvanizers Association,» 20 Febrero 2015. [En línea]. Available:
https://www.galvanizeit.org/uploads/publications/Galvanizado_Caliente_guia_especificador_small.pdf. [Último acceso: 19 Junio 2017].
- [16] C. Galvanizadora, «Grupo H7,» 13 Octubre 2016. [En línea]. Available:
<http://www.grupoh7.com/cemesa/images/Galvanizado%20en%20Caliente.pdf>. [Último acceso: 19 Junio 2017].
- [17] W. D. Callister, *Introduccion a la Ciencia e Ingenieria de los Materiales*, Barcelona, Bogota, Buenos Aires, caracas, Mexico: Editorial Reverté, S.A., 2005.
- [18] R. Budynas y J. Keith Nisbeth, *Diseño en Ingenieria Mecanica de Shigley*, Boston: McGraw-Hill Higher education, 2008.
- [19] J. C. McCormac, *Diseño de Estructuras de Acero*, Segunda ed., Méxio:

- Alfaomega Grupo Editor, S.A, 2002.
- [20] R. C. Hibbeler, *Mecanica de Materiales*, Sexta ed., P. M. Guerrero Rosas, Ed., Mexico: Pearson Educación, 2006, p. 896.
- [21] J. M. Gere y B. J. Goodno, *Mecanica de Materiales*, Septima ed., Mexico: Cengage Learning Editores, 2009.
- [22] J. F. Shackelford, *Introduccion a la Ciencia de Materiales para Ingenieros*, Madrid: Pearson Educación, S.A., 2005.
- [23] I. Romero Olleros, «Grupo de Simulacion y modelado,» 11 Mayo 2016. [En línea]. Available: <http://bigmac.mecaest.etsii.upm.es/~ignacio/resources/MSD/Apuntes/msd.pdf>. [Último acceso: 19 Junio 2017].
- [24] L. A. Sáenz Palencia, *Fundamentos CREEP Fatiga*, Sangolquí: Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2017.
- [25] V. Badiola, «IMAC: Ingeniería Mecánica Aplicada y Computacional,» 31 Agosto 2015. [En línea]. Available: <https://goo.gl/k3ZoQE>. [Último acceso: 23 Julio 2018].
- [26] R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Máquinas*, Cuarta ed., P. M. Guerrero Rosas, Ed., México: Pearson Educación, 2006, p. 944.
- [27] S. Murray R y S. Larry J, *ESTADÍSTICA*, Cuarta ed., Mexico: Mc Graw-Hill, 2009.
- [28] F. R. Reconquista, «Universidad Tecnologica Nacional,» 4 Mayo 2016. [En línea]. Available: http://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/5510/mod_resource/content/1/Tornillos%20202.pdf. [Último acceso: 13 Julio 2017].
- [29] J. P. Celis y V. E. Leal, «ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS DE COLOMBIA - ANDI,» 27 Noviembre 2014. [En línea]. Available: http://www.andi.com.co/cf/PublishingImages/Paginas/Documentos_de_interes/Guia%20de%20Galvanizado%20Inmersi%C3%B3n%20en%20Caliente.pdf. [Último acceso: 19 Junio 2017].
- [30] E. P. Popov, *Mecanica de Solidos*, Segunda ed., Mexico: Pearson Educación,

2000, p. 888.

- [31] O. Infante, «Revista Metalindustria,» ASIMET, 12 Septiembre 2017. [En línea]. Available: www.asimet.cl/galvanizado_b.htm. [Último acceso: 18 Febrero 2018].


2. Anexos

Anexo A. Ficha de Recolección de datos de Ensayos a Fatiga

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO A FATIGA JUNTAS A CORTE			
Datos informativos:			
Tipo de Estudio:		Ensayo N°:	
Identificación del componente:			
Centro de Análisis y estudio:			
Fecha:		Ciudad:	
PARÁMETROS			
Maquina/Equipo:	Máquina de ensayos a fatiga de juntas a corte		
Presión máxima:	3000 psi		
Diámetro del cilindro:	4 in		
Diámetro del eje:	2 in		
Potencia del motor	7,5 HP		
Revoluciones motor:	1740 rpm		
Alimentación:	(230V/21,6A) - (460V/10.8A)		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS DE ENSAYO			
Características del perno:			
Recubrimiento:		Identificación:	
Diámetro:		Longitud:	
Sección: ensayada.		Temperatura de ensayo:	

DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			
CODIGO ASIGNADO	ESFUERZO DE FALLA (τ)	TORQUE AJUSTE	CICLOS (n)
FOTOGRAFÍA DEL PERNO ENSAYADO			
GRÁFICO DE RESULTADOS			
<div style="text-align: center;"> <p>Resistencia a Fatiga</p> <p>Esfuerzo de falla, τ (ksi)</p> <p>Número n de ciclos de falla</p> </div>			
OBSERVACIONES			
Elaborado por:		Revisado por:	

Anexo B. Ficha de Recolección de datos de Ensayo Metalográfico

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ENSAYO METALOGRÁFICO		
Datos informativos:		
Tipo de Estudio:		Ensayo N°:
Identificación del componente:		
Centro de análisis y estudio:		
Fecha:		Ciudad:
PARAMETROS		
Maquina/Equipo:	Microscopio Metalográfico	
Marca:	VANGUARD	
Modelo:	N267521	
Magnificación:	40-400X	
Filtro:	4 colores	
Iluminación:	Luz fluorescente	
Alimentación:	110 V	
PARAMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO		
Característica del elemento:		
Acondicionamiento de la superficie:		
Superficie preparada en:		
Ataque químico de la superficie con:		
Tiempo hasta reacción de la superficie:		
Temperatura de ensayo:		

FOTOGRAFÍAS DE LA MICROESTRUCTURA			
40X	100X	200X	400X
RESULTADOS OBTENIDOS			
<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de Carbono $\%C = \frac{\%P}{130}$ • Dureza Brinell Porcentajes ingresar en decimales <i>HB Perlita = 240</i> <i>HB Ferrita = 90</i> $HB = \%P(HB\ Perlita) + \%F(HB\ Perlita)$ • Resistencia a la Tracción $\sigma_u = 500HB\ (psi)$ 			
OBSERVACIONES			
De acuerdo a los datos obtenidos en el ensayo de metalografía corresponde al material AISI XXXX debido a las fases presentes.			
Elaborado por:		Revisado por:	

Anexo C. Norma SAE J429



CERTIFICATE

By Authority Of THE UNITED STATES OF AMERICA Legally Binding Document

By the Authority Vested By Part 5 of the United States Code § 552(a) and Part 1 of the Code of Regulations § 51 the attached document has been duly **INCORPORATED BY REFERENCE** and shall be considered legally binding upon all citizens and residents of the United States of America. ***HEED THIS NOTICE:*** Criminal penalties may apply for noncompliance.



Document Name: SAE J429: Mechanical and Quality Requirements for Externally Threaded Fasteners

CFR Section(s): 30 CFR 77.403-1(d)(2)(iii)(B)

Standards Body: Society for Automotive Engineering



Official Incorporator:

THE EXECUTIVE DIRECTOR
OFFICE OF THE FEDERAL REGISTER
WASHINGTON, D.C.

MECHANICAL AND QUALITY REQUIREMENTS FOR EXTERNALLY THREADED FASTENERS — SAE J429f

SAE Standard

Report of Iron and Steel Technical Committee approved January 1949 and last revised June 1971.

1. Scope—This SAE Standard covers the mechanical and quality requirements for steel bolts, screws, studs, and sems used in automotive and related industries in sizes to 1½ in, inclusive. This standard does not include limits for surface discontinuities. Where usage requires such control, limits may be specified separately. For certain type, size, and length of products this may be done by the statement: "Surface discontinuities shall not exceed the limits shown in SAE J123."

NOTE: Previous issues of this standard also covered nuts, now covered separately in SAE J995.

2. Designations

2.1 Designation System—Grades are designated by numbers where increasing numbers represent increasing tensile strength, and by decimals of whole numbers where decimals represent variations at the same strength level. The grade designations are given in Table 1.

2.2 Grades—Bolts and screws are normally available only in Grades 1, 2, 5, 5.2, 7, and 8. Studs are normally available only in Grades 1, 2, 4, 5, 8, and 8.1. Grade 5.1 is applicable to sems which are heat treated following assembly of the washer on the screw, and to products without assembled washer.

3. Materials and Processes

3.1 Steel Characteristics—Bolts, screws, studs, and sems shall be made of steel conforming to the description and chemical composition requirements specified in Table 2 for the applicable grade.

3.2 Heading Practice—Methods other than upsetting and/or extrusion are permitted only by special agreement between purchaser and supplier.

Grade 1 bolts and screws may be hot or cold headed, at option of the manufacturer.

Grades 2, 5, 5.2, 7, and 8 bolts and screws in sizes up to ¾ in, inclusive, and in lengths up to 6 in, inclusive, shall be cold headed, except

that by special agreement they may be hot headed. Larger sizes and longer lengths may be hot or cold headed, at option of the manufacturer.






Grade 5.1 bolts, screws, and sems shall be cold headed.

3.3 Threading Practice—Grades 2, 5, 5.2, and 8 bolts and screws in sizes up to ¾ in, inclusive, and lengths up to 6 in, inclusive, shall be roll threaded, except by special agreement. Grade 7 bolts and screws shall be roll threaded after heat treatment. Grade 5.1 bolts, screws, and sems shall be roll threaded. Threads of all sizes of Grade 1 bolts and screws, and Grades 2, 5, 5.2, and 8 bolts and screws in sizes over ¾ in and/or lengths longer than 6 in, may be rolled, cut, or ground, at option of the manufacturer. Threads of all grades and sizes of studs may be rolled, cut, or ground, at option of the manufacturer.

3.4 Heat Treatment Practice—Grade 1 bolts and screws and Grades 1 and 2 studs need not be heat treated. When specified by purchaser, Grade 2 cold headed bolts and screws shall be stress relieved at a minimum stress relief temperature of 875 F (468 C). Grades 4 and 8.1 studs are manufactured from pretreated material and the studs, as manufactured, need no further heat treatment. Grades 5 and 5.2 bolts, screws, and studs shall be heat treated, oil or water quenched, at option of manufacturer, and tempered at a minimum tempering temperature of 800 F (427 C). Grade 5.1 bolts, screws, and sems shall be heat treated, quenched, and tempered at a minimum tempering temperature of 650 F (343 C). For Grade 5.1 sems, quenchants whose principal constituent is water shall not be used, unless specifically approved by the user. Grades 7 and 8 bolts and screws and Grade 8 studs shall be heat treated, oil quenched, and tempered at a minimum tempering temperature of 800 F (427 C).

3.5 Decarburization—Unless otherwise specified, Grades 5, 5.1, 5.2, 7, and 8 bolts, screws, and studs shall conform to Class C unless Class B is specified, as described in SAE J121.

TABLE 1—MECHANICAL REQUIREMENTS AND IDENTIFICATION MARKING FOR BOLTS, SCREWS, STUDS AND SEMS

Grade Designation	Products	Nominal Size Dia, in	Full Size Bolts, Screws, Studs, Sems		Machine Test Specimens of Bolts, Screws, and Studs				Surface Hardness	Core Hardness		Grade Identification Marking
			Proof Load, psi	Tensile Strength Min, psi	Yield ^a Strength Min, psi	Tensile Strength Min, psi	Elongation Min, %	Reduction of Area Min, %	Rockwell 30N Max	Rockwell		
										Min	Max	
1	Bolts, Screws, Studs	1/4 thru 1-1/2	33,000	60,000	36,000 ^b	60,000	18	35	—	B70	B100	None
2	Bolts, Screws, Studs	1/4 thru 3/4 ^e	55,000	74,000	57,000	74,000	18	35	—	B80	B100	None
		Over 3/4 to 1-1/2	33,000	60,000	36,000 ^b	60,000	18	35	—	B70	B100	
4	Studs	1/4 thru 1-1/2	—	115,000	100,000	115,000	10	35	—	C22	C32	None
5	Bolts, Screws, Studs	1/4 thru 1	85,000	120,000	92,000	120,000	14	35	54	C25	C34	
		Over 1 to 1-1/2	74,000	105,000	81,000	105,000	14	35	50	C19	C30	
5.1 ^d	Bolts, Screws, Sems ^h	No. 6 thru 3/8	85,000	120,000	—	—	—	—	59.5 ^g	C23	C40g	
5.2	Bolts Screws	1/4 thru 1	85,000	120,000	92,000	120,000	14	35	56	C26	C36	
7 ^e	Bolts Screws	1/4 thru 1-1/2	105,000	133,000	115,000	133,000	12	35	54	C28	C34	
8	Bolts, Screws, Studs	1/4 thru 1-1/2	120,000	150,000	130,000	150,000	12	35	57.5	C32	C38	
8.1	Studs	1/4 thru 1-1/2	120,000	150,000	130,000	150,000	10	35	—	C32	C38	None
8.2	Bolts Screws	1/4 thru 1-1/2	See Appendix									

^a Yield strength is stress at which a permanent set of 0.2% of gage length occurs.
^b Yield point shall apply instead of yield strength at 0.2% offset.
^c Grade 2 requirements for sizes 1/4 through 3/4 in apply only to bolts and screws 6 in and shorter in length, and to studs of all lengths. For bolts and screws longer than 6 in, Grade 1 requirements shall apply.

^d Grade 5 material heat treated before assembly with a hardened washer is an acceptable substitute.

^e Grade 7 bolts and screws are roll threaded after heat treatment.

^f See Table 6 for gage length.

^g Hex washer head and hex flange products without assembled washers shall have a core hardness not exceeding Rockwell C38 and a surface hardness not exceeding Rockwell 30N 57.5.

^h Sems-screw and washer assemblies.

TABLE 2—CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS^a

Grade	Material and Treatment	Element, %					
		C		Mn Min	P Max	S Max	B Min
		Min	Max				
1	Low or medium carbon steel	—	0.55	—	0.048	0.058	—
2	Low or medium carbon steel	—	0.28 ^b	—	0.048	0.058 ^c	—
4	Medium carbon cold drawn steel	—	0.55	—	0.048	0.058	—
5	Medium carbon steel, quenched and tempered	0.28	0.55	—	0.048	0.058 ^d	—
5.1	Low or medium carbon steel, quenched and tempered	0.15	0.30	—	0.048	0.058	—
5.2	Low carbon martensite steel, fully killed, fine grain, quenched and tempered	0.15	0.25	0.74	0.048	0.058	0.0005
7	Medium carbon alloy steel, quenched and tempered ^e	0.28	0.55	—	0.040	0.045	—
8	Medium carbon alloy steel, quenched and tempered ^e	0.28	0.55	—	0.040	0.045	—
8.1	Elevated temperature drawn steel—medium carbon alloy or SAE 1541 (formerly SAE 1041)	0.28	0.55	—	0.048	0.058	—
8.2	Low carbon martensite steel, fully killed, fine grain, quenched and tempered	See Appendix					

^a All values are for check analysis (per cent by weight). For ladle analysis, use standard permissible variations as shown in SAE J409.

^b For all sizes and lengths of studs, and for bolts and screws larger than 3/4 in diameter and/or longer than 6 in, carbon content may be 0.55% max.

^c For studs only, sulfur content may be 0.33% max.

^d For studs only, sulfur content may be 0.13% max.

^e Steel shall be fine grain, with hardenability that will produce a minimum hardness of Rockwell C47 at the center of the threaded section one diameter from the end of the bolt, screw, or stud after oil quenching (see SAE J407). Carbon steel may be used by agreement between producer and consumer, for sizes 1/4 through 3/4 in diameter products, SAE 1541 (1041) steel, oil quenched and tempered, may be used at the option of the producer for products 7/16 in nominal diameter and smaller.

4. **Mechanical Requirements**—Bolts, screws, studs, and sems shall be tested in accordance with the mechanical testing requirements for the applicable type, grade, size, and length of product as specified in Table 3, and shall meet the mechanical requirements specified for that product in Table 1.

5. **Methods of Test**

5.1 **Hardness**—The hardness of bolts, screws, studs, and sems shall be determined at mid-radius of a transverse section through the threaded portion of the product taken at a distance of one diameter from the end of the product. The reported hardness shall be the average of four hardness readings located at 90 deg to one another. The preparation of test specimens and the performance of hardness tests shall be in conformity with the requirements of SAE J417.

To meet the requirements of paragraph 4, the hardness shall not exceed the maximum hardness specified in Table 1 for the applicable grade. In addition, as required in paragraph 4 and Table 3, the hardness shall be not less than the minimum hardness specified in Table 1 for the applicable grade.

5.2 **Surface Hardness**—Tests to determine surface hardness conditions shall be conducted on the ends, hexagon flats, or unthreaded shanks which have been prepared by lightly grinding or polishing to insure accurate reproducible readings in accordance with SAE J417. Proper correction factors shall be used when hardness tests are made on curved surfaces, per ASTM E 18.

Depending on the location and individual surface upon which the test is conducted, some increase in hardness above that specified in Table 1, when measured on the Rockwell 30N scale, may occur for reasons other than carburization. To insure that lots of products not considered acceptable for this cause are in fact carburized, the metallographic and hardness checking technique described in SAE J121 shall be used.

In applying the J121 procedure, a difference between Knoop and Rockwell 30N readings by conversion may occur. This difference is disregarded since the primary purpose of the Knoop traverse in J121 is to establish the existence of carburization.

5.3 **Proof Load**—The proof load test consists of stressing the bolt, screw, stud, or sem with a specified load which the product must with-

TABLE 3—MECHANICAL TESTING REQUIREMENTS FOR BOLTS, SCREWS, STUDS, AND SEMS

Product	Grade	Specified Min Tensile Strength of Product, lb	Length of Product	Hardness ^a		Tests Conducted Using Full Size Products ^a			Tests Conducted Using Machine Test Specimens ^a			
				Max	Min	Proof Load	Wedge Tensile Strength	Axial Tensile Strength	Yield Strength	Axial Tensile Strength	Elongation	Reduction of Area
Short Bolts and Screws	1, 2, 5, 5.2, 7, 8	All	Less than 3D ^b	*	*	—	—	—	—	—	—	—
Special Head Bolts and Screws ^a	1, 2, 5, 5.2, 7, 8	All	All	*	*	—	—	—	—	—	—	—
Square and Hex Bolts and Screws	1, 2, 5, 5.2, 7, 8	100,000 and less	3D to 8D or 8 in, whichever is greater	*	—	*	*	—	—	—	—	—
			Over 8D or 8 in, whichever is greater, thru and including 12 in	*	—	Option A	*	—	Option B	Option B	Option B	Option B
		Over 12 in	*	—	Option A	Option A	—	Option B	Option B	Option B	Option B	Option B
All Other Bolts and Screws	1, 2, 5, 5.2, 7, 8	100,000 and less	3D to 8D or 8 in, whichever is greater	*	—	*	—	*	—	—	—	—
		Over 100,000	3D and longer	*	—	Option A	—	Option A	Option B	Option B	Option B	Option B
Short Studs	1, 2, 4, 5, 8, 8.1	All	Less than 3D	*	*	—	—	—	—	—	—	—
			3D and longer	*	—	—	—	—	*	*	*	*
All Other Studs	1, 2, 5, 8, 8.1	100,000 and less	3D to 8D or 8 in, whichever is greater	*	—	*	*	—	—	—	—	—
			Over 8D or 8 in, whichever is greater	*	—	Option A	Option A	—	Option B	Option B	Option B	Option B
		Over 100,000	3D and longer	*	—	Option A	Option A	—	Option B	Option B	Option B	Option B
Short Bolts, Screws, and Sems	5.1	All	Less than 3D	*	*	—	—	—	—	—	—	
Hex Head Bolts, Screws, and Sems	5.1	All	3D and longer	*	—	*	*	—	—	—	—	
Other Bolts, Screws, and Sems	5.1	All	3D and longer	*	—	*	—	*	—	—	—	
Tests to be performed in accordance with paragraph				5.1		5.3	5.5	5.4	5.6			

^a Asterisks (*) denote mandatory tests. Where options are indicated, all Option A tests (which apply to full size products) or all Option B tests (which apply to machined specimens) shall be performed. Option B tests shall be performed in case arbitration is necessary. Dashes (—) denote tests which are not required.

^b D equals nominal diameter of the product.
^c Special head bolts and screws are those with special configurations or with drilled heads which are weaker than the threaded section.

stand without permanent set.

The overall length of the specimen shall be measured between conical or ball centers on the centerline of the specimen, using mating centers on the measuring anvils. The specimen shall be marked so that it can be placed in the measuring fixture in the same position for all measurements. The measurement instrument shall be capable of measurement to 0.0001 in. In the case of sems, the washer shall be removed from the screw prior to assembly in the testing machine. The grips of the testing machine shall be self-aligning to avoid side thrust on the specimen. For bolts, screws, and sems, the specimen shall be assembled in the fixture of the tensile machine so that six complete threads are exposed between the grips. This is obtained by freely running the nut or fixture to the thread runout of the specimen and then unscrewing the specimen six full turns. When proof load testing studs, one end of the stud shall be assembled in a threaded fixture to the thread runout. For studs having unlike threads, this shall be the end with the finer pitch thread. The other end of the stud shall likewise be assembled in a threaded fixture, except it shall be unscrewed six full turns from the thread runout, thus leaving six complete threads exposed between the grips. The bolt, screw, stud, or sem shall then be axially loaded to the proof load specified for the applicable size, thread series, and grade in Table 5, the load retained for a period of 10 s, the load removed, and the overall length again measured. The speed of testing, as determined with a free running cross head, shall not exceed 0.12 in/min.

To meet the requirements of paragraph 4, the length of the bolt, screw, stud, or sem after loading shall be the same as before loading within a tolerance of ±0.0005 in allowed for measurement error.

Variables, such as straightness and thread alignment (plus measurement error), may result in apparent elongation of the fasteners when the proof load is initially applied. In such cases, the fastener may be retested using a 3% greater load, and may be considered satisfactory if the length after this loading is the same as before this loading (within the 0.0005 in tolerance for measurement error).

TABLE 4—TENSILE TEST WEDGE ANGLES

Product	Grade	Nominal Size of Product, in	Wedge Angle, deg
Bolts and Screws	1, 2	1/4 thru 1	10
		Over 1 to 1-1/2	6
	5, 5.2, 7, 8 ^a	1/4 thru 1	10
		Over 1 to 1-1/2	6
Hex Head Bolts, Screws and Sems	5.1	No. 6 thru 3/8	6
Studs	1, 2, 5, 8, 8.1	1/4 thru 3/4	6
		Over 3/4 to 1-1/2	4

^aFor Grades 5, 5.2, 7, and 8 bolts and screws which are threaded 1 dia and closer to the underside of head, wedge angle shall be 6 deg for sizes 1/4 through 3/4 in, and 4 deg for sizes over 3/4 in.

5.4 Axial Tensile Strength—Following proof load testing, the same bolt, screw, stud, or sem shall be reassembled in the testing machine with six complete threads exposed between the grips and axial loading applied until failure. The grips of the testing machine shall be self-aligning to avoid side thrust on the specimen. Typical fixturing is illustrated in Fig. 1. The speed of testing, as determined with a free running cross head, shall not exceed 1 in/min.

To meet the requirements of paragraph 4, the bolt, screw, stud, or sem shall fracture at a load not less than the minimum tensile strength specified for the applicable size, thread series, and grade in Table 5. In addition, for bolts, screws, and sems, the fracture shall occur in the body or threaded section with no failure at the junction of the head and shank.

5.5 Wedge Tensile Strength

5.5.1 BOLTS AND SCREWS—Following proof load testing, the same bolt or screw shall be assembled with a wedge inserted under the head, as

TABLE 5 — PROOF LOAD AND TENSILE STRENGTH REQUIREMENTS^a

Nominal Dia of Product and Threads per in	Stress Area, sq in	Grade 1		Grade 2		Grades 5 and 5.2 ^b		Grade 5.1		Grade 7		Grades 8 and 8.1	
		Proof Load, lb	Tensile Strength Min, lb	Proof Load, lb	Tensile Strength Min, lb	Proof Load, lb	Tensile Strength Min, lb	Proof Load, lb	Tensile Strength Min, lb	Proof Load, lb	Tensile Strength Min, lb	Proof Load, lb	Tensile Strength Min, lb
Coarse Thread Series—UNC													
No. 6—32	0.00909	—	—	—	—	—	—	750	1,100	—	—	—	—
8—32	0.0140	—	—	—	—	—	—	1,200	1,700	—	—	—	—
10—24	0.0175	—	—	—	—	—	—	1,500	2,100	—	—	—	—
12—24	0.0242	—	—	—	—	—	—	2,050	2,900	—	—	—	—
1/4—20	0.0318	1,050	1,900	1,750	2,350	2,700	3,800	2,700	3,800	3,350	4,250	3,800	4,750
5/16—18	0.0524	1,750	3,150	2,900	3,900	4,450	6,300	4,450	6,300	5,500	6,950	6,300	7,850
3/8—16	0.0775	2,550	4,650	4,250	5,750	6,600	9,300	6,600	9,300	8,150	10,300	9,300	11,600
7/16—14	0.1063	3,500	6,400	5,850	7,850	9,050	12,800	—	—	11,200	14,100	12,800	15,900
1/2—13	0.1419	4,700	8,500	7,800	10,500	12,100	17,000	—	—	14,900	18,900	17,000	21,300
9/16—12	0.182	6,000	10,900	10,000	13,500	15,500	21,800	—	—	19,100	24,200	21,800	27,300
5/8—11	0.226	7,450	13,600	12,400	16,700	19,200	27,100	—	—	23,700	30,100	27,100	33,900
3/4—10	0.334	11,000	20,000	18,400	24,700	28,400	40,100	—	—	35,100	44,400	40,100	50,100
7/8—9	0.462	15,200	27,700	25,200	32,700	39,300	55,400	—	—	48,500	61,400	55,400	69,300
1—8	0.606	20,000	36,400	20,000	36,400	51,500	72,700	—	—	63,600	80,600	72,700	90,900
1-1/8—7	0.763	25,200	45,800	25,200	45,800	56,500	80,100	—	—	80,100	101,500	91,600	114,400
1-1/4—7	0.969	32,000	58,100	32,000	58,100	71,700	101,700	—	—	101,700	127,700	116,300	145,900
1-3/8—6	1.155	38,100	69,300	38,100	69,300	85,500	121,300	—	—	121,300	153,600	138,600	173,200
1-1/2—6	1.405	46,400	84,300	46,400	84,300	104,000	147,500	—	—	147,500	186,900	168,600	210,800
Fine Thread Series—UNF													
No. 6—40	0.01015	—	—	—	—	—	—	850	1,200	—	—	—	—
8—36	0.01474	—	—	—	—	—	—	1,250	1,750	—	—	—	—
10—32	0.0200	—	—	—	—	—	—	1,700	2,400	—	—	—	—
12—28	0.0258	—	—	—	—	—	—	2,200	3,100	—	—	—	—
1/4—28	0.0364	1,200	2,200	2,000	2,700	3,100	4,350	3,100	4,350	3,800	4,850	4,350	5,450
5/16—24	0.0580	1,900	3,500	3,200	4,300	4,900	6,950	4,900	6,950	6,100	7,700	6,950	8,700
3/8—24	0.0878	2,900	5,250	4,800	6,500	7,450	10,500	7,450	10,500	9,200	11,700	10,500	13,200
7/16—20	0.1187	3,900	7,100	6,550	8,800	10,100	14,200	—	—	12,500	15,800	14,200	17,800
1/2—20	0.1599	5,300	9,600	8,800	11,800	13,600	19,200	—	—	16,800	21,300	19,200	24,000
9/16—18	0.203	6,700	12,200	11,200	15,000	17,300	24,400	—	—	21,300	27,000	24,400	30,400
5/8—18	0.256	8,450	15,400	14,100	18,900	21,800	30,700	—	—	26,900	34,000	30,700	38,400
3/4—16	0.373	12,300	22,400	20,500	27,600	31,700	44,800	—	—	39,200	49,600	44,800	56,000
7/8—14	0.509	16,800	30,500	16,800	30,500	43,300	61,100	—	—	53,400	67,700	61,100	76,400
1—12	0.663	21,900	39,800	21,900	39,800	56,400	79,600	—	—	69,600	88,200	79,600	99,400
1—14 uns	0.679	22,400	40,700	22,400	40,700	57,700	81,500	—	—	71,300	90,300	81,500	101,900
1-1/8—12	0.856	28,200	51,400	28,200	51,400	63,300	89,900	—	—	89,900	113,800	102,700	128,400
1-1/4—12	1.073	35,400	64,400	35,400	64,400	79,400	112,700	—	—	112,700	142,700	128,800	161,000
1-3/8—12	1.315	43,400	78,900	43,400	78,900	97,300	138,100	—	—	138,100	174,900	157,800	197,200
1-1/2—12	1.581	52,200	94,900	52,200	94,900	117,000	166,000	—	—	166,000	210,300	189,700	237,200

^a Proof loads and tensile strengths are computed by multiplying the proof load stresses and tensile strengths stresses given in Table 1 by the stress area of the thread. The stress area of sizes and thread series not included in Table 5 may be computed from the formula:

$$A_s = 0.7854 \left[D - \frac{0.9743}{n} \right]^2$$

where D equals nominal diameter in inch, and n equals threads per inch.

^b Grade 5.2 applicable to sizes 1/4 through 1 in.

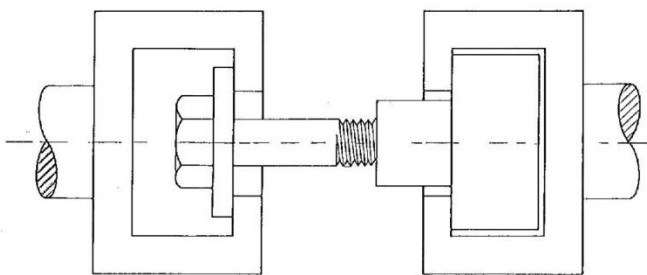
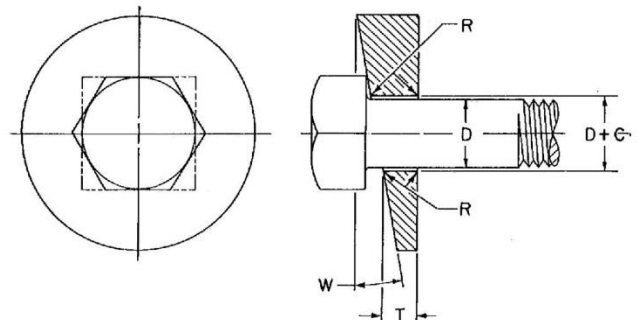


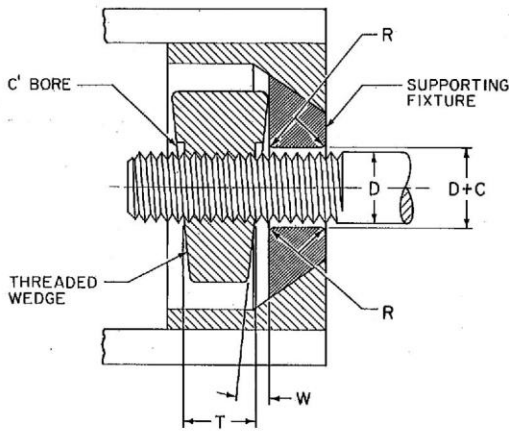
FIG. 1—TENSILE TESTING OF FULL SIZE BOLT OR SCREW

illustrated in Fig. 2, installed in the testing machine and tensile tested to failure, as described in paragraph 5.3. The angle of the wedge for the bolt or screw size and grade is specified in Table 4. The wedge shall be so placed that no corner of the square or hexagon bolt or screw head takes the bearing load; that is, a flat of the head shall be aligned with the direction of uniform thickness of the wedge. The wedge shall have a minimum hardness of Rockwell C45. The wedge shall have a thickness of one-half the bolt or screw diameter measured at the thin side of the hole. The hole in the wedge shall have the following clearance over the nominal size of the bolt or screw, and its top and bottom edges shall be rounded or chamfered 45 deg to the fol-



- C = CLEARANCE OF HOLE (SEE PARA. 5.4.1.)
- D = DIAMETER OF BOLT OR SCREW
- R = RADIUS OR CHAMFER (SEE PARA. 5.4.1.)
- T = THICKNESS OF WEDGE AT THIN SIDE OF HOLE EQUALS ONE HALF DIAMETER OF BOLT OR SCREW
- W = WEDGE ANGLE (SEE TABLE 4)

FIG. 2—WEDGE TEST DETAILS—BOLTS AND SCREWS



C = CLEARANCE OF HOLE (SEE PARA. 5.4.1.)
 D = DIAMETER OF STUD
 R = RADIUS OR CHAMFER (SEE PARA. 5.4.1.)
 T = D PLUS DEPTH OF COUNTERBORE
 W = WEDGE ANGLE (SEE TABLE 4)

FIG. 3—WEDGE TEST DETAILS—STUDS

TABLE 6—DIMENSIONS OF MACHINED TEST SPECIMENS (SEE FIG. 5 AND PARAGRAPH 5.5)

Nominal Dia of Product	Gage Length G	Dia Parallel Section, D	Length Parallel Section, Min, A	Fillet Radius, Min, R
3/4 thru 1-1/2	2,000 ± 0.005	0,500 ± 0.010	2.25	0.38 ^a
1/4 thru 5/8	1,400 ± 0.005	0,350 ± 0.007	1.75	0.25
	1,000 ± 0.005	0,250 ± 0.005	1.25	0.19

^aMinimum radius recommended 0.38 in; 0.12 minimum permitted.

Following dimensions:

Nominal Bolt or Screw Size, in	Clearance in Hole, in	Radius or Depth of Chamfer in
No. 6 thru 12	0.020	0.020
1/4 thru 1/2	0.030	0.030
5/16 thru 3/4	0.050	0.060
7/8 and 1	0.060	0.060
1-1/8 and 1-1/4	0.060	0.125
1-3/8 and 1-1/2	0.094	0.125

The wedge may be either circular or square. The recommended outside dimension of the wedge is 1 3/4 in for bolt and screw sizes 1/4 through 3/4 in, and 3 1/2 in for bolt and screw sizes 7/8 to 1 1/2 in.

To meet the requirements of paragraph 4, the bolt or screw shall fracture at a load not less than the minimum tensile strength specified for the applicable size, thread series, and grade in Table 5. In addition, the fracture shall occur in the body or threaded section with no failure at the junction of head and shank.

5.4.2 STUDS—Following proof load testing, one end of the same stud shall be assembled in a threaded fixture to the thread runout. For studs having unlike threads, this shall be the end with the finer pitch thread. The other end of the stud shall be assembled in a threaded wedge to the runout and then unscrewed six full turns, thus leaving six complete threads exposed between the grips, as illustrated in Fig. 3. The angle of the wedge for the stud size and grade shall be as specified in Table 4. The stud shall be assembled in the testing machine and tensile tested to failure, as described in paragraph 5.3.

The minimum hardness of the threaded wedge shall be Rockwell C45. The length of the threaded section of the wedge shall be equal to the diameter of the stud. To facilitate removal of the broken stud, the wedge shall be counterbored. The thickness of the wedge at the thin side of the hole shall equal the diameter of the stud plus the depth of counterbore. The thread in the wedge shall have Class 3B tolerances, except when testing studs having an interference fit thread, in which case the wedge shall be threaded to provide a finger free fit.

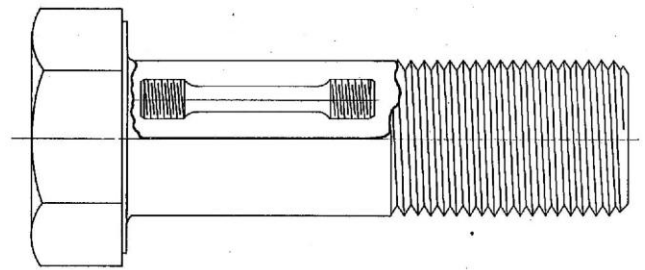


FIG. 4—LOCATION OF STANDARD ROUND 2 IN. GAGE LENGTH TENSILE TEST SPECIMEN WHEN TURNED FROM LARGE SIZE BOLTS OR SCREWS

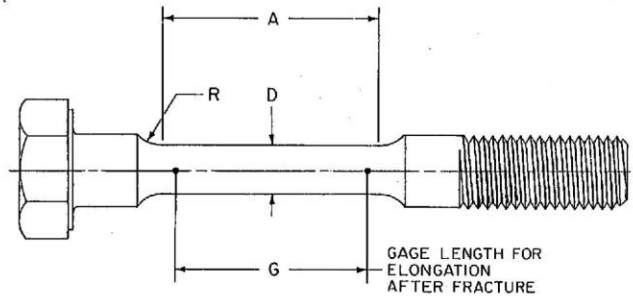


FIG. 5—TENSILE TEST SPECIMEN FOR BOLTS OR SCREWS WITH TURNED DOWN SHANK

The supporting fixture, as shown in Fig. 3, shall have a hole clearance over the nominal size of the stud, and shall have its top and bottom edges rounded or chamfered to the same limits specified for the hardened wedge in paragraph 5.4.1.

To meet the requirements of paragraph 4, the stud shall fracture at a load not less than the minimum tensile strength specified for the applicable size, thread series, and grade in Table 5.

5.6 Testing of Machined Test Specimens—Where bolts, screws, and studs cannot be tested in full size for proof load and tensile strength requirements, tests shall be conducted using test specimens machined from the bolt, screw, or stud.

For 1/2 in diameter bolts, screws, and studs, a standard 0.500 in round 2 in gage length test specimen shall be turned from the bolt, screw, or stud with the axis of the specimen located midway between the center and outside surface of the bolt, screw, or stud shank, as shown in Fig. 4. Bolts, screws, and studs 3/4 through 1 1/4 in diameter shall have their shanks machined to the dimensions of a standard 0.500 in round 2 in gage length test specimen concentric with the axis of the bolt, screw, or stud, leaving the bolt or screw head and threaded sections intact, as shown in Fig. 5. Bolts, screws, and studs 1/4 through 5/8 in diameter shall have their shanks machined to subsized specimens having dimensions shown in Fig. 5 and Table 6.

The test specimen shall be tensile tested as described in paragraph 5.3; and the yield strength, tensile strength, elongation, and reduction of area determined.

To meet the requirements of paragraph 4, the test specimen must have a yield strength, tensile strength, elongation, and reduction of area equal to or greater than the values for these properties specified for the applicable product size and grade in Table 1.

6. Marking—Bolts, screws, and hex head screws shall be marked with the grade identification symbol shown in Table 1. In addition, bolts and screws shall be marked with the manufacturer's identification symbol. Markings shall be located on the top of the head, and may be either raised or depressed, at option of the manufacturer. Studs need not be marked.

7. Testing Requirements

7.1 Manufacturer's Responsibility—During the manufacture of products to the requirements of this specification, the manufacturer shall make periodic tests to ensure that the properties of the product are being maintained within specified limits. Such tests shall be conducted in accordance with a sampling plan, preferably the sampling plan given in paragraph 7.3, and the test results shall be recorded in

a test report. When requested in writing by the purchaser, the manufacturer shall furnish a copy of the test report certified to be a report of the results of the last completed set of tests for the specific type, size, length, and grade of product.

Additional tests of products in individual shipments are not normally contemplated. Unless otherwise agreed at time of original inquiry and purchase order, individual heats of steel need not be identified in the finished product.

7.2 Purchaser's Options—If the purchaser requires that additional tests be performed by the manufacturer to determine that the properties of products in an individual shipment are within specified limits, or if the purchaser requires that a sampling plan different from that given in paragraph 7.3 shall be used when determining the acceptability of a lot, or shipment, of products, the purchaser shall specify the complete testing requirements, including sampling plan and basis of acceptance, in the original inquiry and purchase order.

7.3 General—An acceptable sampling plan is outlined below:

Number of Pieces in Lot	Minimum Number of Specimens To Be Tested
50 and under	2
51 to 500	3
501 to 35,000	5
35,001 and over	8

A lot, for purposes of selecting test specimens, shall consist of all products offered for inspection and testing at one time that are of the same type, grade, size, length, and thread series and are manufactured essentially at one time and under the same process conditions.

The same test specimen may be used for different tests wherever practical.

When tested in accordance with this sampling plan, a lot shall be subject to rejection if any of the test specimens fail to meet the applicable test requirements. If the failure of a test specimen is due to improper preparation of the specimen or to incorrect testing technique, the specimen shall be discarded and another specimen substituted.

APPENDIX

(Relative to 150,000 psi tensile bolts and screws produced from low carbon martensite steels and designated as Grade 8.2)

A.1. Preface—Coverage for 150,000 psi tensile bolts and screws produced from low carbon martensite steels is included in SAE J429 because several large steel and bolt producers and users have reported highly favorable results with such products over a period of more than three years. This coverage is designated by a separate grade number (Grade 8.2) to distinguish such fasteners from Grade 8 made of medium carbon and medium carbon alloy steels. It has been placed in an appendix until additional experience has been obtained by both users and producers.

Limited data available concerning room temperature ductility and low temperature impact characteristics indicate that fasteners made to Grade 8.2 requirements may have advantages compared to alloy steels historically used for Grade 8 fasteners.

Heat treatment control for elements such as decarburization or carburization and quench medium heat transfer are more critical for Grade 8.2 than for Grade 8 steels. Thus, more attention should be given to verification of the use of proved practices. (It is suggested that users initially require details of heat treatment practices from the fastener producer until a broad spectrum of suppliers are familiar with the closer controls necessary.)

Users should recognize the difference in stress relaxation characteristics of various steels between the temperature range of 650 F, minimum, specified for Grade 8.2 and 800 F, minimum, specified for Grade 8, when considering bolts and screws that may be exposed to such temperature range. The data available on elevated temperature properties of Grade 8.2 indicates that performance testing is desirable in applications where the operating temperature exceeds 500 F (as may also be the case with Grade 8 fasteners).

The requirements stated, herein, limit the use of steels to those which have been used on a production basis with highly favorable results. There is much evidence that other steels are satisfactory also, but these are excluded from the standard until more widespread experience is had with them.

A.2 Requirements

Grade Designation Applicable to	8.2 Bolts and screws 1/4 thru 1 in nominal size
Mechanical Requirements Full size bolts and screws Machined test specimens Core hardness, Rockwell Surface hardness, Rockwell 30N	Same as Grade 8 (Table 1) Same as Grade 8 (Table 1) C35-42 61 max Same as Grade 8 (bolts and screws)
Mechanical Testing Requirements Grade Identification Marking Steel Chemical Composition	Six radial lines, 30 deg apart Carbon, 0.15-0.25 Manganese, 0.74 min Phosphorous, 0.048 max Sulfur, 0.058 max Boron, 0.0005 min
Steel Characteristics	Low carbon martensite, fine grain, fully killed, and hardenability that will produce a minimum hardness of Rockwell C38 at the center of the threaded section one nominal diameter from end of bolt or screw after quenching
Heading Practice Threading Practice Heat Treatment Practice	Same as Grade 8 (paragraph 3.2) Same as Grade 8 (paragraph 3.2) Grade 8.2 bolts shall be fully austenitized, quenched in oil or water, and tempered at a minimum temperature of 650 F (340 C)
Decarburization Limits	Same as Grade 8 (paragraph 3.5)

Anexo D. Norma ASTM A153/153M-05



Designation: A 153/A 153M – 05

American Association State Highway
and Transportation Officials Standard
AASHTO No. M232

Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware¹

This standard is issued under the fixed designation A 153/A 153M; 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 reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope*

1.1 This specification covers zinc coatings applied by the hot-dip process on iron and steel hardware. The hot-dip galvanizing process consists of parts being immersed in molten zinc for a sufficient time to allow a metallurgical reaction between iron from the steel surface and the molten zinc, resulting in the formation of Zn/Fe alloy layers bonding the coating to the steel surface.

1.2 This specification is intended to be applicable to hardware items that are centrifuged or otherwise handled to remove excess galvanizing bath metal (free zinc). Coating thickness grade requirements reflect this.

1.3 This specification is applicable to orders in either inch-pound units (as A 153) or in SI units (as A 153M). Inch-pound units and SI units are not necessarily exact equivalents. Within the text of this specification and where appropriate, SI units are shown in brackets. Each system shall be used independently of the other without combining values in any way. In the case of orders in SI units, all testing and inspection shall be done using the metric equivalent of the test or inspection method as appropriate. In the case of orders in SI units, such shall be stated to the galvanizer when the order is placed.

1.4 *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 A05 on Metallic-Coated Iron and Steel Products and is the direct responsibility of Subcommittee A05.13 on Structural Shapes and Hardware Specifications.

Current edition approved April 1, 2005. Published May 2005. Originally approved in 1933. Last previous edition approved in 2004 as A 153/A 153M - 04.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- A 90/A 90M Test Method for Weight of Coating on Zinc-Coated (Galvanized) Iron or Steel Articles
- A 143 Practice for Safeguarding Against Embrittlement of Hot-Dip Galvanized Structural Steel Products and Procedure for Detecting Embrittlement
- A 780 Practice for Repair of Damaged and Uncoated Areas of Hot-Dip Galvanized Coatings
- A 902 Terminology Relating to Metallic Coated Steel Products
- B 6 Specification for Zinc (Slab Zinc)
- B 487 Test Method for Measurement of Metal and Oxide Coating Thicknesses by Microscopical Examination of a Cross Section
- E 376 Practice for Measuring Coating Thickness by Magnetic-Field or Eddy-Current (Electromagnetic) Test Methods
- F 1470 Guide for Fastener Sampling for Specified Mechanical Properties and Performance Inspection
- F 1789 Terminology for F16 Mechanical Fasteners

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 The following terms and definitions are specific to this specification. Terminology A 902 contains other terms and definitions relating to metallic-coated steel products. Terminology F 1789 contains other terms and definitions relating to mechanical fasteners.

² 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.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *average coating thickness, n*—the average of the specimen coating thickness values for the samples in an inspection lot.

3.2.2 *bare spots, n*—uncoated areas on the surface of the steel part that contain no measurable zinc coating.

3.2.3 *dross inclusions, n*—the iron/zinc intermetallics present in a galvanized coating in a form other than the layer growth of the coating.

3.2.4 *individual measurement, n*—the reading from a magnetic thickness gauge of a single coating spot thickness, or the microscopic reading of a coating thickness as seen in an optical microscope at one spot.

3.2.5 *inspection lot, n*—the quantity of identical parts cleaned, fluxed and galvanized together at one time in an appropriate container that is being submitted for acceptance as a group.

3.2.6 *malleable casting, n*—a steel article that has been subjected to a prolonged anneal to decarburize or graphitize the part to remove as much of the carbon as possible or to convert the carbon to graphite, which permits plastic deformation in compression without rupture.

3.2.7 *sample, n*—a collection of individual units of product from a single inspection lot selected in accordance with Section 5 and intended to represent that inspection lot for acceptance.

3.2.8 *specimen, n*—an individual test article upon which thickness measurements or weight determinations are performed.

3.2.9 *specimen coating thickness, n*—the average thickness from no less than five test measurements on a specimen, when each measurement location is selected to provide the widest dispersion (in all applicable directions) of locations within the specimen volume.

3.2.10 *threaded areas, n*—the sections of a steel part that have threads formed before hot-dip galvanizing.

4. Materials and Manufacture

4.1 *Steel or Iron*—Ferrous articles to be hot-dip zinc coated shall conform to specifications designated by the purchaser.

4.2 *Zinc*—The zinc used for the coating shall conform to Specification B 6 and shall be at least equal to the grade designated as “Prime Western.”

4.2.1 If a zinc alloy is used as the primary feed for the galvanizing bath, then the base material used to make that alloy shall conform to Specification B 6.

4.2.2 The molten metal in the working volume of the galvanizing bath shall contain not less than an average value of 98.0 % zinc by weight [mass].

NOTE 1—The galvanizer may choose to add trace amounts of certain elements (for example, aluminum, nickel, bismuth, or tin) to the zinc bath to help in the processing of certain reactive steels or to enhance the cosmetic appearance of the finished product. The elements can be added to the galvanizing bath as a master feed alloy, or they can be added to the bath by the galvanizer as individual feeds.

4.3 *Minimum Coating Weight [Mass] or Minimum Coating Thickness*—The minimum coating weight [mass] or the minimum coating thickness shall conform to the requirements prescribed in Table 1 for the material category and thickness of material in which the article belongs.

4.4 *Threaded Articles*—The zinc coating on threads shall not be subjected to a cutting, rolling, or finishing-tool operation, unless specifically authorized by the purchaser. In order to meet overlapping allowances, tapping the threads of nuts or tapped holes after galvanizing is not prohibited.

4.5 *Touch-up and Repair*—Bare spots that are found on parts after galvanizing shall be renovated by use of the methods found in Practice A 780 if the following criteria are met. The bare spots shall have an area totalling not more than 1 % of the surface area to be coated excluding threaded areas of the piece and the bare spots shall not include any threaded areas of the piece. The thickness of the repair shall be equal to the surrounding galvanized coating except for repairs made by paints containing zinc dust in which case the thickness of the repair shall be 50 % greater than the thickness of the galvanized coating required for the class of material, but shall not be greater than 4.0 mils [100 μm]. Repair thickness measurements

TABLE 1 Thickness or Weight [Mass] of Zinc Coating for Various Classes of Material

NOTE 1—Length of the piece, stated in Classes B-1, B-2, and B-3, refers to the finished dimension of the piece after fabrication.

Class of Material	Weight [Mass] of Zinc Coating, oz/ft ² [g/m ²] of Surface, Minimum		Coating Thickness, mils [microns], Minimum	
	Average of Specimens Tested	Any Individual Specimen	Average of Specimens Tested	Any Individual Specimen
Class A—Castings—Malleable Iron, Steel	2.00 [610]	1.80 [550]	3.4 [86]	3.1 [79]
Class B—Rolled, pressed, and forged articles (except those which would be included under Classes C and D):				
B-1— $\frac{3}{16}$ in. [4.76 mm] and over in thickness and over 15 in. [381 mm] in length	2.00 [610]	1.80 [550]	3.4 [86]	3.1 [79]
B-2—under $\frac{3}{16}$ in. [4.76 mm] in thickness and over 15 in. [381 mm] in length	1.50 [458]	1.25 [381]	2.6 [66]	2.1 [53]
B-3—any thickness and 15 in. [381 mm] and under in length	1.30 [397]	1.10 [336]	2.2 [56]	1.9 [48]
Class C—Fasteners over $\frac{3}{16}$ in. [9.52 mm] in diameter and similar articles. Washers $\frac{3}{16}$ in. and $\frac{1}{4}$ in. [4.76 and 6.35 mm] in thickness	1.25 [381]	1.00 [305]	2.1 [53]	1.7 [43]
Class D—Fasteners $\frac{3}{16}$ in. [9.52 mm] and under in diameter, rivets, nails and similar articles. Washers under $\frac{3}{16}$ in. [4.76 mm] in thickness	1.00 [305]	0.85 [259]	1.7 [43]	1.4 [36]

shall be made in accordance with Practice A 780. The galvanizer shall make repairs unless directed by the purchaser to deliver items unrepaired for subsequent renovation by the purchaser.

501 to 1200	5
1201 to 3200	8
3201 to 10 000	13
10 001 and over	20

5. Workmanship, Finish, and Appearance

5.1 The zinc-coated articles shall be free from uncoated areas, blisters, flux deposits, dross inclusions, and other types of projections that would interfere with the intended use of the articles, or other defects not consistent with good galvanizing practice.

5.2 The zinc coating shall be smooth and reasonably uniform in thickness.

NOTE 2—Smoothness of surface is a relative term. Minor roughness that does not interfere with the intended use of the part, or roughness that is related to the as-received (ungalvanized) surface condition of the part, shall not be grounds for rejection.

NOTE 3—Since this specification is applicable to items that are centrifuged or otherwise handled to remove excess bath metal (see 1.2), irregular coating distribution is not normally encountered. Drainage problems, which manifest themselves as local excess coating thickness that would interfere with function or as edge tears or spikes that present a safety hazard because of their sharpness, are grounds for rejection under the terms of 5.1.

5.3 Embrittlement is a potential condition of steel that is cold-worked, depending on such factors as the steel type (strength level, aging characteristics), thickness, degree of cold work, and galvanizing process. The galvanizer, the designer and the fabricator shall take precautions against embrittlement. The precautions to fabricate properly and prepare the material for galvanizing to prevent embrittlement are described in Practice A 143.

NOTE 4—Low service temperatures increase the risk of brittle failure of all plain carbon steels including those which have been galvanized. This temperature embrittling effect varies with type of steel. The expected service temperature should thus be taken into account when selecting steels for galvanizing.

5.4 Malleable castings shall be of such composition as will preclude the possibility that they become embrittled by the galvanizing process, or they shall be either cooled from the anneal, or subsequently heat-treated so as to immunize them against embrittlement.

5.5 The zinc coating shall adhere tenaciously to the surface of the base metal.

5.6 If the galvanized material covered by this specification is bent or otherwise fabricated to the degree that causes the zinc coatings to stretch or compress beyond the limit of elasticity, any cracking or flaking of the coating resulting from the bending or fabricating shall not be cause for rejection.

6. Sampling

6.1 Test specimens shall be selected at random from each inspection lot.

6.2 The method of selection and sample size shall be agreed upon between the galvanizer and the purchaser. Otherwise, the sample size selected from each lot shall be as follows:

Number of Pieces in Lot	Sample Size
3 or less	all
4 to 500	3

6.3 A specimen that fails to conform to a requirement of this specification shall not be used to determine the conformance to other requirements.

6.4 The method of sampling for fasteners that are required to meet the standards of the Fastener Quality Act is described in Guide F 1470. Sample quantities and definitions of terminology are included in the referenced specification.

7. Test Methods

7.1 Tests shall be made to ensure that the zinc coating is being furnished in accordance with this specification and as specified for the following:

7.1.1 Minimum coating weight [mass] or minimum coating thickness in 4.3.

7.1.2 Finish and appearance in 5.1 and 5.2.

7.1.3 Embrittlement in 5.3 and 5.4.

7.1.4 Adherence in 5.5.

7.2 Average Weight [Mass] of Coating:

7.2.1 The average weight [mass] of the zinc coating shall be determined by weighing specimens after pickling and drying and again after galvanizing unless the method described in 7.2.2 is used. The number of specimens that are used to determine the average of an inspection lot shall be derived from Section 6.

NOTE 5—This method does not take into account the weight [mass] of iron reacted from the article that is incorporated into the coating. It will thus underestimate coating weight [mass] by up to approximately 10 %. Base metal reactivity will affect the extent of underestimation.

7.2.2 In the case of materials inspected after galvanizing, the average weight [mass] of coating shall be determined by stripping the number of specimens derived in Section 6 in accordance with Test Method A 90/A 90M, and averaging the results of the individual specimens, unless the method described in 7.2.1 is used.

7.3 Average Thickness of Coating:

7.3.1 In the case of fasteners such as bolts, nuts, and screws, the determination of the thickness of coating shall be made on a portion of the article that does not include any threads.

7.3.2 The average thickness of coating shall be determined by magnetic thickness gage in accordance with Practice E 376 unless the method described in 7.3.3 is used. The thickness shall be measured on at least five widely separated spots on a specimen. No individual spot measurement shall be cause for rejection. If an individual spot does not provide a coating thickness reading, this spot must be repaired in accordance with 4.5. The five or more individual coating thickness measurements on a specimen must be averaged to determine the specimen average coating thickness. The average coating thickness for the inspection lot is determined by averaging the specimen average coating thickness values for the number of specimens derived from Section 6.

7.3.3 The thickness of coating shall be determined by cross section and optical measurement in accordance with Test Method B 487, unless the method described in 7.3.2 is used.

The thickness thus determined is a point value. No less than five such measurements shall be made at locations on the specimen, which are as widely dispersed as practical, so as to be representative of the whole surface of the specimen. The average of no less than five such measurements is the specimen average coating thickness. The average coating thickness for the inspection lot is determined by averaging the specimen average coating thickness values for the number of specimens derived from Section 6.

7.4 *Finish and Appearance*—The test for finish and appearance shall be conducted through visual inspection without additional magnification.

7.5 *Embrittlement*—Hardware that is susceptible to embrittlement shall be tested in accordance with Practice A 143. The tests shall be performed through agreement between the galvanizer and the purchaser.

7.6 *Adherence*—Determine adherence of the zinc coating to the surface of the base metal by cutting or prying with the point of a stout knife, applied with considerable pressure in a manner tending to remove a portion of the coating. The adherence shall be considered inadequate if the coating delaminates in the form of a layer of skin so as to expose the base metal in advance of the knife point. Do not use testing carried out at edges or corners (points of lowest coating adherence) to determine adherence of coating. Likewise, do not use removal of small particles of the coating by paring or whittling to determine failure.

8. Inspection

8.1 The inspector representing the purchaser shall have access at all times while work on the contract of the purchaser is being performed, to those areas of the manufacturer's work which concern the application of the zinc coating to the material ordered. The manufacturer shall afford the inspector all reasonable facilities to satisfy him that the zinc coating is being furnished in accordance with this specification. All inspection and tests shall be made at the place of manufacture prior to shipments, unless otherwise specified, and shall be so conducted as not to interfere unnecessarily with the operation of the works.

9. Rejection and Retest

9.1 For all galvanized articles except those fasteners that must meet the requirements of the Fastener Quality Act, the following sections are used to determine rejection and retesting.

9.2 When partial inspection of materials to determine conformity with visual requirements of Section 5 warrants rejection of a lot, the galvanizer is not prohibited from sorting the lot and submitting it once again for inspection.

9.3 The number of specimens in a sample of a lot permitted to fail to conformance tests shall be agreed upon between the galvanizer and the purchaser.

9.4 If a set of test specimens fails to conform to the requirements of this specification, two additional sets shall be tested, both of which shall conform to the requirements in every respect, or the lot of material represented by the specimens shall be rejected.

9.5 Materials that have been rejected for reasons other than embrittlement are not prohibited from being stripped, regalvanized, and resubmitted for test and inspection. They shall then conform to the requirements of this specification.

10. Packaging

10.1 The supplier shall employ such methods of packaging zinc-coated articles as shall be required to ensure their receipt by the purchaser in satisfactory condition, with the use to be made of the article being taken into consideration.

11. Certification

11.1 When specified in the purchase order or contract, the purchaser shall be furnished certification that samples representing each inspection lot have been either tested or inspected as directed by this specification and the requirements have been met. When specified in the purchase order or contract, a report of the test results shall be furnished.

12. Keywords

12.1 coatings, zinc; galvanized coatings; steel hardware, zinc coated; steel products, metallic coated; zinc coatings, steel products

SUMMARY OF CHANGES

Committee A05 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue, A 153/A 153M - 04, that may impact the use of this standard. (April 1, 2005)

1) Revised 1.1.

Committee A05 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (A 153/A 153 - 03) that may impact the use of this standard.

A 153/A 153M - 04:

1) Revised Section 7 to separate weight and thickness measurements; and to clarify terms for measurements.



ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).