



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO, PREVIO A LA OBTENCIÓN DE
INGENIERO MECÁNICO

Tema:

“REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA A FATIGA EN CICLOS ALTOS EN EL ACERO AISI 1045 CON LA FINALIDAD DE ADQUIRIR DATOS EN LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA”

Autor: Cristian David Ramírez Rodas

Tutor: Ing. Mg. Mauricio Carillo

AMBATO – ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del proyecto técnico, con el tema “REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA A FATIGA EN CICLOS ALTOS EN EL ACERO AISI 1045 CON LA FINALIDAD DE ADQUIRIR DATOS EN LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA” desarrollado por el estudiante Cristian David Ramirez Rodas, una vez culminada la malla de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que la presente Tesis es original de su autor.
- Ha sido revisada en cada uno de sus capítulos.
- Esta concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, enero 2019

.....

DOCENTE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Mg. Mauricio Carrillo

AUTORÍA DEL TRABAJO

El contenido del presente proyecto técnico bajo el tema “REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA A FATIGA EN CICLOS ALTOS EN EL ACERO AISI 1045 CON LA FINALIDAD DE ADQUIRIR DATOS EN LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA” sus ideas, así como los cálculos, resultados y análisis, son autoría y responsabilidad exclusiva de su autor.

Ambato, enero 2019

.....

Cristian David Ramirez Rodas

C.I 0503731101

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la universidad técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o de parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública apruebo la reproducción de este Proyecto Técnico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, enero 2019

AUTOR

.....

Cristian David Ramirez Rodas

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores Calificadores, ya revisado en su totalidad el proyecto técnico realizado por señor Cristian David Ramirez Rodas de la carrera de Ingeniería Mecánica, aprueban el tema: “REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA A FATIGA EN CICLOS ALTOS EN EL ACERO AISI 1045 CON LA FINALIDAD DE ADQUIRIR DATOS EN LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA”

Ambato marzo 2019

.....

Ing. Mg. Jorge Guamanquispe.

.....

Ing. Mg. Gonzalo López.

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación quiero dedicar a mi familia en especial a mi madre María Jaqueline Rodas Granda que día a día supo darme los ánimos necesarios para poder culminar con mi meta. A mis hermanos que con sus palabras de aliento supieron levantarme los ánimos para no decaer, de manera especial a mi padre Mario Narciso Ramirez Acurio y finalmente a mis sobrinos Katherine, Britani, Sebastián y Martin que tomen como ejemplo que con esfuerzo y dedicación las metas si se cumple.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por darme la confianza de realizar un proyecto que beneficie a los estudiantes y docentes de la Universidad.

Agradezco a todo el personal docente de la facultad en especial a mi tutor Ing. Mauricio Carrillo, quien a lo largo del desarrollo de mi proyecto impartió sus conocimientos y ayuda para poder terminarlo de una forma satisfactoria.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA DEL TRABAJO	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
CONTENIDO DE FIGURAS	X
CONTENIDO DE TABLAS	XII
RESUMEN EJECUTIVO	XIV
CAPÍTULO I	
1. ANTECEDENTES	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo General:	3
1.4.2 Objetivos Específicos:	3
CAPÍTULO II	
2 FUNDAMENTACIÓN.....	4
2.1 Investigaciones previas	4
2.2 Fundamentación teórica	5
2.2.1 Resistencia a la fatiga en altos ciclos	5
2.2.2 Límite de resistencia a la fatiga en aceros	6
2.2.3 Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.....	7
2.2.4 Máquina de viga rotativa	10
2.2.5 Norma ASTM E-606	12
2.2.6 Acero AISI 1045	14
2.2.7 Sistema de adquisición de datos	14
2.2.8 Sensores o transductores	15
2.2.9 Acondicionamiento de señales analógicas	16
2.2.10 Tratamiento de la señal.....	17
2.2.11 Visualización	17
2.2.12 Sistema HMI.....	17

2.2.13	Microcontrolador	18
2.2.14	Comunicación serial	19

CAPÍTULO III

3	DISEÑO DEL PROYECTO	20
3.1	Selección de alternativas	20
3.1.1.	Situación actual de la máquina	20
3.1.2.	Diagnóstico de los elementos	20
3.1.3.	Selección de la instrumentación	24
3.1.4.	Selección del sistema de control.....	32
3.2	Cálculos o modelo operativo.....	33
3.2.1.	Acondicionamiento de los elementos.....	33
3.2.1.1	Acondicionamiento para el sensor de carga	33
1)	Acondicionamiento de señal para la celda de carga	33
3.2.1.1	Acoplamiento mecánico encoder motor	37
3.2.2	Sistema de generación y adquisición de datos	37
3.2.2.1	Programación del microcontrolador	37
3.2.2.2	Representación del circuito de control.....	38
3.2.2.3	Estructuración del programa para realizar los ensayos.....	40
3.2.3.	Pruebas y Resultados	51
3.3.	Presupuesto	71
3.3.1.	Costos directos	72
3.3.2.	Costos indirectos	73
3.3.3.	Costo total.....	75
3.4.	Especificaciones técnicas de la máquina.....	75

CAPÍTULO IV

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
4.1.	Conclusiones	78
4.2.	Recomendaciones.....	78

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS A (ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES)

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 2. 1. Diagrama S-N	5
Figura 2. 2. Gráfica de límites de resistencia a la fatiga vs resistencia a la tensión	6
Figura 2. 3. Factores de superficie para varios acabados en aceros.	7
Figura 2. 4. Máquina de ensayos a fatiga R.R Moore.....	11
Figura 2. 5. Diagrama de cuerpo libre de la máquina de R.R Moore.	12
Figura 2. 6. Geometría de la proeta según la norma ASTM E-606	13
Figura 2. 7. Sistema de adquisición de datos (AD).....	15
Figura 2. 8. Sensor inductivo de proximidad	15
Figura 2. 9. Encoder rotacional.....	16
Figura 2. 10. Sistema HMI.....	17
Figura 2. 11. Estructura interna de un microcontrolador.	18
Figura 3. 1. Situación actual de la máquina	20
Figura 3. 2. Estado final de la máquina.....	21
Figura 3. 3. Motor eléctrico.....	22
Figura 3. 4. Acople semiflexible	23
Figura 3. 5. Mandril	23
Figura 3. 6. Chumacera autolineantes	24
Figura 3. 7 . Encoder modelo E6B2-CWZ3E	24
Figura 3. 8. Variador de frecuencia modelo 3G3EV	25
Figura 3. 9. Final de carrera Push-button.....	26
Figura 3. 10 Circuito puente Wheatstone.....	27
Figura 3. 11. Celda de carga tipo S marca Sensortronics modelo 60001.....	27
Figura 3. 12. Celda de carga tipo unipunto marca Tedeo modelo 1022.....	28
Figura 3. 13. Conexión del amplificador de señal	34
Figura 3. 14. Engranajes cónicos helicoidales	35
Figura 3. 15. Sistema de transmisión	35
Figura 3. 16. Acondicionamiento mecánico para la celda de carga.....	36
Figura 3. 17. Acoples para la celda de carga.....	36
Figura 3. 18. Acondicionamiento mecánico para encoder	37
Figura 3. 19. Circuito de control	38
Figura 3. 20. Circuito de potencia	39

Figura 3. 21. Diagrama de flujo	40
Figura 3. 22. Presentación del SharpDevelop	41
Figura 3. 23. Windows Forms de SharpDevelop	41
Figura 3. 24. Botones SharpDevelop	42
Figura 3. 25. Herramientas SharpDevelop	42
Figura 3. 26. Pantalla principal	43
Figura 3. 27. Pantalla de datos del ensayo	44
Figura 3. 28. Pantalla de ensayo 1	45
Figura 3. 29. Pantalla de cálculos ensayo 1	47
Figura 3. 30. Pantalla de ensayo por fatiga rotativa	49
Figura 3. 31. Pantalla de resumen de resultados	50
Figura 3. 32. Pantalla de resultados	51
Figura 3. 33. Dimensiones finales de la probeta	52
Figura 3. 34. Resultados obtenidos con la máquina repotenciada.	64
Figura 3. 35. Gráfico estadístico de una cola	68
Figura 3. 36. Resultados obtenidos de una máquina calibrada	69
Figura 3. 37. Comparación de resultados	70

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2. 1. Coeficientes del factor superficial, para distintos aceros	8
Tabla 2. 2. Factores de confiabilidad	9
Tabla 3. 1.Designación de los criterios	29
Tabla 3. 2. Evaluación de criterios para la selección de la celda de carga.....	30
Tabla 3. 3. Evaluación del criterio de capacidad de la celda de carga.....	30
Tabla 3. 4. Evaluación del criterio de adquisición de la celda de carga	30
Tabla 3. 5. Evaluación del criterio de costo de la celda de carga	31
Tabla 3. 6. Evaluación del criterio de instalación de la celda de carga.....	31
Tabla 3. 7. Selección de la alternativa para la celda de carga.....	31
Tabla 3. 8. Entradas y salidas necesarias para el sistema de control	32
Tabla 3. 9 Configuración placa de Arduino	37
Tabla 3. 10. Herramientas utilizadas para el diseño de la pantalla principal	43
Tabla 3. 11. Herramientas utilizadas para el diseño de la pantalla de datos del ensayo.....	43
Tabla 3. 12. Herramientas utilizadas para el diseño de la pantalla de ensayo 1 ...	44
Tabla 3. 13. Herramientas utilizadas para el diseño pantalla de cálculos ensayo 1	45
Tabla 3. 14 Herramientas utilizadas para el diseño del formulario de ensayo por fatiga rotativa.	47
Tabla 3. 15 Herramientas utilizadas para el diseño de formulario de resumen de resultados	49
Tabla 3. 16 Herramientas utilizadas para el diseño de formulario de la gráfica ...	50
Tabla 3. 17. Especificaciones técnicas del acero	53
Tabla 3. 18. Ensayo a fatiga rotativa #1	54
Tabla 3. 19. Ensayo a fatiga rotativa #2.....	56
Tabla 3. 20. Ensayo a fatiga rotativa #3.....	58
Tabla 3. 21. Ensayo a fatiga rotativa # 4.....	60
Tabla 3. 22. Ensayo a fatiga rotativa # 5.....	62
Tabla 3. 23. Resultados obtenidos con la máquina repotenciada.....	64
Tabla 3. 24 Regresión lineal N vs S.....	66
Tabla 3. 25 Valores estadísticos.....	67

Tabla 3. 26. Resultados obtenidos de una máquina calibrada.....	68
Tabla 3. 27. Comparación de resultados	70
Tabla 3. 28. Costos de materiales mecánicos.....	72
Tabla 3. 29. Costos materiales eléctricos y de control.....	73
Tabla 3. 30. Costos misceláneos	74
Tabla 3. 31. Costos de uso de máquinas y equipos.....	74
Tabla 3. 32. Costo total del proyecto	75
Tabla 3. 33. Especificaciones técnicas de la máquina	76

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA:

“REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA A FATIGA EN CICLOS ALTOS EN EL ACERO AISI 1045 CON LA FINALIDAD DE ADQUIRIR DATOS EN LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA”

AUTOR: Cristian David Ramirez Rodas

TUTOR: Ing. Mg. Mauricio Carrillo

RESUMEN EJECUTIVO

La fatiga de los materiales es sin duda alguna uno de los temas de mayor estudio por los ingenieros ya que es la causa de alrededor del 90% de las fallas de los elementos mecánicos, por este motivo el objetivo principal de este trabajo de tesis fue repotenciar la máquina para ensayos a fatiga rotativa con la finalidad de adquirir datos en los laboratorios de Ingeniería Mecánica. Para la repotenciación de la máquina se recolecto información de máquinas similares ya estandarizadas. También, se analizó cada uno de los elementos que componen la máquina con la finalidad de conocer su funcionabilidad, así mismo se incorporó otros elementos como; mecánicos, eléctricos y de control para poder obtener datos.

Se cuenta, además, con un sistema de adquisición de datos, que está conformada por una tarjeta de control la misma que envía datos a una computadora mediante cable USB A-B. La tarjeta de control está programada para calcular el número de revoluciones mediante un encoger, medir la carga aplicada mediante sensor de carga, que se le apliquen a una probeta estandarizada utilizada en el ensayo de fatiga y el software diseñado realiza los respectivos cálculos para obtener el dato del límite estimado de la resistencia a la fatiga. Al finalizar los ensayos establecidos, se podrá visualizar la tabla de datos y la gráfica S-N.

Palabras claves: fatiga, adquisición de datos, ciclos, estandarización.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS
MECHANICAL ENGINEERING CAREERS

TITLE:

“REPOTENCIATION OF THE MACHINE TO FATIGUE IN HIGH CYCLES IN STEEL AISI 1045 WITH THE PURPOSE OF ACQUIRING DATA IN THE LABORATORIES OF THE MECHANICAL ENGINEERING CAREER”

AUTHOR: Cristian David Ramirez Rodas

TUTOR: Ing. Mg. Mauricio Carrillo

ABSTRACT (SUMMARY)

The fatigue of the materials is, undoubtedly, one of the subjects of major study on the part of the engineers, since it is the cause of around 90% of the faults of the mechanical elements, reason why the main objective of this work Thesis was to strengthen the rotary fatigue testing machine in order to acquire data in the Mechanical Engineering laboratories. For the repowering of the machine, information was collected from similar machines already standardized. Also, each of the elements that make up the machine was analyzed to know its functionality, also incorporating other elements such as: Mechanical, electrical and control to obtain data.

It also has a data acquisition system, which consists of a control card that sends data to a computer through an USB A-B cable. The control card is programmed to calculate the number of revolutions by means of an encoder, measure the load applied by the load sensor, which is applied to a standardized test piece used in the fatigue test and the designed software performs the respective calculations for get the data. of the estimated limit of fatigue resistance. At the end of the established tests, you can see the data table and the S-N chart.

Keywords: fatigue, data acquisition, cycles, standardization.

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES

1.1 Tema

REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA A FATIGA EN CICLOS ALTOS EN EL ACERO AISI 1045 CON LA FINALIDAD DE ADQUIRIR DATOS EN LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

1.2 Antecedentes

Según [1], Existen métodos que permiten cuantificar la mejora en la resistencia a la fatiga de alto ciclo del acero AISI 1045 normalizado, uno de ellos es mediante bolas bruñidas de baja plasticidad. Estas proporcionan datos de ingeniería y coeficientes útiles para el análisis y diseño de fatiga. Se realizaron ensayos en máquina de flexión rotativa en altos ciclos con probetas tanto no tratadas como bruñidas. Este resultado demuestra que la resistencia a la fatiga de las muestras bruñidas con bolas, en comparación con las muestras no tratadas mejora de $3 * 10^4$ a 10^6 ciclos, y que el límite de fatiga por flexión se incrementa en un 21.25%.

En el trabajo de investigación [2] determina las curvas S-N-P (esfuerzo, número de ciclos, probabilidad de fallas), a través del método Maennig, mediante ensayos de fatiga para el acero AISI 1045 normalizado, utilizando barras calibradas de $\frac{1}{2}$ '' de diámetro. Además, evaluaron las superficies de fractura de las probetas en fallo por fatiga a las probabilidades del 1%, 50% y 99% siendo estas de: 202 MPa, 261MPa y 324MPa. Mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido, obtienen ajustes potenciales para las curvas S-N del acero AISI 1045 para probabilidades de fractura de 1%, 50% y 99%, resultando: $N_1 = 1451S^{-0,143}$, $N_{50} = 1109,8S^{-0,105}$, y $N_{99} = 792,07S^{-0,068}$, donde N esta en ciclos y S en MPa.

Según [3] el software SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), constituye un avance de gran impacto en la automatización industrial, ya que permite ilustrar gráficamente los procesos productivos en pantalla y crear alarmas y advertencias en tiempo real. De esta forma el ser humano dedicara su tiempo a las tareas que demandan y no a trabajos repetitivos que fácilmente una máquina o un software pueden realizar. Además, la automatización mediante sistemas SCADA reducen los riesgos laborales existentes, garantizando una seguridad ocupacional en las diferentes tareas que se realizan en todo proceso productivo. La importancia de los sistemas de supervisión y adquisición de datos, conocidos como SCADA, resulta un aspecto fundamental de la automatización en los procesos de manufactura en la industria actual.

1.3 Justificación

Los aceros están sujetos a fenómenos de falla progresivas durante su vida útil que requieren ser evaluados de una forma empírica a nivel industrial e institucional. Una de estas fallas se denomina como; “falla por fatiga”. Tomando estas consideraciones resulta importante para el profesional conocer la información experimental del límite de resistencia a la fatiga presentes en las piezas de máquinas construidas con materiales férricos. por lo que, es necesario que el laboratorio de Ing. Mecánica cuente con una máquina que cumpla con tal propósito y presente un grado de automatización conforme con los avances tecnológicos actuales, siendo importante que la máquina disponga de un sistema de control y adquisición de datos en tiempo real (SCADA).

En los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica actualmente se cuenta con una máquina de ensayos a fatiga por flexión rotativa. Sin embargo, esta máquina no facilita las prácticas estudiantiles, ya que no está adherida a un sistema automatizado que permita dar las indicaciones de los datos a ingresar y de la misma forma visualizar las respuestas finales.

Con el presente proyecto técnico que se propone, se puede analizar alternativas que beneficien tanto a estudiantes como a docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para de esta manera poder gozar de un

ambiente práctico funcional y útil para el aprendizaje, permitiendo una mejor interpretación de los datos obtenidos mediante los ensayos, aplicando la normativa ASTM E-606 en las prácticas de flexión rotativa a realizarse.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

Repotenciar la máquina a fatiga en ciclos altos en el acero AISI 1045 con la finalidad de adquirir datos en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Analizar las condiciones actuales de la máquina a fatiga en ciclos altos en el acero AISI 1045.
- Realizar la automatización de la máquina de ensayos.
- Realizar ensayos experimentales bajo la norma ASTM E-606 para verificar su funcionamiento final.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTACIÓN

2.1 Investigaciones previas

Según [4], determina el estudio a fatiga en ciclos altos en el acero AISI 1045, con la finalidad de evaluar las ocurrencias de fallas cumpliendo la norma ASTM E-606, los estudios se realizaron en una máquina para ensayos de fatiga rotativa, la misma que facilitó la adquisición de datos, permitiendo la elaboración del diagrama esfuerzo-vida, llegando así a cumplir con uno de los propósitos del estudio. Sin embargo, en el capítulo 6, realiza la propuesta del diseño y construcción de una máquina para ensayos a fatiga rotativa, cuyo propósito es incrementar el aprendizaje práctico en este tipo de estudios, enfocados a los estudiantes de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Según [5], diseñan e implementan un sistema de control y adquisición de datos automático para la máquina axial-torsional de ensayos de materiales, permitiendo la facilidad de operación por personal calificado, teniendo como resultados un sistema encargado en monitorear el equipo desde una interfaz (humano-máquina) HMI, utilizando el software LabVIEW y una tarjeta de adquisición de datos DAC de National Instrument.

Por otro parte [6], realizan la automatización de la máquina de ensayos a fatiga de viga rotativa con la finalidad corregir sus falencias e incorporar mayores prestaciones como: la visualización de la curva del esfuerzo flector que se produce en la probeta a medida que varía el tiempo, velocidad del motor, frecuencia, esfuerzo flector y número de ciclos. Estos datos y resultados son visualizados en una pantalla HMI que se encuentra comunicada con un variador de frecuencia a través de RS-485 y con el PLC mediante Ethernet.

El proyecto de investigación de [7] realiza la implementación de un sistema de control y señales con hardware y software libre, determinando así su aplicabilidad

en la Industria. Para esto, analiza el comportamiento de una prensa hidráulica automatizada utilizando tecnología propietaria y libre. El sistema automatizado consiste de sensores y actuadores analógicos y digitales industriales. De la tecnología propia controlada por: Controlador Lógico Programables (PLC S7-1200) de Siemens y una interfaz de usuario basado en LabVIEW a través de un servidor OPC. Por otro lado, del sistema libre controlado por: Controlador Logico Programable (PLC M-DUINO) basado en Arduino, monitoreado a través de un sistema Web Service, alojado en un servidor LAMP, teniendo como resultados los siguiente: La utilización del sistema libre resulta más eficiente debido a que requiere de librerías especiales para la compatibilidad de sensores y actuadores de distintas marcas y es mucho más barato que el sistema del propietario.

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Resistencia a la fatiga en altos ciclos

“Se conoce como resistencia a la fatiga a la cantidad de ciclos de carga que puede resistir un material [8]”.

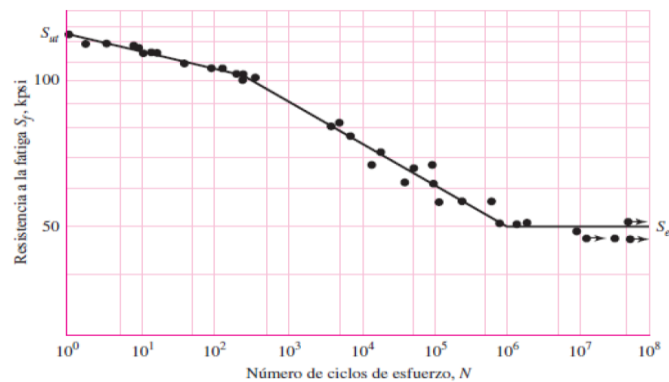


Figura 2. 1. Diagrama S-N

Fuente: [9]

En el caso de la fatiga de altos ciclos, se considera aquellos que producen la falla de esfuerzos a mayor de 10^3 ciclos, como se observa en la Figura 2.1. En el caso de los aceros, el dominio de fatiga empieza a crecer hasta 10^6 ciclo, llegando a un límite de resistencia a la fatiga S'_e , si sobrepasa el número de ciclos (10^6) la resistencia a la fatiga S_f serán constante. Este fenómeno se da en una gran cantidad

de elementos o piezas de máquinas como: pernos de llantas de camiones, tractores, excavadoras. [9]

2.2.2 Límite de resistencia a la fatiga en aceros

“El límite de fatiga representa el mayor valor de la tensión fluctuante que no producirá la rotura en un número infinito de ciclos. En muchos aceros los límites de fatiga están comprendidos entre el 35 y el 60% de la resistencia a la tracción.” [10]

Hoy en día para determinar los límites de resistencia a la fatiga se ha vuelto una rutina, pero esto resulta un procedimiento muy extenso. Se han realizados muchos ensayos con viga rotativa y de ensayos a la tensión simple, debido a esto existen grandes cantidades de datos tomados de un misma barra o lingote, si se grafican estos resultados tal como se muestra en la Figura 2.2. Se puede interpretar si existe una conexión entre estos dos grupos de resultados. Cabe mencionar que para diseños preliminares y de prototipo, así también para determinar análisis de falla, es necesario contar con un método rápido permitiendo estimar los límites de resistencia a la fatiga. [9]

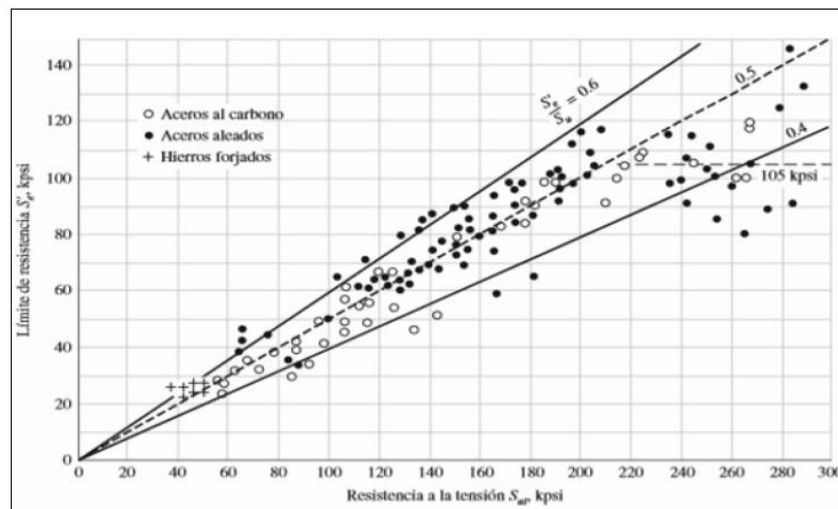


Figura 2. 2. Gráfica de límites de resistencia a la fatiga vs resistencia a la tensión

Fuente: [9]

En la gráfica, se observa que el límite de resistencia tiende a variar aproximadamente desde el 40 hasta un 60 % de resistencia a la tensión para los aceros, y un alrededor de 210 kpsi la dispersión parece incrementa, pero aparentemente la tendencia se nivela , como lo sugiera la línea horizontal discontinua en $S'_e = 105 \text{ kpsi}$. [9]

2.2.3 Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Cuando se realiza un ensayo a fatiga en máquinas rotativas en el laboratorio se puede obtener sus límites de resistencia a la fatiga. Este material debe ser preparado de una forma muy cuidadosa y ensayado bajo condiciones muy controladas [9]. Estos datos obtenidos deben modificarse para justiciar las diferencias físicas entre la muestra de prueba y la parte real que se diseña. [8]

Según [9], identifico un conjunto de factores de reducción de la resistencia, que se definen a continuación:

1) Factor de superficie (K_a)

La muestra de viga giratoria debe presentar un pulido tipo espejo, esto excluye las imperfecciones superficiales de la misma. Si la muestra presenta un acabado rugoso está limitada a sufrir concentraciones de esfuerzos [8].

En la Figura 2.3, se aprecia los factores de superficie para varios acabados en aceros.

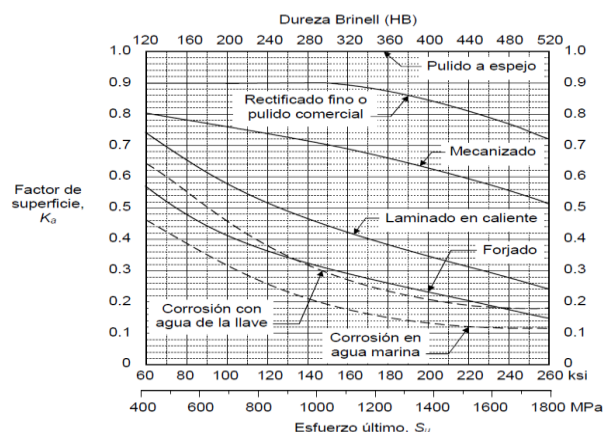


Figura 2. 3. Factores de superficie para varios acabados en aceros.

Fuente: [8]

El pulido final de la muestra se lo debe realizar en una dirección axial permitiendo eliminar cualquier ralladura circunferencial. Existen expresiones cuantitativas que permiten determinar los acabados comunes de parte de máquinas como: esmerilada, maquinada o estirada en frío, laminada en caliente y forjada.[9]

Una forma de aproximar los resultados del factor de superficie a S_{ut} , se lo realiza mediante la Tabla 2.1, aquí se encuentra los valores a y b, eliminando la necesidad de consultar gráficas como la de la Figura 2.3.

Tabla 2. 1. Coeficientes del factor superficial, para distintos aceros.

Acabado superficial	Para S_{ut} en MPa se usa		Para S_{ut} en kpsi (no psi) se usa	
	A	b	A	b
Esmerilado	1.58	-0.085	1.34	-0.085
Maquinado o rolado en frío	4.51	-0.265	2.7	-0.265
Rolado en caliente	57.7	-0.718	14.4	-0.718
Forjado	272	-0.995	39.9	-0.995

Fuente: [9]

2) Factor de tamaño (k_b)

Un ensayo a fatiga se lo realiza con probetas estandarizadas. Por lo general las muestras de prueba son pequeñas (cerca de 0.3 in de diámetro), resultando el factor de tamaño igual a 1. [8]

3) Factor de modificación de carga (k_c)

Este factor especifica valores medios de carga al que se somete el elemento mecánico. Cuando se realiza ensayos de fatiga con carga de flexión rotativa, los límites de resistencia a la fatiga difieren con el S_{ut} . Cabe destacar que, el ensayo de fatiga se considera a flexión donde su coeficiente de carga es igual a 1. [9]

4) Factor de modificación de temperatura (k_d)

Al momento de realizar el ensayo a fatiga se debe tener presente la temperatura de operación y la temperatura ambiente, esto datos indican lo siguiente: Si la temperatura de operación es menor que la temperatura ambiente es posible que

la fractura del material sea frágil. Por otra parte, si la temperatura de operación es mayor que la temperatura ambiente se debe conocer la fluencia debido a que la resistencia del elemento disminuye con rapidez a mayor temperatura. [9]

5) Factor de confiabilidad (k_e)

La resistencia a la fatiga resulta de un fenómeno estadístico, en donde los datos obtenidos mediante ensayos de laboratorio generan dispersión. Datos presentados por investigadores informan que las desviaciones estándar de resistencia físicas de los aceros rara vez exceden el 8% de sus valores promedio. [8] [9]

Si se presenta una desviación estándar superior al 8%, el porcentaje de confiabilidad se muestra en la Tabla 2.2, si se elige un porcentaje de 99,999% de confiabilidad para que las muestras cumplan la predicción esperada, se debe multiplicar su factor de confiabilidad 0.659, por el valor de la resistencia media.

Tabla 2. 2. Factores de confiabilidad

% de confiabilidad	C_{conf}
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

Fuente: [8]

6) Factor de efectos diversos (k_f)

El factor k_f toma en cuenta la reducción del límite de resistencia a la fatiga. Pero en verdad resulta un recordatorio para el diseñador ya que los valores de k_f no siempre están disponibles. Se dice que las fallas por fatiga son provocadas por esfuerzos de tensión por lo cual, cualquier cosa que reduzca el esfuerzo de tensión también reducirá las posibilidades de fallas por fatiga. Existen algunos factores que reducen el límite de resistencia a la fatiga. [9]

- ✓ **Corrosión.** - Los elementos que trabajen en una atmosfera corrosiva tienen una menor resistencia a la fatiga, debido a las picaduras que causa el material corrosivo. Tanto la corrosión y el esfuerzo en el material se producen al mismo tiempo, si el elemento es sometido a esfuerzos repetitivos en una atmosfera corrosiva la falla se producirá a media que pasa el tiempo. [9]
- ✓ **Recubrimiento electrolítico.** – Si un elemento mecánico es expuesto a recubrimientos metálicos su resistencia a la fatiga reduce hasta un 50%. Cabe mencionar, que el galvanizado no afecta la resistencia a la fatiga. [9]
- ✓ **Metalizado por aserción.** - Este proceso provoca defectos superficiales dentro de un elemento mecánico que da origen al inicio de grietas. Ensayos existentes demuestran una reducción del 14% en la resistencia a la fatiga. [9]
- ✓ **Frecuencia cíclica.** – En el caso que exista corrosión o temperaturas elevadas, la frecuencia cíclica resulta un parámetro importante. Si la frecuencia resulta mucho menor que la temperatura, la propagación de grietas se extenderán de una forma rápida, lo que significa que también será menor la vida a un nivel de esfuerzo dado. [9]
- ✓ **Corrosión por frotamiento.** – La causa principal de este fenómeno se da por el movimiento microscópico de elementos que están sujetas a presión. El valor del frotamiento (k_f) depende del material que se va unir variando este entre 0.24 a 0.90 [9].

2.2.4 Máquina de viga rotativa

Conocida como máquina R.R Moore, ver Figura 2.4, es una de las más sugeridas para realizar ensayos de viga rotativa, los ensayos realizados con esta máquina son expuestos a flexión pura (sin cortante transversal), mediante pesos [9].

La máquina somete a la probeta a ciclos de esfuerzos alternantes, permitiendo determinar su colapso de falla a un número determinado de ciclos [11].

Sus partes principales constan de:

- ✓ Motor
- ✓ Acople
- ✓ Chumaceras

- ✓ Probeta
- ✓ Placa fuerza
- ✓ Estructura
- ✓ Sensor contador de ciclo
- ✓ Carga

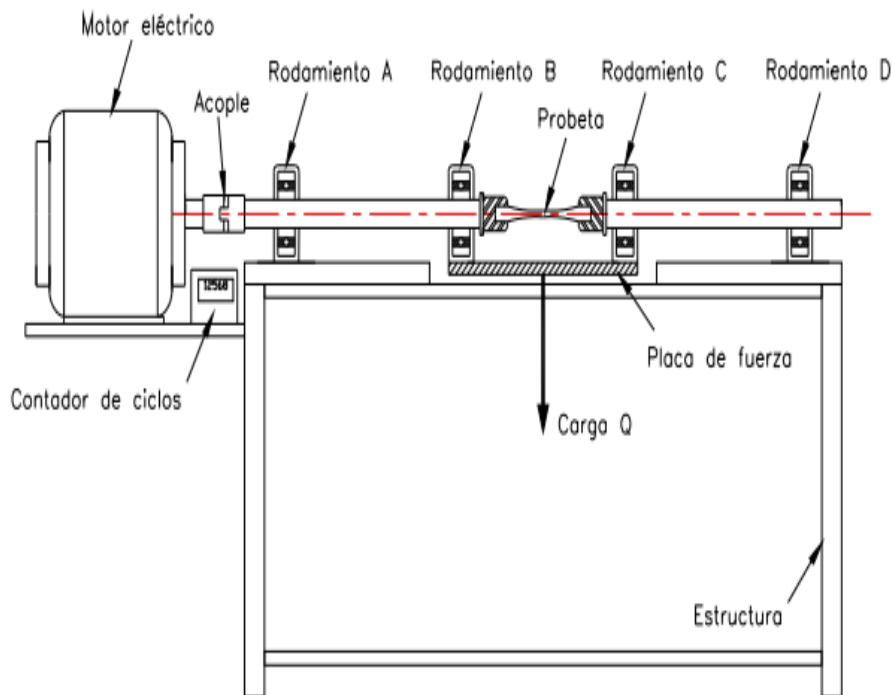


Figura 2. 4. Máquina de ensayos a fatiga R.R Moore

Fuente: [12]

✓ **Funcionamiento de la máquina a fatiga R.R Moore**

El funcionamiento de la máquina a fatiga R.R Moore no resulta complicado. En la Figura 2.4, se observar un motor eléctrico, este genera rotación a los ejes que se encuentran sujetos a acoples que soportan la probeta de ensayo, los ejes y la probeta mantienen una rotación libre en donde se produce el caso de una viga simplemente apoyada, sujetas a una flexión pura. Además, el sistema de eje probeta está expuesta a un sistema de carga manteniendo esfuerzos completamente alternantes.[13]

El eje y la probeta mantienen una rotación libre gracias a los rodamientos que se encuentran a los extremos de los mismos, impidiendo que este elemento sea

expuesto a esfuerzos torsionantes. Sin embargo, existe un esfuerzo torsión producido por la fricción de los rodamientos que se le considera despreciable para futuros cálculos. La máquina se encuentra soportada mediante una estructura metálica y para determinar el número de ciclos al cual se produce la ruptura de la probeta se cuenta con un contador.[12] [13]

✓ **Cargas que intervienen en la máquina de R.R Moore**

Como se observar en la Figura 2.5, el único elemento que se encuentra sometido a carga es (Q) proporcionada por las pesas, siendo el único componente que produce una reacción. Además, se observa que la carga está dividida tanto para el rodamiento B como para C, siendo $Q/2$ la carga en cada soporte, cuando estas cargas se transmiten en la probeta de ensayos se produce un momento flector. [12]

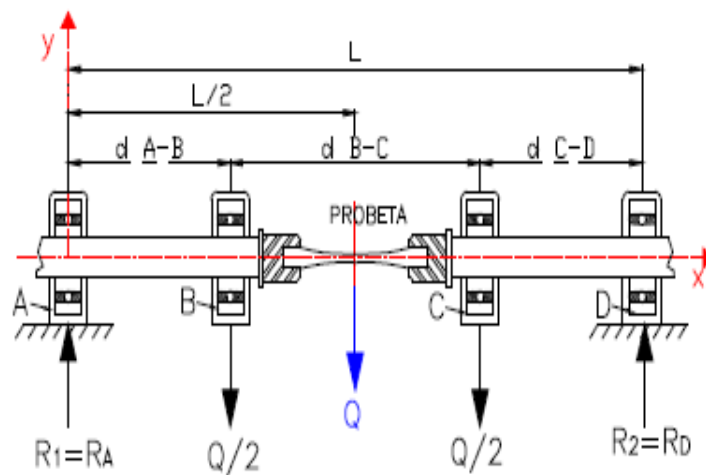


Figura 2. 5. Diagrama de cuerpo libre de la máquina de R.R Moore.

Fuente: [12]

Dónde:

$R_2 = R_D =$ Reacción en el rodamiento 1

$d =$ distancia

$L =$ longitud

$Q =$ carga máxima colocada en el sistema

2.2.5 Norma ASTM E-606

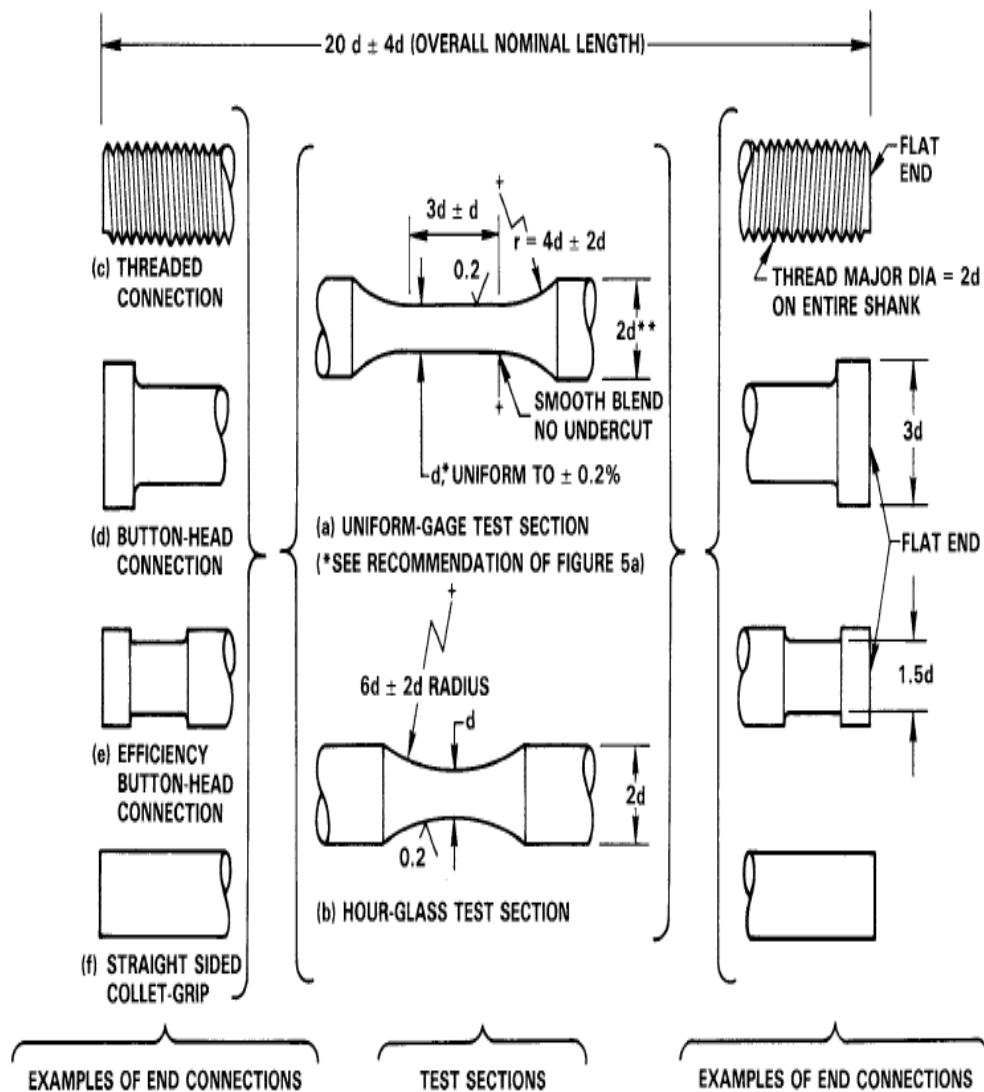


Figura 2. 6. Geometría de la probeta según la norma ASTM E-606

Fuente: [14]

Para realizar prácticas de laboratorio, es importante contar con probetas netamente estandarizadas. En los ensayos de fatiga la norma ASTM E-606 nos muestra las especificaciones del diseño de las probetas.

En la Figura 2.6, se visualiza los aspectos geométricos que se deben cumplir para la fabricación de las muestras. Además, este tipo de normas especifican el diámetro del eje, el cual asegura su resistencia y rigidez cuando esta es sometida a diferentes condiciones de carga. [14]

2.2.6 Acero AISI 1045

Los aceros AISI 1045 se consideran como un acero de contenido medio de carbono, posee baja soldabilidad y buena maquinabilidad. Debido a su tenacidad, son muy utilizados en la fabricación de piezas mecánicas como: pernos, chavetas, piezas de mediana para aplicación automotriz y ejes. Su dureza de suministro aproximada es de 200 HB (Dureza Brinell).[15] [16]

Este acero mantiene una baja templabilidad que puede ser endurecido totalmente en espesores delgados por temple en agua. En secciones más gruesas se pueden obtener un endurecimiento parcial de la sección de la pieza y el incremento de la pieza será proporcional a la capa o espesores endurecidos, al ser deformado en frío se presenta un incremento de dureza y la resistencia mecánica. [17]

En el Anexo A1, se identifica su composición química, A2 propiedades mecánicas, A3 tratamiento térmico y A4 su maquinabilidad del acero AISI 1045.

2.2.7 Sistema de adquisición de datos

Se conoce como adquisición de datos aquella información tomada de sensores e introducirla en una computadora permitiendo visualizar su proceso en tiempo real. [18] Para poder ingresar los datos a un circuito digital o microprocesador, debe existir una transformación de datos analógicos a digitales codificados. [19]

En la Figura 2.7a, se observa una tablilla de circuito impresos y en la Figura 2.7b, los elementos básicos para estas tablillas. Se visualiza que para entradas analógicas los circuitos realizan funciones de multiplexión, amplificación, conversión AD, registro y control, permitiendo mejorar las señales digitales enviadas al sistema de computación. [18]

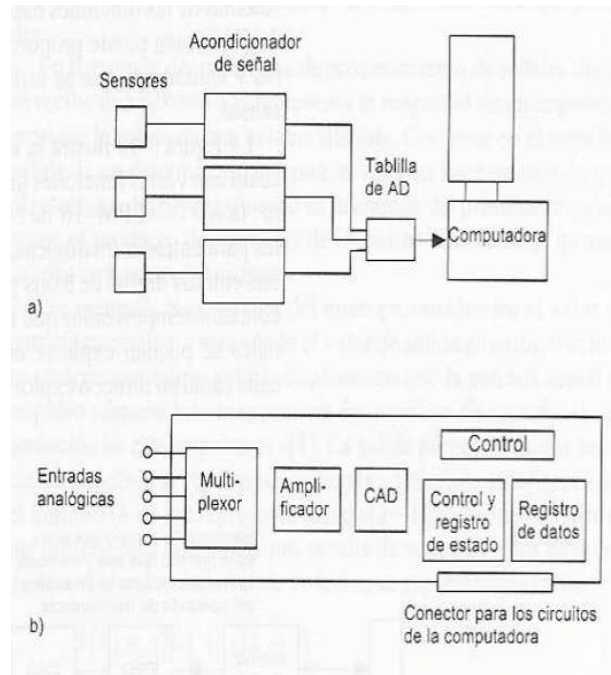


Figura 2. 7. Sistema de adquisición de datos (AD)

Fuente: [18]

2.2.8 Sensores o transductores

“Un sensor es un elemento en un sistema mecatrónica o de medición que detecta la magnitud de un parámetro físico y lo cambia por una señal que puede procesar el sistema.”[19]

✓ Sensor de distancia inductivo

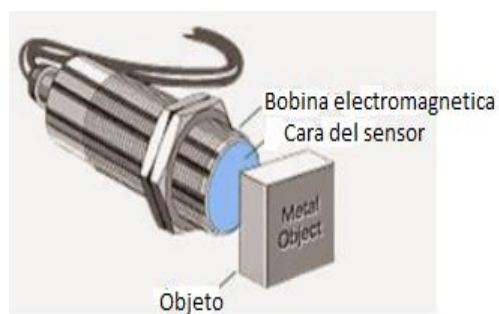


Figura 2. 8. Sensor inductivo de proximidad

Fuente: [20]

Este tipo de sensor permite realizar medidas a distancia sin contacto gracia a su tecnología inductiva. Las medidas son realizadas sobre la superficie metálica

como latón, acero, aluminio etc. En la Figura 2.8, se aprecia un sensor inductivo de proximidad. [21]

✓ **Celda de carga**

Según [22], la celda de carga se considera un transductor para soportar cargas de flexión, compresión y tensión producto de los esfuerzos mecánicos. Además, en el interior de la celda de carga existen sensores como; galgas extensiométricas que detectan los valores de deformación y este a su vez forman un puente Wheatstone con el fin formar circuitos de acondicionamiento para generar una señal en orden de milivoltios en rango de 0 a 12mV.

✓ **Encoder**

Es un dispositivo electromecánico utilizado para traducir la posición angular de un eje a un código digital, ver Figura 2.9. [22]



Figura 2. 9. Encoder rotacional

Fuente: [22]

2.2.9 Acondicionamiento de señales analógicas

Es aquella señal tomada desde los sensores que son utilizados en el sistema de medición para ser procesadas y adaptadas y así poder continuar a la siguiente etapa, a este proceso de adaptación se le conoce como acondicionamiento de señal.[23]

Se puede encontrar diferentes etapas en el acondicionamiento de señal como puede ser: [13]

- Amplificación

- Excitación
- Filtrado
- Multiplexado

2.2.10 Tratamiento de la señal

En esta etapa la señal recibida debe ser convertida de una señal analógica - digital (A/D) y digital –analógica (D/A) con la finalidad de permitir procesar información de un sistema físico. Los tipos de convertidores pueden ser: PLC's, DAQs, microcontroladores, etc. Que por lo general son interfaces entre las señales y la PC, realizando funciones de cuantificación y codificación. [13]

2.2.11 Visualización

Los datos adquiridos se visualizan, analizan, y almacenan en un ordenador, utilizando un software especificado que permita ejecutar y visualizar los datos del sistema. Existe una gran variedad de softwares que permiten realizar esta función como son: LabVIEW, Visual Basic, MATLAB, C++, Java, etc. [13]

2.2.12 Sistema HMI

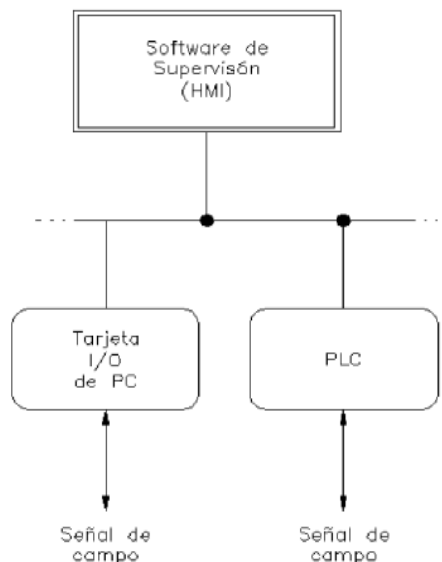


Figura 2. 10. Sistema HMI.

Fuente: [13]

HMI (Human Machine Interface) es decir, es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. En la actualidad las máquinas presentan implementaciones con dispositivos electrónicos lo que da apertura a puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de Interfaz Humano Máquina permitiendo una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas. [24]

En la Figura 2.10, se observa que las señales de campo deben pasar por dispositivos como microcontroladores, PLC, RTU o drives para ser enviadas al HMI. Los dispositivos deben presentar una comunicación que entienda el HMI.

2.2.13 Microcontrolador

Es un dispositivo programable que permite ejecutar tareas a gran velocidad resultando útiles en aplicaciones de tiempo real, como sistemas remotos, sensores, sistemas de control en máquinas y aplicaciones industriales. [25]

En síntesis, el microcontrolador es una computadora pequeña que en su interior contiene las unidades funcionales de un ordenador como se observa en la Figura 2.11. Contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada y salida y periféricos. [26]

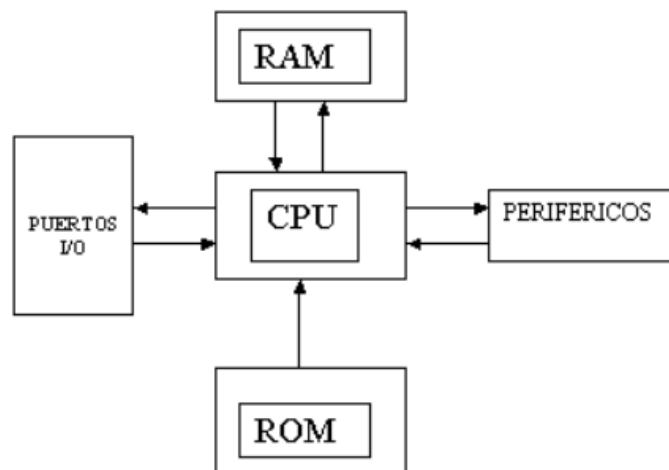


Figura 2. 11. Estructura interna de un microcontrolador.

Fuente: [26]

2.2.14 Comunicación serial

La comunicación serial es utilizada para transmitir datos, donde el puerto serial envía y recibe bytes de información un bit a la vez. Además, esta comunicación está conformada por tres líneas de transmisión: tierra o referencia, transmitir y recibir. Debido a que la comunicación es asincrónica, por la una línea se puede recibir datos y por la otra enviarla. [27]

Existen características de la comunicación serial, las mismas que deben mantener una igualdad, permitiendo una comunicación correcta entre los puertos, estas son:

- a) **Velocidad de transmisión.** - Indica el número de bits por segundo que se transfiere, y se mide en baudios. Por ejemplo, 300 baudios representa 300 bits por segundo. [27]
- b) **Bits de datos.** – Se refiere a una cantidad de bits de transmisión. Cuando las computadoras envían un paquete de información no necesariamente será de 8 bits. Las cantidades más comunes de paquetes de información enviadas son de 5, 7 y 8 bits. Este número de bits depende del tipo de información que se transfiere. [27]
- c) **Bits de parada.** - Este bit indica el fin de la comunicación de un solo paquete los valores típicos son de 1, 1.5 o 2 bits. [27]
- d) **Paridad.** - Es una forma sencilla de verificar si hay errores en la transmisión serial. Existen cuatro tipos de paridad: par, impar, marcada y espaciada. [27].

CAPÍTULO III

3 DISEÑO DEL PROYECTO

3.1 Selección de alternativas

3.1.1. Situación actual de la máquina

A medida que se desarrolla el análisis correspondiente de la máquina, se observa que varios de sus elementos no se encuentran acoplados a la misma, tal es el caso de: encoder, dinamómetro, templador, conjunto de pesas, variador de frecuencia y todo su sistema eléctrico.

Se evalúa elemento por elemento visualizando sus falencias presentes para tomar decisiones ya sea para mejorarlos o sustituirlos por completo. En la Figura 3.1, se muestra el estado actual de la máquina.



Figura 3. 1. Situación actual de la máquina

3.1.2. Diagnóstico de los elementos

Debido al tiempo de uso de la máquina, varios de los elementos presentan una capa de óxido que deben ser tratadas de tal forma que alargue su tiempo de vida útil.

1) Estructura metálica

La estructura metálica presenta varios elementos como: soporte para el encoder, soporte para contador de ciclos, soporte para variador de frecuencia, pernos de sujeción tanto para el motor como para los soportes de los ejes como se visualiza en la Figura 3.1.

Se pudo constatar que la estructura no se encuentra debidamente fijada, lo que ocasiona vibraciones al momento de realizar ensayos. Además, estéticamente sus acabados no son favorables debido a su tiempo de uso, todos los elementos que dan forma a la estructura se encuentran acoplada mediante soldadura SMAW que se encuentra en buen estado.

Los cambios que se dio a la estructura metálica son; la eliminación del óxido y eliminación de la capa de pintura en mal estado que se encontró en la superficie del metal, eso se realizó mediante lijas y pulidoras diseñadas para cumplir tal trabajo. Además, se implementó un sistema de fijación al piso con la finalidad de mantener rígida la estructura al momento de realizar los ensayos. Posterior a esto se aplicó un fondo anticorrosivo para impedir la oxidación de la estructura y luego una capa de pintura esmalte para metal de color azul. En la Figura 3.2, se detalla el estado final de la estructura metálica con sus respectivos cambios.



Figura 3. 2. Estado final de la máquina

2) Motor eléctrico

El motor eléctrico cuenta con su respectiva placa de datos donde se visualiza las especificaciones técnicas como se aprecia en la Figura 3.3.

El motor no dispone de un sistema de control que gobierne las operaciones de encendido y apagado en el caso que se presente alguna emergencia.



Figura 3. 3. Motor eléctrico

Se realizó una limpieza interna del motor con el fin de eliminar el polvo y las sustancias corrosivas acumuladas durante su tiempo de trabajo.

Se revisó sus bobinas y rodamientos para mejorar su tiempo de vida útil. Se comprueba su funcionamiento para garantizar que el motor se encuentra en buen estado.

3) Acople

El acople presente en la máquina es de tipo mandíbulas el mismo que permite la transmisión de movimiento del motor hacia los ejes. En la parte central se encuentra un elemento elastomérico cuya función es ejercer una suave transmisión de movimiento.

En la Figura 3.4, se visualiza tanto el acople como el elemento, en vista que el acople se encuentra en buen este estado se conserva.



Figura 3. 4. Acople semiflexible

Como se visualiza en figura él acople no cuenta con varios prisioneros lo que es importante la adquisición e implementación de los mismos. En los acoples se eliminó la capa oxido presente. Además, se aplicó un fondo anticorrosivo de color gris.

4) Mandriles de sujeción

Los mandriles cumplen la función de sujetar un objeto especialmente de forma cilíndrica y son apropiados para sujetar una pieza de trabajo en rotación.



Figura 3. 5. Mandril

Los mandriles presentes en la máquina son ideales para la sujeción de la probeta debida a sus tres puntos de contacto lo que garantiza una alta fuerza de agarre y no es necesario sustituirlos, ver Figura 3.5.

Al igual que los acoples se procedió a eliminar la capa de óxido y de la misma forma aplicar un fondo anticorrosivo.

5) Chumaceras autolineantes

Las chumaceras autoalineables presentes en la máquina se encuentran en buen estado, presentando un buen alineamiento al momento de montar el eje. Como están en buen estado se procedió únicamente a lubricar, ver Figura 3.6.

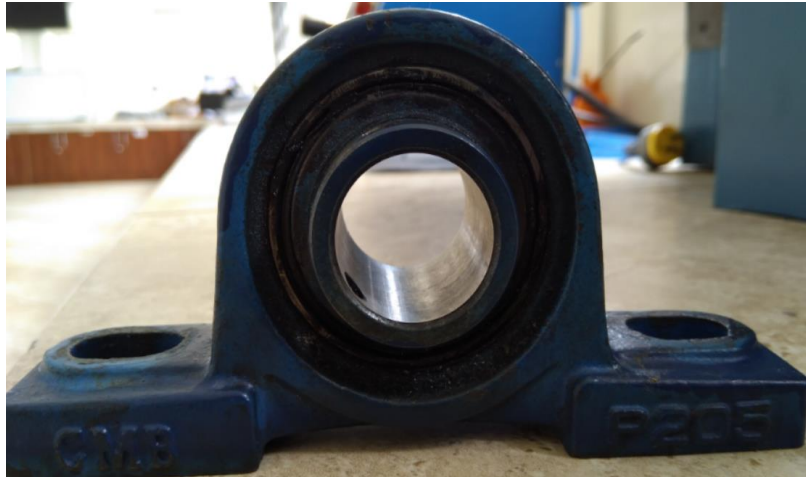


Figura 3. 6. Chumacera autolineantes

3.1.3. Selección de la instrumentación

1) Encoder



Figura 3. 7 . Encoder modelo E6B2-CWZ3E

Fuente: [28]

Se utilizará el encoder existente en la facultad de modelo E6B2-CWZ3E, cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo B1.

El encoder será acoplado al eje del motor con el propósito de conocer el número de revoluciones al que gira en el momento de realizar cada ensayo.

Este tipo de Encoder tienen un amplio trabajo de tensión de operación que va desde los 5 a 24 Vdc (modelo colector abierto), tienen una alta resolución de 2.000 impulsos por rotación que mejora su precisión de medida, permite una medición de carga radial alta de 30 N y una de carga axial de 20 N, además son reforzados con disco de metal lo que les hace resistentes a golpes [28].

2) Variador de Frecuencia

Se utilizará un variador de frecuencia existente en la facultad de modelo 3G3EV como se visualiza en la Figura 3.8. Las especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo B2.



Figura 3. 8. Variador de frecuencia modelo 3G3EV

Fuente: [29]

El variador de frecuencia permite controlar la velocidad de rotación del motor a la que el operario desee que gire para cada ensayo.

Este tipo de variadores de frecuencia tienen una alta confiabilidad a una capacidad de carga de corrientes muy alta. Sus principales ventajas son; un alto par de

arranque cuando está completamente cargado y no son susceptibles a sobrecargas o golpes de esta forma se garantiza un mayor tiempo de vida útil para el funcionamiento de la máquina.[29]

3) Selección de interruptor de posición

Los interruptores de posición son aquellos encargados de detectar presencia o paso ante un movimiento mecánico mostrando una señal eléctrica.

Para este proyecto es importante contar con un interruptor de final de carrera ver Figura 3.9, este permite definir el final de recorrido de un objeto. Se ha seleccionado un final de carrera Push-button normalmente abierto debido a que la placa fuerza es un mecanismo móvil y permite accionar el sensor al momento que la probeta se fractura ocasionando un contacto placa fuerza – accionador, permitiendo el paro automático del motor.



Figura 3. 9. Final de carrera Push-button

4) Selección de la instrumentación para medir carga

Para la carga se necesita un sensor que permita determinar el peso aplicado durante cada ensayo. Este dato deberá ser visualizado en la pantalla de una computadora.

A una celda de carga se le conoce como transductor ya que están diseñadas para soportar diferentes tipos de carga tales como; tensión compresión y flexión siendo generadas por esfuerzos mecánicos. Al interior de las celdas de carga se encuentran sensores conocidos como galgas extensiométricas, gracias a estos sensores se puede

determinar la deformación existente para cada valor de peso. Además, las galgas extensiométricas son parte del circuito denominado puente de Wheatstone como se observa en la Figura 3.10. Las señales generadas por este circuito son en milivoltios que va en un rango de 0 a 12mV. [22]

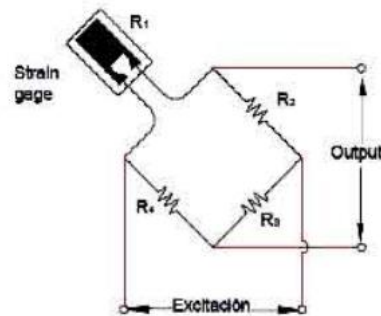


Figura 3. 10 Circuito puente Wheatstone

Fuente: [30]

Alternativa 1: celda de carga tipo S

Este tipo de celdas son diseñadas para trabajos a alta escala ya sea a tensión o compresión brinda lecturas precisas. Además, posee un revestimiento resistente a temperaturas bajas y sus cables se encuentran debidamente protegidos permitiendo su uso en ambientes difíciles siendo muy utilizadas en campos industriales en la Figura 3.11, se aprecia una celda tipo S 30kg.



Figura 3. 11. Celda de carga tipo S marca Sensortronics modelo 60001

Fuente: [31]

Estos tipos de sensores tienen una sensibilidad 2.0 ± 0.05 mV/V, una histéresis $\pm 0.03 \leq \% F \cdot S$, una impedancia de entrada de $365 \pm 20 \Omega$, una impedancia de salida de $350 \pm 5 \Omega$ y una impedancia de aislamiento de más de $5000 M\Omega$ (50VDC). [31]

Alternativa 2: celda de carga tipo unipunto

En la Figura 3.12, se visualiza una celda de carga tipo unipunto la misma que trabajan en voladizo. Son conocidas por manejar cargas bajas que oscilan desde los 5kg hasta los 200kg. Una de las ventajas de las celdas unipunto es la facilidad de montaje.

Este tipo celdas están disponibles en el mercado lo que facilita la compra de una manera inmediata, descartando la adquisición mediante intermediarios. Una comparación muy clara con las celdas de tipo S, es su estructura ya que no son muy robustas y su diseño no permite la medición de cargas muy altas.



Figura 3. 12. Celda de carga tipo unipunto marca Tedeá modelo 1022

Fuente: [32]

Estos tipos de sensores tienen una sensibilidad 2.0 mV/V $\pm 10\%$, una histéresis $0.2\% F \cdot S$, una impedancia de entrada de $415 \pm 15 \Omega$, una impedancia de salida de $350 \pm 3 \Omega$ y una impedancia de aislamiento de más de $\geq 2000 M\Omega$. [32]

✓ Selección de alternativas por el método ordinal corregido de criterios ponderados

A continuación, se realiza la selección de celda de carga mediante tablas de ponderación, donde cada parámetro será comparado con los demás parámetros considerando los siguientes valores: Si los criterios de solución de las filas son muy

importantes a comparación del criterio de solución de las columnas se le asigna el valor de 1. Si los criterios tanto de las filas como el de las columnas resultan importantes se le asigna el valor de 0.5. Si los criterios de solución de las filas no son importantes a comparación del criterio de solución de las columnas de le asigna el valor de 0.

✓ **Parámetros relevantes para la ponderación**

- **Carga.** – Para la realización del presente proyecto la capacidad de la celda de carga es muy importante debido a que se considera un instrumento de medición la misma que debe satisfacer los rangos de carga que se aplicaran en los ensayos, tomando en cuenta el peso de los elementos del sistema de carga.
- **Costo.** - Se refiere al valor total monetario que representa cada uno de sus materiales considerando un valor accesible y un producto de buena calidad.
- **Resolución.** – La celda de carga deberá permitir realizar incrementos de pesos para cada ensayo que dependerá del valor de pesas que se disponga en los laboratorios.
- **Tiempo de vida útil.** - Es necesario determinar la vida útil del elemento para evitar el remplazo prematuro de los mismos que a futuro represente una mayor inversión.

✓ **Evaluación de criterios**

Tabla 3. 1.Designación de los criterios

Carga	A
Costo	B
Resolución	C
Tiempo de vida útil	D

Alternativa 1	Celda de carga tipo S
Alternativa 2	Celda de carga tipo unipunto

Para la evolución de los criterios ponderados se asigna letras como se visualiza en la Tabla 3.1, para luego evaluarlos uno por uno.

Tabla 3. 2. Evaluación de criterios para la selección de la celda de carga

Resolución > Carga = Vida útil > Costo						
	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A		0,5	0	1	2,5	0,25
B	0,5		0	0	1,5	0,15
C	1	1		0,5	3,5	0,35
D	0	1	0,5		2,5	0,25
				SUMA	10	1

Tabla 3. 3. Evaluación del criterio de capacidad de la celda de carga

Celda de carga tipo S = Celda de carga tipo unipunto				
Carga	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1,5	0,50
Alternativa 2	0,5		1,5	0,50
		SUMA	3	1

Como se aprecia en la tabla 3.2 tanto la celda de carga tipo s y tipo unipunto, presentan una ponderación igual a 0.5. Esto significa que los dos tipos de celdas permiten mediciones de cargas bajas lo que resulta importante para realizar los ensayos.

Tabla 3. 4. Evaluación del criterio de adquisición de la celda de carga

Celda de carga tipo unipunto > Celda de carga tipo S				
Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,33
Alternativa 2	1		2	0,67
		SUMA	3	1,00

Como se aprecia en la Tabla 3.4, la celda de carga tipo unipunto presenta una ponderación en el costo de 0,67. Esto se debe a que este tipo de celdas resulta más económica y fácil de adquirir debido a que se encuentran disponibles en el mercado local.

Tabla 3. 5. Evaluación del criterio de costo de la celda de carga

Celda de carga tipo unipunto > Celda de carga tipo S				
Resolución	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	0	0	1	0,33
Alternativa 2	1	0	2	0,67
		SUMA	3	1,00

Como se aprecia en la Tabla 3.5, la celda de carga tipo unipunto presenta una ponderación en la resolución de 0,67. Se debe a que la celda de carga tipo unipunto son las más recomendadas para mediciones de cargas bajas permitiendo una resolución mucho más precisa al momento de las mediciones.

Tabla 3. 6. Evaluación del criterio de instalación de la celda de carga

Celda de carga tipo S > Celda de carga tipo unipunto				
Vida útil	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
		SUMA	3	1,00

Como se aprecia en la Tabla 3.6, la celda de carga tipo S presenta una ponderación en la vida útil de 0,67. Se debe a que este tipo de celdas son más robusta y resistentes a condiciones de trabajo a temperaturas bajas y sus cables se encuentran debidamente protegidos permitiendo su uso en ambientes difíciles de esta forma garantizando su vida útil en cualquiera de sus aplicaciones.

Tabla 3. 7. Selección de la alternativa para la celda de carga

	Capacidad	Adquisición	Costo	Instalación	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,125	0,050	0,117	0,167	0,458	1
Alternativa 2	0,125	0,100	0,233	0,083	0,542	2
					1	

Según el análisis realizado mediante la matriz de ponderación, ver Tabla 3.7, en donde se evaluó cada uno de los parámetros para la selección de la celda de carga,

se tiene como prioridad a la alternativa 2, celda de carga tipo unipunto con un porcentaje de ponderación de 54.2% mayor al 45.8% que obtuvo la celda de carga tipo S. Esto nos indica que cumple con la mayoría de requerimientos que se busca para el sistema de carga. La celda de carga tipo unipunto son diseñadas para manejar carbas bajas lo que significa que la resolución será mejor. Además, son fáciles de adquirir y son económicas a diferencia de otro tipo de celdas sus especificaciones técnicas las encontramos en el Anexo B3.

3.1.4. Selección del sistema de control

Para la selección del sistema del control es importante conocer el número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales que intervienen para la adquisición de datos, como se detalla en la Tabla 3.8.

Tabla 3. 8. Entradas y salidas necesarias para el sistema de control

			Control	Fuente
Entradas	Analógicas	Celda de carga	2	2
	Digitales	Fin de carrera	1	2
		Encoder	1	2
Salidas	Analógicas			
	Digitales	Variador de frecuencia	1	

Partiendo de la Tabla 3.8, resulta necesario contar con un dispositivo que disponga del número de entras y salida analógica como digitales.

Los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica cuentan con pantallas FlexiPanels de marca RENU, las mismas que tienen módulos de expansión de entradas y salidas únicamente analógicas. En este dispositivo es imposible la obtención de las gráficas Número de ciclos vs Resistencia a la fatiga ya que trabajan solo en función del tiempo. Por lo tanto, se descarta la alternativa de utilizar la pantalla FlexiPanels.

En vista a los requerimientos para la ejecución del proyecto se ve la necesidad de trabajar con otro dispositivo de tal forma que permita una adquisición de datos, disponibilidad en el mercado y sea económico.

Tomando las consideraciones necesarias se optó por trabajar con Arduino, que tiene módulos de entrada y salidas tanto analógicas como digitales necesarias para el presente proyecto. Además, el lenguaje de programación es fácil de aprender debido a que en la actualidad se dispone de varias librerías donde se puede guiar o basarse en el código para poder trabajar. [33]

3.2 Cálculos o modelo operativo

3.2.1. Acondicionamiento de los elementos

3.2.1.1 Acondicionamiento para el sensor de carga

1) Acondicionamiento de señal para la celda de carga

El acondicionamiento de señal quiere decir que se modificar la misma para que esta pueda llegar a la siguiente operación. Las modificaciones de la señal pueden ser; amplificadas, filtradas, linealizadas, etc. [22]

Como se conoce, el microcontrolador permite señales de 0 a 5V y la que señal enviada por la celda de carga está en mV entonces resulta necesario la amplificación de señal a un valor que acepte el microcontrolador. En el siguiente ejemplo se puede visualizar el valor de señal que envía la celda de carga con un peso de 10kg.

$$señal = \frac{Carga(kg) * sensibilidad \left(\frac{V}{V}\right) * Voltaje de excitación(V)}{Capacidad de celda (kg)}$$

Ec. 3.1

Los valores como sensibilidad y voltaje de excitación se encuentran en el Anexo B3.

Entonces se tiene:

$$señal = \frac{10(kg) * 0.002 \left(\frac{V}{V}\right) * 12(V)}{25 (kg)}$$

$$señal = 9.6mV$$

Para amplificar esta señal se utiliza el amplificador de instrumentación AD620 en donde las especificaciones técnicas se muestran en el Anexo B4.

2) Amplificador de instrumentación AD620 [34]

Este tipo de amplificadores son considerados de alta precisión siendo ideal para utilizar en unos sistemas de adquisición de datos como básculas de pesaje e interfaz de transductores, en la Figura 3.13, se visualiza la conexión del circuito.

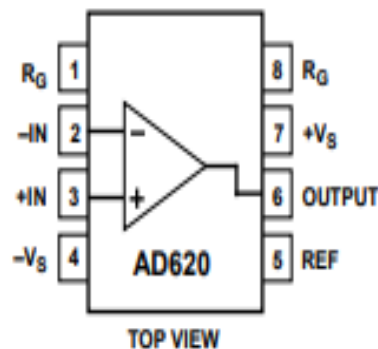


Figura 3. 13. Conexión del amplificador de señal

Fuente: [35]

Además, requieren únicamente de una resistencia externa (R_g) que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R_g = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{G - 1}$$

Ec. 3.2

Para este caso se escogió una ganancia de 100, debido a que los datos de carga son más estables.

$$R_g = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{100 - 1}$$

$$R_g = 498,98\Omega$$

La resistencia externa es de $498,98 \Omega$ y se aproximó a una resistencia de 470Ω

3) Acoplamiento del sistema de carga

Para facilitar la colocación de carga ingresada por el usuario se acoplo un sistema de transmisión de engranes cónicos helicoidales como se muestra en la Figura 3.14, de tal forma que el ingreso de carga se lo realice de una forma horizontal ubicada a una altura de 70 cm en la parte Frontal de la máquina de ensayos.



Figura 3. 14. Engranes cónicos helicoidales

Fuente: [36]

El sistema consta de tres partes como: eje, sistema de transición y tornillo de potencia. En la entrada se ubica el eje, este transmite el movimiento hacia los engranes con una relación de 3/1 y a la salida se encuentra el tornillo de potencia.

El tornillo de potencia ayuda a convertir su movimiento angular en un movimiento lineal. Entonces el tornillo se acopla a la celda de carga y cuando se produce el movimiento se da una fuerza de tracción al sensor de carga y de esta forma se obtiene el peso que el usuario desee para cada ensayo.



Figura 3. 15. Sistema de transmisión

El sistema de transmisión adquirido es de una pulidora de segunda mano cómo se visualiza en la Figura 3.15.

4) Acoplamiento para la celda de carga

En el lado fijo de la celda de carga se realizó un soporte para la celda de la placa fuerza. El soporte es fijado en la placa fuerza mediante una unión soldada. Se realizó dos roscas métricas M6 para sujetar la celda de carga con el acople como se muestra en la Figura 3.16.

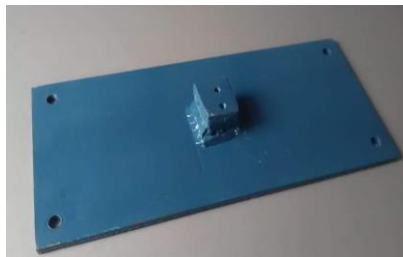


Figura 3. 16. Acondicionamiento mecánico para la celda de carga

En el extremo de la celda de carga donde se coloca el peso, se acopla un soporte con el fin de sujetar el tornillo de potencia como se visualiza en la Figura 3.17.

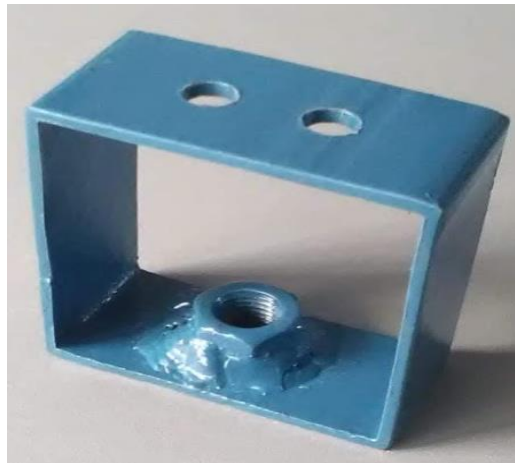


Figura 3. 17. Acoples para la celda de carga

En la parte superior del soporte se sujeta a la celda mediante perno, arandela y tuerca de tipo M6 y en la parte inferior del soporte se fijó un tornillo de $\frac{1}{2}$ " que conectara al tornillo de potencia.

3.2.1.1 Acoplamiento mecánico encoder motor

El acoplamiento del eje del motor con en eje del encoder se lo realiza mediante un acople flexible que se puede conseguir en el mercado local como se observa en la Figura 3.18.

En el centro de la tapa del motor se realiza una perforación para que ingrese el eje del encoder luego se coloca el acople flexible evitando el contacto con la tapa del motor, seguidamente se ajusta el encoder con la placa de sujeción mediante tornillos.

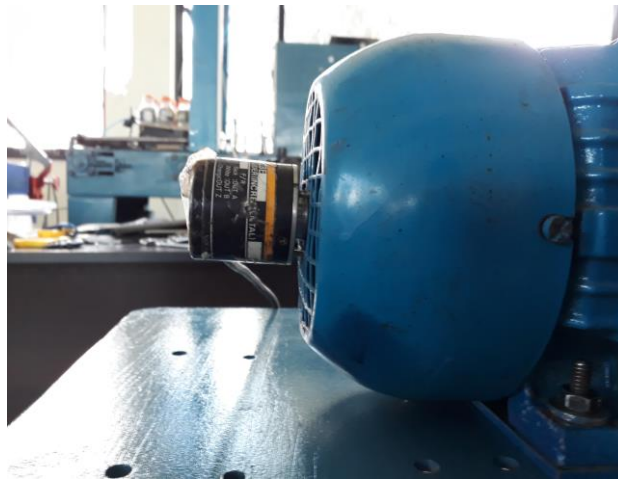


Figura 3. 18. Acondicionamiento mecánico para encoder

3.2.2 Sistema de generación y adquisición de datos

3.2.2.1 Programación del microcontrolador

Para la interacción entre el programa y la placa de Arduino se han utilizado sensores y actuadores con la siguiente configuración.

Tabla 3. 9 Configuración placa de Arduino

Nombre	PIN	Descripción	Operación
Relé	13 (digital)	Pin de salida que activa el relé del variador	1 activa 0 desactiva
Celda de carga	A0 (análogo)	Pin de entrada para lectura de peso aplicado	Lectura de datos de 1 a 1024 sexagesimales de bits (10 bits)

Tabla 3.9. Continuación

Encoder	2 (digital)	Lectura del encoder a través de una vía de interrupción	Lectura de las RPM
Fin de carrera	5 (digital)	Para cuando termina el ensayo	Para automático al finalizar ensayo.

3.2.2.2 Representación del circuito de control

1) Conexión del circuito de control

El circuito de control tal como se muestra en la Figura 3.19, es alimentado a 5 V mediante un cable USB de impresora A-B que conecta a una computadora. En el circuito de control se encuentra los siguientes elementos:

Arduino Uno, variador de frecuencia, relé, amplificador AD 620, celda de carga, encoder, resistencias, capacitor

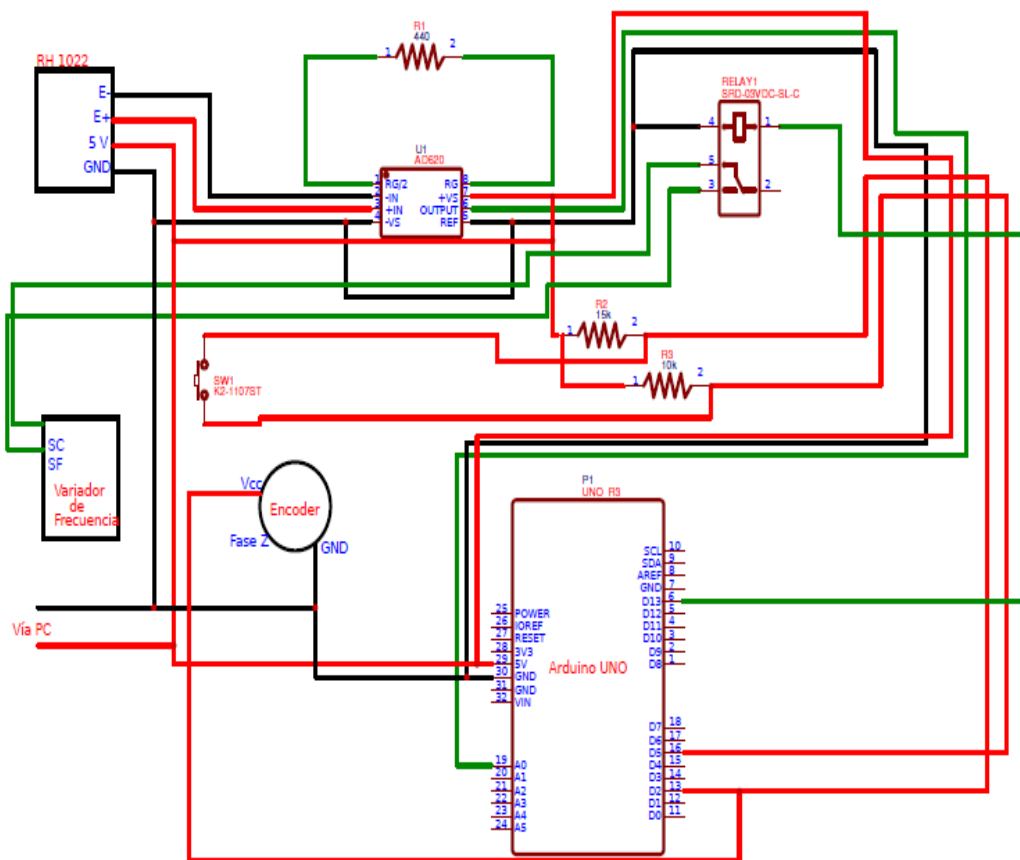


Figura 3.19. Circuito de control

2) Circuito de potencia

El circuito de potencia es alimentado a 220 VAC con una conexión en triángulo y es el encargado de energizar los dispositivos de mayor demanda energética, ver Figura 3.20. En el circuito de potencia encontramos los siguientes elementos

- ✓ Motor
- ✓ Variador
- ✓ Braker térmico
- ✓ Luz piloto

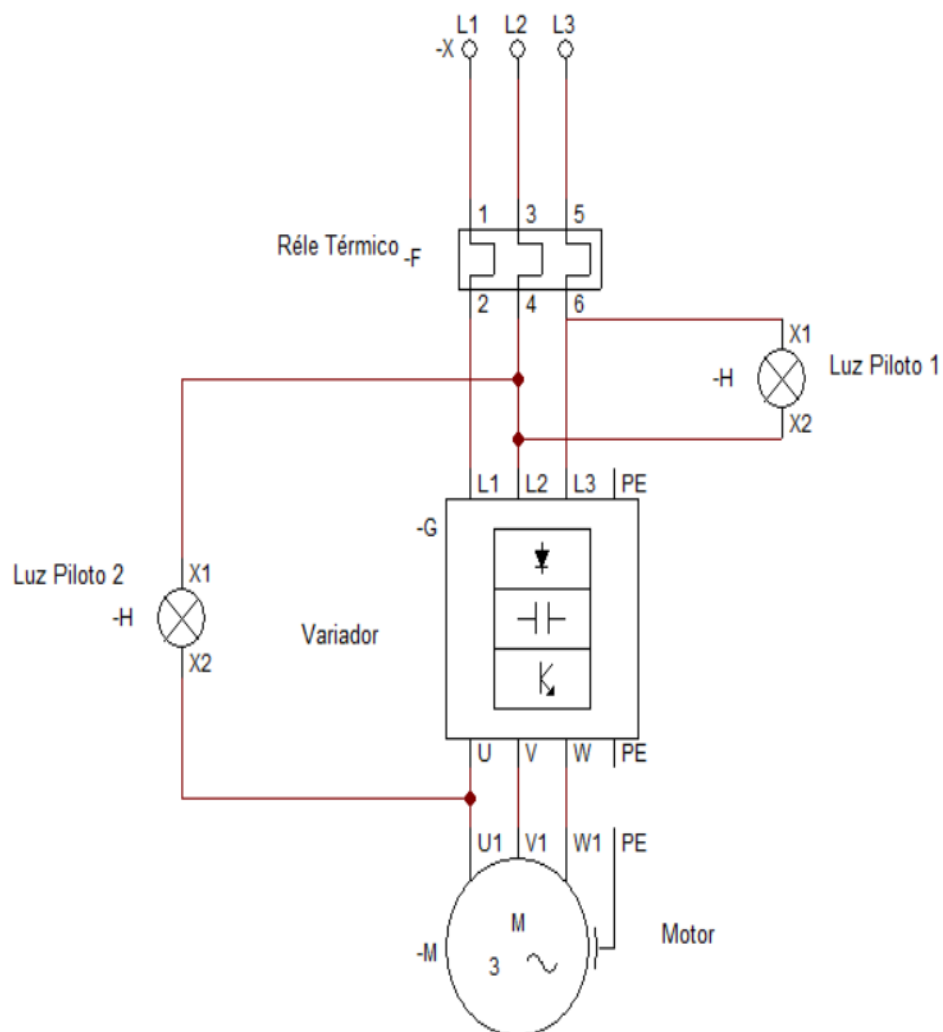


Figura 3. 20. Circuito de potencia

3.2.2.3 Estructuración del programa para realizar los ensayos

Diagrama de flujo para ejecutar el programa

En el diagrama de flujo de la Figura 3.21, se visualiza la secuencia de operación de la máquina de ensayos a fatiga para obtener la adquisición de datos que se desea en cada práctica.

En el Anexo C1, se especifica paso a paso el funcionamiento de la máquina y su mantenimiento correspondiente.

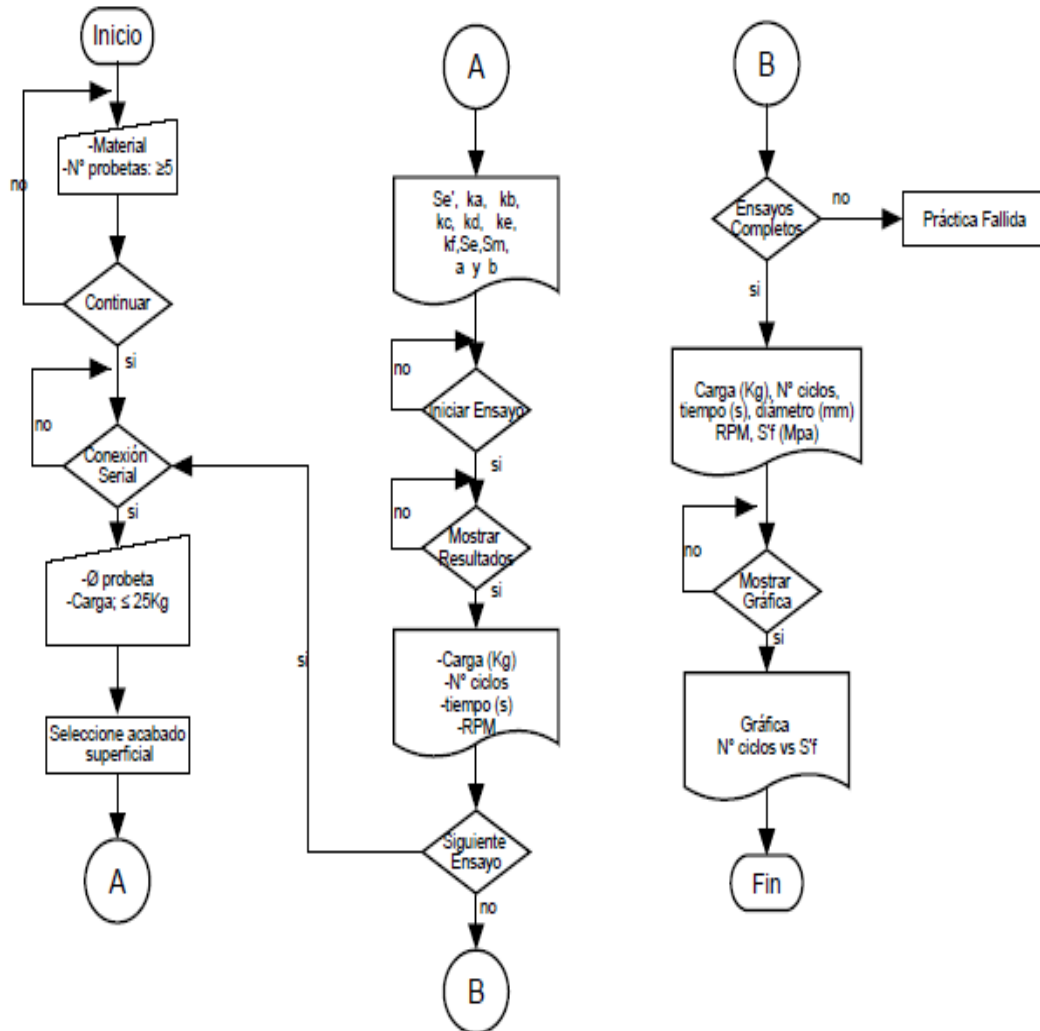


Figura 3. 21. Diagrama de flujo

3.2.2.4 Distribución de pantallas en el software SrapDevelop

Según [37], “SharpDevelop es considerado como un software de programación integrado que permite programar en C#, Visual Basic .NET. Es un entorno publicado bajo licencia LGPL (Lesser General Public Licencia o Licencia Publica General para bibliotecas de GNU), lo que quiere decir que es un software libre”. Esta herramienta proporciona todas las características necesarias para el desarrollo de aplicaciones para Windows.



Figura 3. 22. Presentación del SharpDevelop

Fuente:[38]

Para las creaciones de páginas se utilizaron Windows Forms como se visualiza en la Figura 3.23.

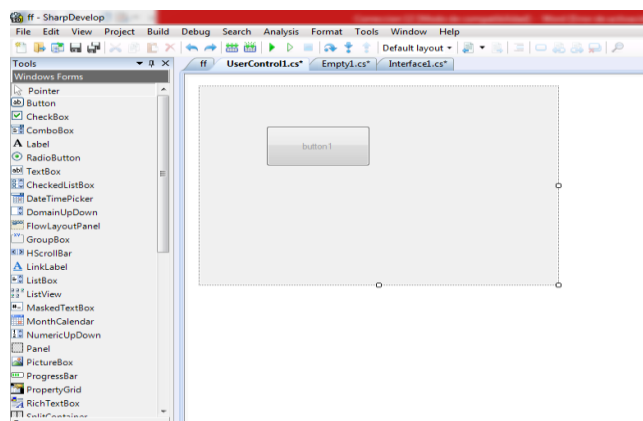


Figura 3. 23. Windows Forms de SharpDevelop

Además, cada pantalla consta de botones que se muestran en la Figura 3.24. Estas se encuentran en la herramienta toolbox, los que se utilizan para el presente

proyecto son: TextBox, Combo Box, DomainUP Down, Button, Radio Butto, Data GridView y Picture Box, cada uno de estos cumpliendo diferente función.

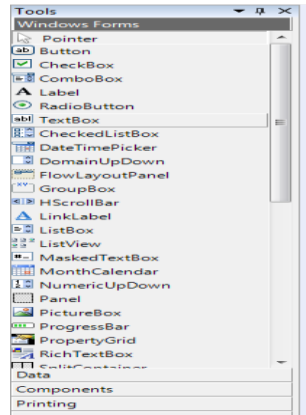


Figura 3. 24. Botoneras SharpDevelop

Cabe mencionar que todos los objetos que se encuentran dentro del formulario tienen dos nombres: el primero que se utiliza para visualización y el segundo para la programación, esto se modifica en la herramienta de propiedades como se visualiza en la Figura 3.25.

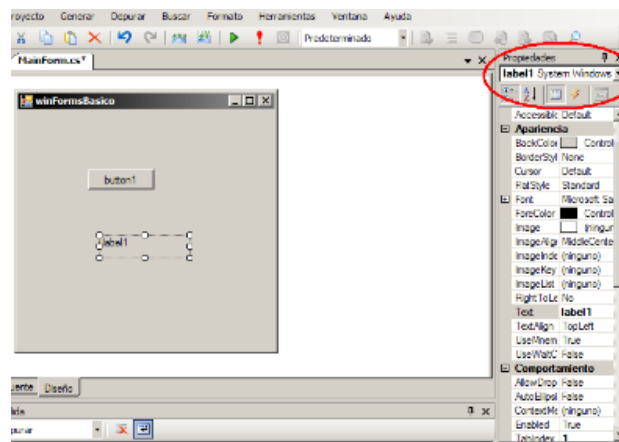


Figura 3. 25. Herramientas SharpDevelop

Diseño de formularios en SharpDevelop

1) Formulario principal

Este formulario muestra el nombre, carrera de la Universidad y el autor del Proyecto. En la Figura 3.26, se visualiza la estructura de la pantalla, la misma que contiene las siguientes herramientas.

Tabla 3. 10. Herramientas utilizadas para el diseño de la pantalla principal

Botón	Tipo de herramienta	Denominación	Observaciones
Continuar	Button	btnContinuar	Permite continuar al siguiente formulario el cual es; DATOS DE ENSAYO.

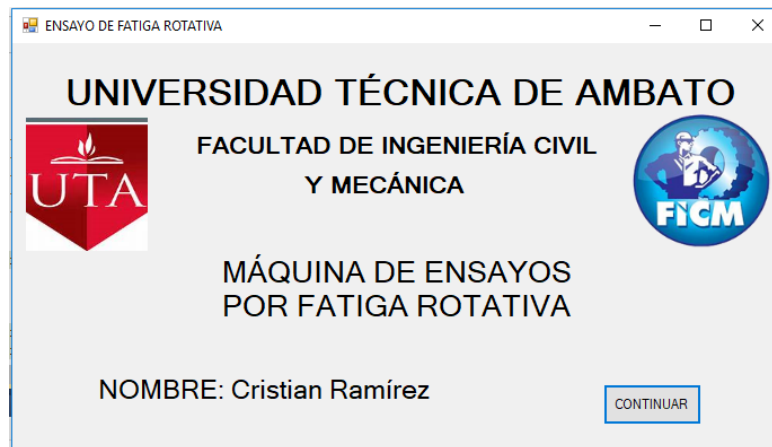


Figura 3. 26. Pantalla principal

2) Formulario de datos de la probeta

Este formulario permite escoger el tipo de material y seleccionar el número de probetas a ensayar. En la Figura 3.27, se visualiza la estructura de la pantalla, la misma que contiene las siguientes herramientas.

Tabla 3. 11. Herramientas utilizadas para el diseño de la pantalla de datos del ensayo

Botón	Tipo de herramienta	Denominación	Observaciones
Material	Combo Box	cbxMaterial	Disponible para AISI 1045
Resistencia a la tracción	TextBox	tbSut	Permite solo lectura
Nº de probetas	DomainUP Down	Num	Valor min 5 max 10
Continuar	Button	Button4	Envía formulario ENSAYO 1

Figura 3. 27. Pantalla de datos del ensayo

3) Formulario de ensayo 1

Tabla 3. 12. Herramientas utilizadas para el diseño de la pantalla de ensayo 1

Botón	Tipo de herramienta	Denominación	Observaciones
Buscar puerto	Button	btn Buscar Puerto	Detecta puertos conectados al computador
Visualización de puertos	Combo Box	cbu Puertos	Si existen puertos conectados se activa el botos conectar y se desactiva buscar puertos
Conectar	Button	btn Conectar	Abre puerto serial y cambia su nombre por desconectar
Ø de la probeta	Text Box	tb Diametro	Ingreso de valor por teclado
Visualización de carga aplicada	Text Box	tb Carga Media	Solo lectura
Peso de carga	Button	Button 3	Envía valor “a” a arduino para lectura de celda de carga
Siguiente	Button	Button 1	Evalúa el Ø de la probeta, si el Ø <20 mm permite continuar el programa caso contrario no. Restringe peso de carga con un valor máximo de 20kg y a su vez abre formulario CÁLCULOS ENSAYO 1.

Este formulario permite la configuración del puerto serial y a su vez el ingreso del diámetro de la probeta y la carga aplicada. En la Figura 3.28, se visualiza la estructura de la pantalla, la misma que contiene las siguientes herramientas.

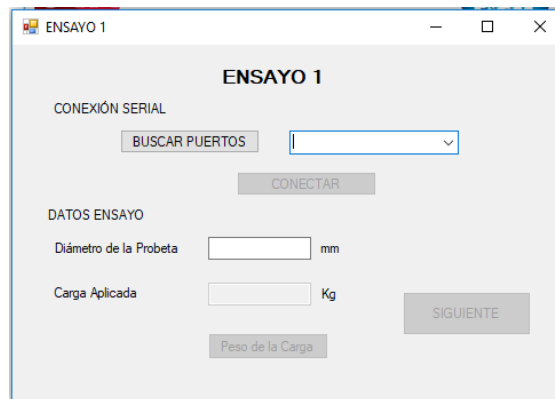


Figura 3. 28. Pantalla de ensayo 1

4) Formulario de cálculos ensayo 1

Este formulario nos arroja los datos teóricos y finalmente permite iniciar el ensayo obteniendo los resultados del ensayo 1 una vez que se fractura la probeta. En la Figura 3.29, se visualiza la estructura de la pantalla, la misma que contiene las siguientes herramientas.

Tabla 3. 13. Herramientas utilizadas para el diseño pantalla de cálculos ensayo 1

Botón	Tipo de herramienta	Denominación	Observaciones
Carga aplicada	Text Box	tbCarga	Permite visualizar el peso de carga del formulario anterior
Límite de resistencia a la fatiga Se'	Text Box	tbSe1	Visualización del Se'
Ka	Text Box Combo Box	tbka cbSuperficie	Muestra los tipos de acabado superficial. Permite visualización del valor ka
Kb	Text Box	tbkb	Permite visualización del valor kb
Kc	Text Box	tbkc	Permite visualización del valor kc

Tabla 3.13. Continuación

Kd	Text Box	tbkd	Permite visualización del valor kd
Ke	Text Box	tbke	Permite visualización del valor ke
Kf	Text Box	tbkf	Permite visualización del valor kf
Límite de resistencia a la fatiga Se	Text Box	tbSe	Permite visualización del valor Se
Esfuerzo por flexión Sm	Text Box	tbSe	Permite visualización del valor Sm
Constante a	Text Box	tba	Permite visualización de la constante a
Constante b	Text Box	tbb	Permite visualización de la constante b
calcular	Button	Button1	Comprueba que se haya seleccionado un tipo de acabado superficial para proceder con el cálculo caso contrario aparece un mensaje de pantalla “seleccione un acabado superficial del material.” Calcula todos los valores de Se’ con “b”. Al momento de seleccionar calcular activa el botón INICIAR ENSAYO y desactiva el botón CALCULAR
Iniciar Ensayo	Button	Button3	Abre el puerto serial y envía al arduino la orden para iniciar ensayo con “b” Activa el botón RESULTADOS y desactiva el mismo.
Resultados	Button	btn Resultados	Valida si el ensayo fue terminado Envía señal “c” al arduino para recibir datos de los sensores. Guarda en una matriz los valores de Carga, N° de ciclos, Tiempo, RPM, Ø de la probeta y el S. Activa el botón NUEVO ENSAYO y desactiva el botón RESULTADOS.

Tabla 3.13. Continuación

Carga	Text Box	tb Carga Real	Permite visualizar el valor final de la carga.
Nº de ciclos	Text Box	tb Encoder Real	Permite visualizar el valor final del Nº de ciclos.
Tiempo	Text Box	tb Timer Real	Permite visualizar el valor final del Tiempo.
RPM	Text Box	Tesxt Box 1	Permite visualizar el valor final de las RPM.
Nuevo ensayo	Button	Button 2	Abre formulario ENSAYO POR FATIGA ROTATIBA. Comienza la lectura de formularios nuevos.

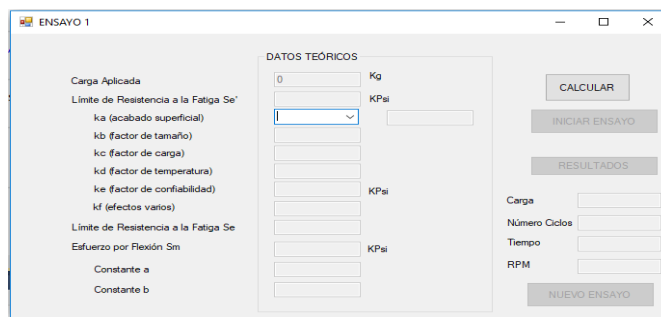


Figura 3. 29. Pantalla de cálculos ensayo 1

5) Formulario ensayo por fatiga rotativa.

En este formulario se debe configurar nuevamente el puerto serial he ingresar los datos para el siguiente ensayo, arroja los datos teóricos y permite iniciar con el ensayo. En la Figura 3.30, se visualiza la estructura de la pantalla, la misma que contiene las siguientes herramientas.

Tabla 3. 14 Herramientas utilizadas para el diseño del formulario de ensayo por fatiga rotativa.

Botón	Tipo de herramienta	Denominación	Observaciones
Conectar puerto	Button	Conectar	Abre puerto serial para comunicación con Arduino.
Carga aplicada	Text Box	tbCarga	Permite visualizar el eso de carga del formulario anterior

Tabla 3. 14. Continuación

Diámetro de la probeta	Text Box	tb Diámetro	Ingreso de valor por teclado
Peso de carga	Button	Button 3	Envía valor “a” a Arduino para lectura de celda de carga
Límite de resistencia a la fatiga Se'	Text Box	tbSe1	Visualización del Se'
Ka	Text Box Combo Box	tbka cbSuperficie	Muestra los tipos de acabado superficial. Permite visualización del valor ka
Kb	Text Box	tbkb	Permite visualización del valor kb
Kc	Text Box	tbkc	Permite visualización del valor kc
Kd	Text Box	tbkd	Permite visualización del valor kd
Ke	Text Box	tbke	Permite visualización del valor ke
Kf	Text Box	tbkf	Permite visualización del valor kf
Límite de resistencia a la fatiga Se	Text Box	tbSe	Permite visualización del valor Se
Esfuerzo por flexión Sm	Text Box	tbSe	Permite visualización del valor Sm
Constante a	Text Box	tba	Permite visualización de la constante a
Constante b	Text Box	tbb	Permite visualización de la constante b
calcular	Button	Button1	Comprueba que se haya seleccionado un tipo de acabado superficial para proceder con el cálculo caso contrario aparece un mensaje de pantalla “seleccione un acabado superficial del material.” Calcula todos los valores de Se' con “b”.

Tabla 3. 14. Continuación

Iniciar Ensayo	Button	Butt on3	Abre el puerto serial y envía al Arduino la orden para iniciar ensayo con “b” Activa el botón RESULTADOS y desactiva el mismo.
Nuevo ensayo	Button	Button 2	Compara el número de formularios totales requeridos. Si el número de ensayos es menor al número de ensayos requeridos se abre nuevamente el formulario de ensayos por fatiga rotativa, caso contrario abre Formulario de RESUMEN DE RESULTADOS.

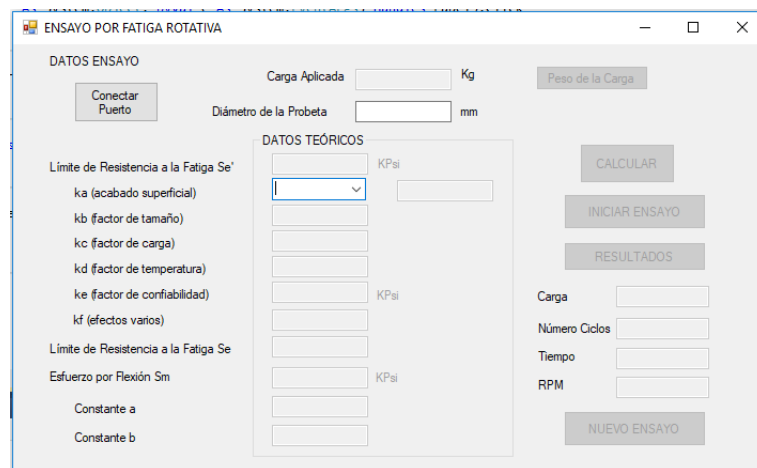


Figura 3. 30 Pantalla de ensayo por fatiga rotativa

6) Formulario de resumen de resultados

Este formulario permite visualizar los resultados obtenidos al final de la práctica. En la Figura 3.31, se visualiza la estructura de la pantalla, la misma que contiene las siguientes herramientas.

Tabla 3. 15 Herramientas utilizadas para el diseño de formulario de resumen de resultados

Botón	Tipo de herramienta	Denominación	Observaciones
Tabal	DataGridView	DataGridView1	Permite visualizar un resumen de todos los datos obtenidos en el ensayo.

Tabla 3. 15. Continuación

Datos en Excel	Button	Button1	Configura hoja de Excel con datos obtenidos en los ensayos. Despliega un cuadro de dialogo.
Gráficas	Button	Button2	Abre ventana gráfica

Fuente: Autor

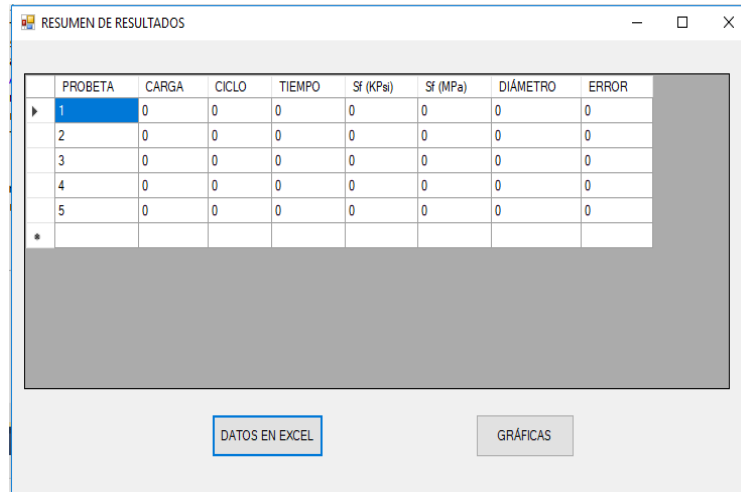


Figura 3. 31. Pantalla de resumen de resultados

7) Formulario de la Gráfica

Este formulario permite visualizar la gráfica, número de ciclos (N) vs Resistencia a la Fatiga (S). En la Figura 3.32, se visualiza la estructura de la pantalla, la misma que contiene las siguientes herramientas.

Tabla 3. 16 Herramientas utilizadas para el diseño de formulario de la gráfica

Botón	Tipo de herramienta	Denominación	Observaciones
Gráfica	PictureBox	PictureBox 1	Muestra graficas N° de ciclos vs Resistencia a la Fatiga S

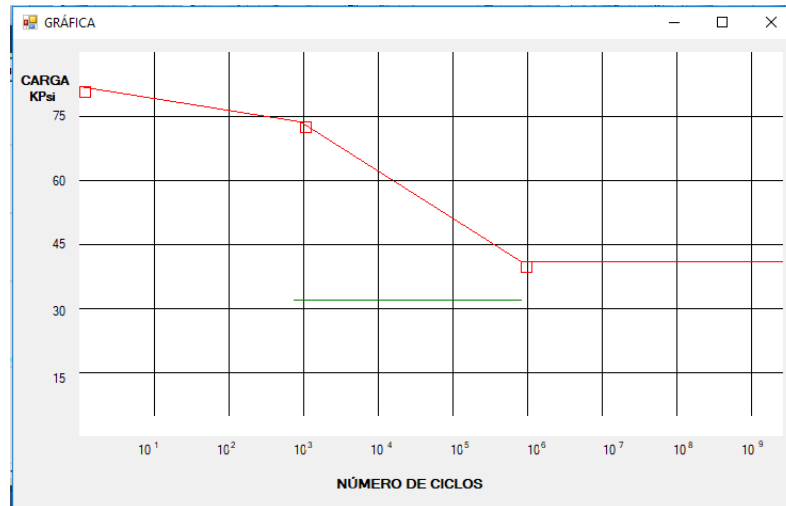


Figura 3. 32. Pantalla de resultados

3.2.3. Pruebas y Resultados

1) Preparación de probetas

Las probetas para los ensayos a fatiga de flexión rotativa son construidas bajo estándares de normas realizados por ASTM (American Society for Testing and Materials), para este proyecto se ha enfocado en la norma ASTM E606 ver Anexo D1.

La norma ASTM E606 está destinada a ser una guía para evaluar la resistencia a fatiga de varios elementos mecánicos ya sea para investigaciones, desarrollo de materiales, diseño mecánico, entre otros. Por lo tanto, este método evalúa la resistencia a tensión cíclica de 1000 a 1000000 ciclos.

Las pruebas de fatiga se realizan usando una máquina de ensayos de resistencia tensión compresión. El material a ensayar debe ser mecanizado y pulido de una forma rigurosa cumpliendo lo que estipula la norma.

Las dimensiones de la probeta se muestran en la Figura 3.33, las probetas fueron máquinas en torno CNC a partir de un eje redondo de 20 mm de diámetro, siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM E606 apartado, (X3. EXAMPLE OF MACHING PROCEDURE), Anexo D 1.

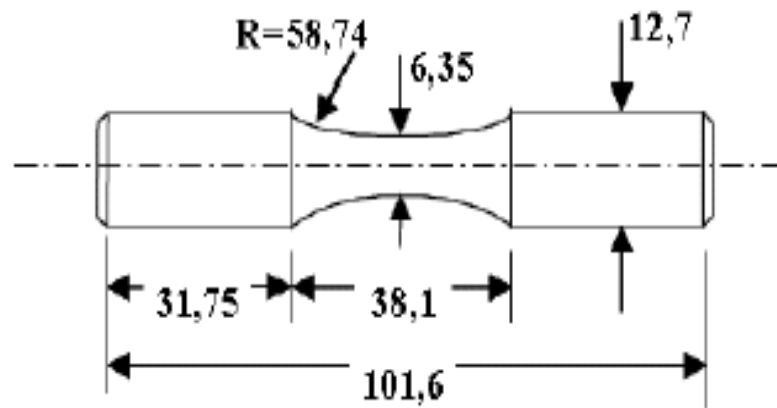


Figura 3. 33. Dimensiones finales de la probeta

Fuente: [39]

El mecanizado de las probetas se lo realizo hasta llegar a 0.025 mm del diámetro final. Seguidamente se realizó un pulido con mucha meticulosidad en una dirección axial con el fin de evitar rayaduras circunferenciales, así se da forma al diámetro final. Las lijas utilizadas son; 100, 150, 220, 320, 600 y 1000.

Para realizar el cálculo correspondiente se considera las propiedades mecánicas del acero AISI 1045 tomadas de [17].

Datos técnicos del acero.

$$S_{ut} = 92.425 Kpsi (637.26 Mpa)$$

$$S_e = 0.5 S_{ut}$$

Ec. 3.3

$$S_e = 46125 Kpsi (318.019 Mpa)$$

Finalmente, se estable un formato para la toma de datos y resultados, esto nos permite un correcto manejo de la información para cada ensayo realizado durante el desarrollo del proyecto.

2) Resultados obtenidos en los Ensayo

Tabla 3. 17. Especificaciones técnicas del acero



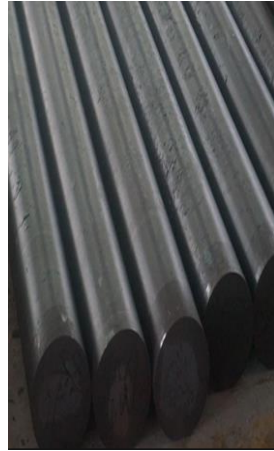
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Probeta N°:	00	Autorizado:	Ing. Mauricio Carrillo	Realizado:	Egdo. Cristian Ramirez	
Lugar:	Lab. Materiales FICM		Fecha:	12/11/2018		
Temperatura del ambiente:			20°C	Flujo de aire:		
Especificaciones del Acero como viene de fabrica						
Especificación material:	Acer o	Tipo:	AISI 1045			
Diámetro:	20 mm	Resistencia a la tracción:	637,26 MPa			
Longitud:	2 m	Dureza:	200-235			
Características:	Eje					
Observaciones						
<p>Todas las propiedades del acero AISI 1045 son tomadas de [17]. Se adquirió un eje de diámetro de 20 mm debido a que en el mercado local resulto complicado la adquisición de un eje de acero AISI 1045 con diámetro menor a 20 mm.</p>						

Tabla 3. 18. Ensayo a fatiga rotativa #1




		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Datos Informativos					RE 001	
Probeta N°:	001	Autorizado:	Ing. Mauricio Carrillo	Realizado:	Egdo. Cristian Ramirez	
Lugar:	Lab. Materiales FICM		Fecha:	17/12/2018		
Temperatura del ambiente:			20 °C	Flujo aire:		
Especificaciones de la Probeta a Ensayar						
Especificación material:	Acero	Tipo:	AISI 1045			
Diámetro:	7.6 mm	Resistencia a la tracción:	637,26 MPa			
Longitud:	105 mm	Dureza:	200-235			
Características:		Eje				
Carga:	12 Kg		# Ciclos (N):	4850		

Tabla 3.18. Continuación

Observaciones
<p>El número de ciclos obtenidos para el primer ensayo mediante la programación realizada es confiable ya que se encuentra en rango de ciclos altos, permitiendo comparar este resultado con alguna fuente bibliográfica cuya máquina de ensayos a fatiga rotativa ya se encuentre calibrada.</p>
Cálculo de la Resistencia a la Fatiga
$S_f = 10^c N^b$
$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.858 * S_{ut}}{S_e}$
$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.858(92.426 \text{ Kpsi})}{46.213 \text{ Kpsi}}$
$b = -0.068$
$c = \log \frac{(0.858 * S_{ut})^2}{S_e}$
$c = \log \frac{(0.858 * 92.426)^2 \text{ Kpsi}}{46.213 \text{ Kpsi}}$
$c = 2.073$
$S_f = 10^{2.073} N^{-0.078}$
$S_f = 10^{2.073} 4850^{-0.078}$
$S_f = 61.025 \text{ Klb/in}^2$
$S_f = 420.76 \text{ MN/m}^2$

Tabla 3. 19. Ensayo a fatiga rotativa #2



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Datos Informativos					RE 002	
Probeta N°:	002	Autorizado:	Ing. Mauricio Carrillo	Realizado:	Egdo. Cristian Ramirez	
Lugar:	Lab. Materiales FICM		Fecha:	17/12/2018		
Temperatura del ambiente:			20 °C	Flujo aire:		
Especificaciones de la Probeta a Ensayar						
Especificación material:	Acero	Tipo:	AISI 1045			
Diámetro:	7.6 mm	Resistencia a la tracción:	637,26 MPa			
Longitud:	105 mm	Dureza:	200-235			
Características:		Eje				
Carga:	12.5 Kg		# Ciclos (N):	4802		



Tabla 3.19. Continuación

Observaciones
<p>El número de ciclos obtenidos para el segundo ensayo mediante la programación realizada es confiable ya que se encuentra en rango de ciclos altos, permitiendo comparar este resultado con alguna fuente bibliográfica cuya máquina de ensayos a fatiga rotativa ya se encuentre calibrada.</p>
Cálculo de la Resistencia a la Fatiga
$S_f = 10^c N^b$
$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.858 * Sut}{Se}$
$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.858(92.426 \text{ Kpsi})}{46.213 \text{ Kpsi}}$
$b = -0.068$
$c = \log \frac{(0.858 * Sut)^2}{Se}$
$c = \log \frac{(0.858 * 92.426)^2 \text{ Kpsi}}{46.213 \text{ Kpsi}}$
$c = 2.073$
$S_f = 10^{2.073} N^{-0.078}$
$S_f = 10^{2.073} 4802^{-0.078}$
$S_f = 61.073 \text{ Klb/in}^2$
$S_f = 421.083 \text{ MN/m}^2$

Tabla 3. 20. Ensayo a fatiga rotativa #3

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Datos Informativos					RE 003	
Probeta N°:	003	Autorizado:	Ing. Mauricio Carrillo	Realizado:	Egdo. Cristian Ramirez	
Lugar:	Lab. Materiales FICM		Fecha:	17/12/2018		
Temperatura del ambiente:			20 °C	Flujo aire:		
Especificaciones de la Probeta a Ensayar						
Especificación material:	Acero	Tipo:	AISI 1045			
Diámetro:	7.6 mm	Resistencia a la tracción:	637,26 MPa			
Longitud:	105 mm	Dureza:	200-235			
Características:		Eje				
Carga:	13 Kg		# Ciclos (N):	4750		

Tabla 3.20. Continuación

Observaciones
El número de ciclos obtenidos para el tercer ensayo mediante la programación realizada es confiable ya que se encuentra en rango de ciclos altos, permitiendo comparar este resultado con alguna fuente bibliográfica cuya máquina de ensayos a fatiga rotativa ya se encuentre calibrada.
Cálculo de la Resistencia a la Fatiga
$S_f = 10^c N^b$
$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.858 * Sut}{Se}$
$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.858(92.426 \text{ Kpsi})}{46.213 \text{ Kpsi}}$
$b = -0.068$
$c = \log \frac{(0.858 * Sut)^2}{Se}$
$c = \log \frac{(0.858 * 92.426)^2 \text{ Kpsi}}{46.213 \text{ Kpsi}}$
$c = 2.073$
$S_f = 10^{2.073} N^{-0.078}$
$S_f = 10^{2.073} 4750^{-0.078}$
$S_f = 61.123 \text{ Klb/in}^2$
$S_f = 421.441 \text{ MN/m}^2$

Tabla 3. 21. Ensayo a fatiga rotativa # 4

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Datos Informativos						RE 004
Probeta N°:	004	Autorizado:	Ing. Mauricio Carrillo	Realizado:	Egdo. Cristian Ramirez	
Lugar:	Lab. Materiales FICM		Fecha:	17/12/2018		
Temperatura del ambiente:			20 °C	Flujo de aire:		
Especificaciones de la Probeta a Ensayar						
Especificación material:	Acero	Tipo:	AISI 1045			
Diámetro:	7.6 mm	Resistencia a la tracción:	637,26 MPa			
Longitud:	105 mm	Dureza:	200-235			
Características:		Eje				
Carga:	13.5 Kg		# Ciclos (N):	4671		

Tabla 3.21. Continuación

Observaciones
<p>El número de ciclos obtenidos para el cuarto ensayo mediante la programación realizada es confiable ya que se encuentra en rango de ciclos altos, permitiendo comparar este resultado con alguna fuente bibliográfica cuya máquina de ensayos a fatiga rotativa ya se encuentre calibrada.</p>
Cálculo de la Resistencia a la Fatiga
$S_f = 10^c N^b$
$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.858 * Sut}{Se}$
$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.858(92.426 \text{ Kpsi})}{46.213 \text{ Kpsi}}$
$b = -0.068$
$c = \log \frac{(0.858 * Sut)^2}{Se}$
$c = \log \frac{(0.858 * 92.426)^2 \text{ Kpsi}}{46.213 \text{ Kpsi}}$
$c = 2.073$
$S_f = 10^{2.073} N^{-0.078}$
$S_f = 10^{2.073} 4671^{-0.078}$
$S_f = 61.205 \text{ Klb/in}^2$
$S_f = 421.993 \text{ MN/m}^2$

Tabla 3. 22. Ensayo a fatiga rotativa # 5




		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Datos Informativos					RE 005	
Probeta N°:	005	Autorizado:	Ing. Mauricio Carrillo	Realizado:	Egdo. Cristian Ramirez	
Lugar:	Lab. Materiales FICM		Fecha:	17/12/2018		
Temperatura del ambiente:			20 °C	Flujo aire:		
Especificaciones de la Probeta a Ensayar						
Especificación material:	Acero	Tipo:	AISI 1045			
Diámetro:	7.6 mm	Resistencia a la tracción:	637,26 MPa			
Longitud:	105 mm	Dureza:	200-235			
Características:		Eje				
Carga:	15 Kg	# Ciclos (N):	3959			

Tabla 3.22. Continuación

Observaciones
<p>El número de ciclos obtenidos para el quinto ensayo mediante la programación realizada es confiable ya que se encuentra en rango de ciclos altos, permitiendo comparar este resultado con alguna fuente bibliográfica cuya máquina de ensayos a fatiga rotativa ya se encuentre calibrada.</p>
Cálculo de la Resistencia a la Fatiga
$S_f = 10^c N^b$
$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.858 * Sut}{Se}$
$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.858(92.426 \text{ Kpsi})}{46.213 \text{ Kpsi}}$
$b = -0.068$
$c = \log \frac{(0.858 * Sut)^2}{Se}$
$c = \log \frac{(0.858 * 92.426)^2 \text{ Kpsi}}{46.213 \text{ Kpsi}}$
$c = 2.073$
$S_f = 10^{2.073} N^{-0.078}$
$S_f = 10^{2.073} 3959^{-0.078}$
$S_f = 62 \text{ Klb/in}^2$
$S_f = 427.472 \text{ MN/m}^2$

3) Interpretación de resultados

Para interpretar cada uno de los resultados realizados en la máquina de ensayos se ha considerado varios medios de comparación como; Carga (kg), tiempo (s), diámetro (mm), número de ciclos (N) y otros parámetros con el fin de observar cómo se comporta el acero AISI 1045 a fatiga y como se da la ocurrencia de falla.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos mediante la adquisición de datos en la máquina de ensayos a fatiga que se encuentra en los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, ver Tabla 3.23.

Tabla 3. 23. Resultados obtenidos con la máquina repotenciada.

Probeta	Carga (Kg)	N° Ciclos	tiempo (s)	Diámetro (mm)	S (MPa)
1	12	4850	194	7,6	420,76
2	12,5	4802	183	7,6	421,083
3	13	4750	176	7,6	421,441
4	13,5	4671	163	7,6	421,993
5	15	3959	136	7,6	427,472

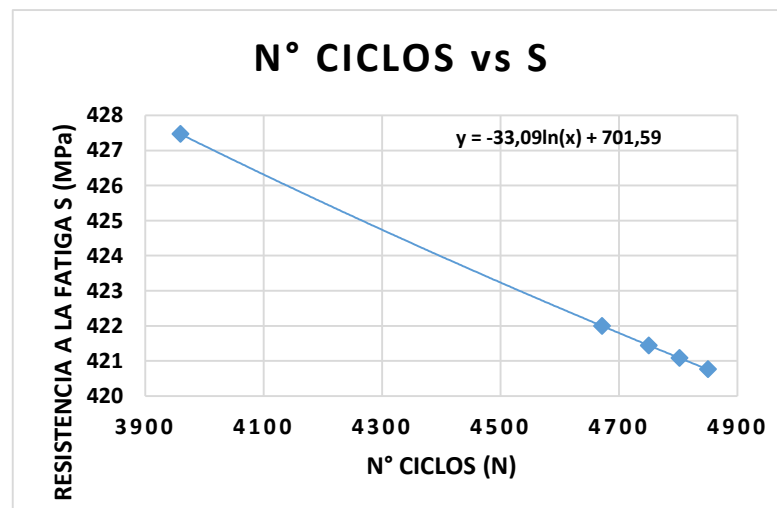


Figura 3. 34. Resultados obtenidos con la máquina repotenciada.

En la Figura 3.34, se visualiza el diagrama; número de ciclos (N) vs Resistencia a la fatiga (S) del acero AISI 1045. Aquí se observa cómo se comporta el acero para cada ensayo realizado lo cual se interpreta de la siguiente forma; la resistencia a la fatiga disminuye a medida que el número de ciclos aumenta hacia la zona de vida finita que corresponde a 10^6 , y cuando la resistencia a la fatiga del acero aumenta el número de ciclos disminuye acercándose al inicio de la zona de ciclos altos que corresponde a 10^3 ciclos.

Regresión S-N [40]

La ecuación que expresa el esfuerzo en la probeta como función del número de ciclos es la siguiente:

$$S = aN^b$$

Ec. 3.4

En dónde:

S= amplitud de esfuerzo en Mega Pascales MPa

N: número de ciclos de carga hasta la falla

Tomando logaritmo decimal en la ecuación anterior tenemos:

$$\text{Log } S = \text{Log } a + b \text{ Log } N$$

Ec. 3.5

En la que haremos

$$Y = \text{Log } S$$

$$b_0 = \text{Log } a$$

$$X = \text{Log } N$$

Regresión lineal de los datos:

$$y = b_0 + b_1x$$

Ec. 3.6

Pendiente

$$b_1 = \frac{n \sum xy - \sum x * \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Ec. 3.7

Ordenada del origen

$$b_0 = \frac{\sum x^2 * \sum y - \sum x * \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Ec. 3.8

Con estas fórmulas procedemos con el cálculo de la regresión:

Tabla 3. 24 Regresión lineal N vs S

N° CICLOS	S (MPa)	x^2	x*y
4850	420,76	23522500	2040686
4802	421,083	23059204	2022040,57
4750	421,441	22562500	2001844,75
4671	421,993	21818241	1971129,3
3959	427,472	15673681	1692361,65
Sumatoria	23032	2112,749	106636126
n	5		
b₁	-0,00758		
b₀	457,466		

Donde la ecuación resultante es:

$$S = 457,466 - 0.00758N$$

Ec. 3.9

Para la verificación estadística se utiliza el conocido método de t estudent, para lo cual enunciamos las formulas necesarias para realizar este análisis estadístico.

Para el cálculo del estadístico T, en primer lugar, se calcula el promedio de las diferencias muestrales.

$$\bar{d} = \frac{\sum di}{n}$$

Ec. 3.10

Luego la cuasi varianza es:

$$Sd^2 = \frac{\sum(di - \bar{d})^2}{n - 1}$$

Ec. 3.11

La desviación estándar muestral de las diferencias muestrales es Sd . Y por último el estadístico es:

$$T = \frac{\bar{d}}{Sd/\sqrt{n}}$$

Ec. 3.12

Los valores se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 3. 25 Valores estadísticos

N	S esperado	S calculado	di	(di-d med)^2
3000	434,670	434,726	-0,056	0,001
4000	427,070	427,146	-0,076	0,006
4700	421,750	421,840	-0,090	0,008
4800	420,990	421,082	-0,092	0,008
5000	419,470	419,566	-0,096	0,009
Datos n	5			
d media	-0,082			
Sd^2	0,008			
Sd	0,089766363			
T	-2,042608915			

Entonces como $T > t$, es decir $-2,043 > -2,78$, se acepta la hipótesis, por lo tanto, para un nivel de significancia del 0.025 Anexo F5 el estudio estadístico realizado nos indica que nuestros datos están dentro del rango de aceptación por esto los datos obtenidos pueden ser utilizados en diseño mecánico.

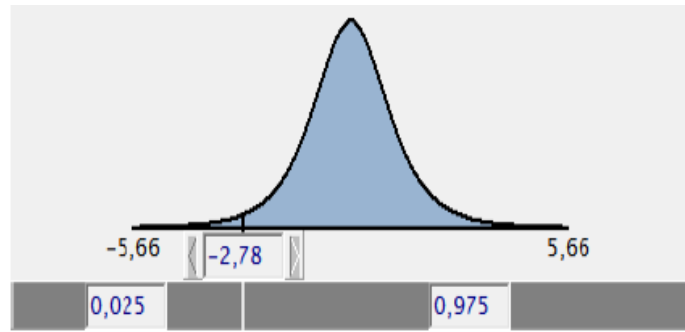


Figura 3. 35. Gráfico estadístico de una cola

4) Comparación de resultado

A continuación, se realiza una comparación de resultados con ensayos realizados a fatiga rotativa mediante una máquina R.R. Moore calibrada y esos resultados se comparan con la máquina automatizada para determinar el error existente mediante la gráfica S-N.

De la de tesis de [4], quien realiza los ensayos a fatiga rotativa en la Universidad Politécnica Nacional obteniendo los siguientes resultados.

En la Tabla 3.26, especifica el número de ensayos realizados, la carga, tiempo a la que se fractura cada probeta, diámetro, número de ciclos y la resistencia a la fatiga.

Tabla 3. 26. Resultados obtenidos de una máquina calibrada

# de ensayo	Q (kg)	t(s)	d (in)	# de ciclos	S (MPa)
1	15	110	7,52	2929	442,12
2	13,5	139	7,58	3949	432,69
3	13	164	7,6	4548	428,76
4	12,5	170.22	7,52	4676	427,12
5	12	197.28	7,56	4915	425,55

Fuente: [4]

En la Figura 3.36, se observa el comportamiento de esfuerzo vida del acero AISI 1045.

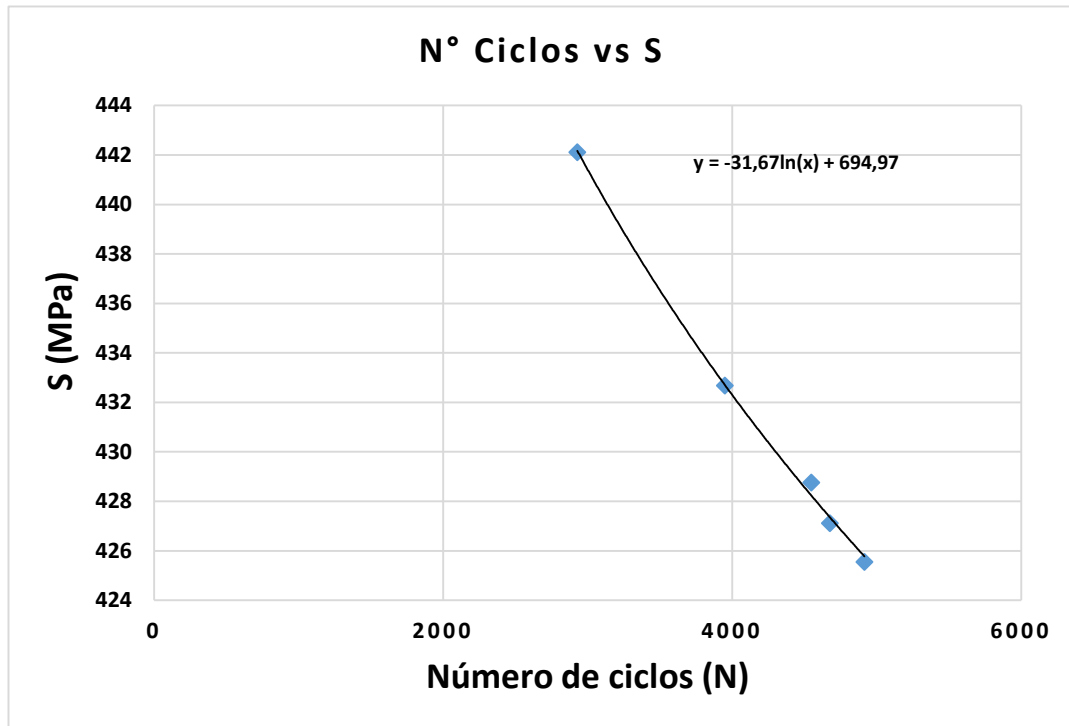


Figura 3. 36. Resultados obtenidos de una máquina calibrada

Fuente: [4]

Seguidamente se toma los datos de la resistencia a la fatiga de ambos ensayos y se compara para poder determinar el porcentaje de error absoluto existente mediante la siguiente Ecuación.

$$\%Error = \left| \left(1 - \frac{S_{Polí}}{S_{UTA}} \right) * 100 \right|$$

Ec. 3.13

En la Tabla 3.27, se encuentran los datos reales obtenidos de cada ensayo y en la última columna específica el porcentaje de error absoluto obtenido entre la Resistencia a la Fatiga del acero AISI 1045 realizada en la Politécnica Nacional y la Resistencia a la Fatiga realizada en la UTA.

Tabla 3. 27. Comparación de resultados

Nº ensayo	CARGA (Kg)	S _{UTA} (MPa)	S _{Poli} (MPa)	% ERROR
1	12	420,76	425,55	1,14
2	12,5	421,083	427,12	1,43
3	13	421,441	428,76	1,74
4	13,5	421,993	432,69	2,53
5	15	427,472	442,12	3,43
SUMATORIA				10,27

En la tabla se comparan las resistencias a la fatiga de los dos ensayos realizados sacando el error mediante la ecuación, obteniendo el error más bajo del 1.14% que corresponde al primer ensayo y el error más alto del 3.43% que corresponde al quinto ensayo

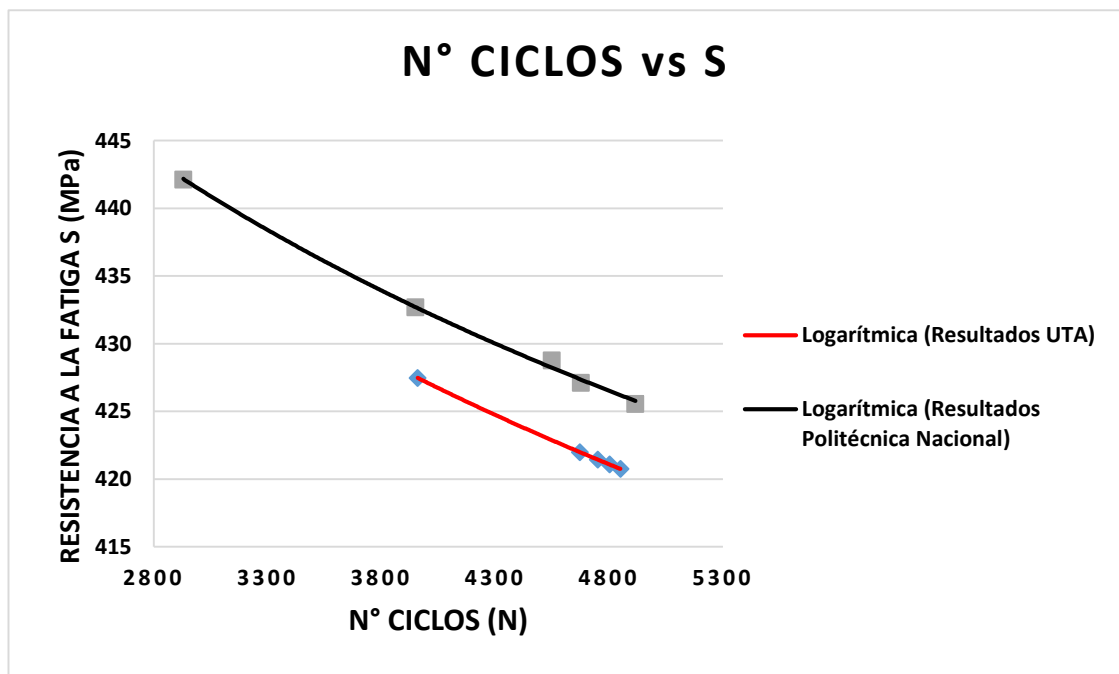


Figura 3. 37. Comparación de resultados

En la Figura 3.37, se observa que las líneas de tendencia se encuentran separadas y ese es el límite de error que existe y debe ser calculado. Sin embargo, se observa que en las dos líneas de tendencia la resistencia a la fatiga disminuye a medida que el número de ciclos aumenta hacia la zona de vida finita que corresponde a 10^6 , y cuando la resistencia a la fatiga del acero aumenta el número de ciclos disminuye acercándose al inicio de la zona de ciclos altos que corresponde a 10^3 ciclos.

Para calcular el error promedio de todos los ensayos se lo realiza mediante la siguiente ecuación.

$$\%Error_{prom} = \frac{\sum Error \%}{n}$$

$$\%Error_{prom} = \frac{10.27}{5}$$

$$\%Error_{prom} = 2.054$$

Según la investigación de [13], El error estándar de estimación es de 9.995%. Entonces, el error promedio obtenido mediante la comparación de resultados corresponde al 2.054%, lo que significa que; mediante la máquina repotenciada se puede obtener resultados confiables para su respectivo análisis.

3.3. Presupuesto

En este apartado se detalla cada uno de los costos ya sean directos como: (costos mecánicos, costos eléctricos y de control) o indirectos como: (costos misceláneos, y costos de máquinas y equipos). Estos costos se detallan con la finalidad de tener una idea más clara de la inversión final que tendría la repotenciación para este tipo de máquinas.

Cabe recalcar que cada uno de los elementos adquiridos son precios referenciales a la fecha de culminación del proyecto y no se debe considerar como valores definitivos.

3.3.1. Costos directos

En la Tabla 3.28, se visualiza los costos de los materiales mecánicos utilizados para; acoplar elementos, mejorar la estética y material para realizar los respectivos ensayos. Se detalla la descripción de cada elemento, cantidad, precio unitario y su valor total para la respectiva adquisición.

Tabla 3. 28. Costos de materiales mecánicos.

Costos de materiales mecánicos			
Descripción	Cantidad	Precio U	Valor total
Reductor	1	30	30
Platinas (m)	1	6,5	6,5
Pernos (varias medidas)	12	0,25	3
Eje de acero AISI 1045 (m)	4	8,54	34,16
Barra de acero A36 (m)	1	2,5	2,5
Base anticorrosiva	1	6,3	6,3
Thinner 2lt	2	1,8	3,6
Pintura 1lt	1	14	14
Varios	1	20	20
TOTAL			\$120,06

En la Tabla 3.29, se visualiza los costos de los materiales eléctricos y electrónicos utilizados para la adquisición de datos. Se detalla la descripción de cada elemento, cantidad, precio unitario y su valor total para la respectiva adquisición.

Tabla 3. 29. Costos materiales eléctricos y de control.

Costos de materiales eléctricos y de control			
Descripción	Cantidad	Precio U	Valor total
Celda de carga	1	60	60
Amplificador AD620	1	8,5	8,5
Arduino UNO	1	13	13
Socket y Borneras	1	1,8	1,8
Resistencias	3	0,15	0,45
Placa de circuito impreso	1	25	25
Cable de impresora A-B	1	12	12
Relé Térmico	1	12	12
Pulsador	1	7	7
Luz piloto	2	1,5	3
Fin de carrera	1	2	2
Cables 4 hilos (m)	4	1,35	5,4
Varios	1	20	50
TOTAL			\$200,15

3.3.2. Costos indirectos

Los costos indirectos se han considerado a aquellos que no se ven afectados directamente para la construcción. En la Tabla 3.30, se visualiza los costos misceláneos detallados con la descripción y el valor total.

Tabla 3. 30. Costos misceláneos

Costos de misceláneos	
Descripción	Valor total
Internet Impresiones y copias	140
Transporte y Comida	300
Otros gastos	50
TOTAL	\$490

Fuente: Autor

En la Tabla 3.31, se visualiza los costos de los de las máquinas y herramientas incluyendo mano de obra que fueron utilizadas para: soldar elementos, perforar, remachar, pulir, torneado, etc. Los precios por hora que se detallan en la tabla son consideras valores reales tomados de los laboratorios de mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Tabla 3. 31. Costos de uso de máquinas y equipos

Costo de uso máquinas y equipos			
Descripción	Cantidad (hora)	Precio U	Valor total
Torno CNC	8	12,5	100
Torno manual	14	10,5	147
Otros	4	5	20
TOTAL			\$267

3.3.3. Costo total

Una vez obtenido la sumatoria de los costos directos indirectos se elabora la Tabla 3.32, con la finalidad de conocer la inversión total que tiene la elaboración del presente proyecto, teniendo como resultado un valor final de mil setenta dólares americanos.

Tabla 3. 32. Costo total del proyecto

Costo total del proyecto	
Descripción	total
Costos de materiales mecánicos	\$120,06
Costos de materiales eléctricos y de control	\$200,15
Costos de misceláneos	\$490
Costo de uso máquinas y equipos	\$267
TOTAL	\$1077,21

3.4. Especificaciones técnicas de la máquina

En la Tabla 3.33, se muestran las especificaciones técnicas de la máquina para ensayos a fatiga rotativa en ciclos altos. Es necesario mencionar que varios de los datos técnicos son tomados de [4].

Tabla 3. 33. Especificaciones técnicas de la máquina

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FICHA TÉCNICA		
Nombre del equipo:	Máquina para ensayos a Fatiga Rotativa	
Área:	Laboratorio de Materiales	
Fabricante:	Edo. Cristian Ramirez	
Modelo:	N/A	
Código	01-ME-18	
Año:	2018	
DATOS TÉCNICOS DE LA MÁQUINA		
Activación:	Manual	
Alimentación:	Bifásico 220V	
Capacidad de carga:	25Kg	
Potencia del motor:	1 HP	
Velocidad máxima:	3600 RPM	
Ambiente de trabajo:	9 a 35 °C	

Tabla 3.33 Continuación

Alto:	0.8 m
Ancho:	1.024 m
Anclaje	Pernos de sujeción
Tipo de trabajo :	Estado Estacionario
Transmisión de Potencia:	Unión por medio de acoples
Sujeción de la probeta :	Mediante mandriles
Sistema de apoyo de los ejes:	Chumaceras
Sistema de aplicación de carga:	Perno de potencia y celda de carga
Contador de ciclos	Electrónico
Comunicación de la máquina con la computadora	Cable de impresora USB A-B
Sistema de adquisición de datos	Visualizar curva S-N y tablas

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Partiendo de un análisis correspondiente de la máquina, resulto que muchos de los elementos tenían que ser acoplados a la misma como: encoder, sistema de carga, sensor de carga, fin de carrera, variador de frecuencia y todo su sistema eléctrico. Ya que de estos dependía su sistema de adquisición de datos.
- Mediante la automatización de la máquina se ha considerado realizar ensayos para aceros AISI 1045, sin embargo, se pueden cargar otros materiales que cumplan con los requerimientos de fatiga en ciclos altos y de esta manera ensayar varios materiales. Además, se consideró como datos de entrada ingresar; frecuencia, diámetro de la probeta, carga y número de ensayos, para así obtener el límite de resistencia a la fatiga, el tiempo, los ciclos, y las revoluciones por minuto en que se rompió la probeta; datos necesarios para elaborar una gráfica S-N que refleje el comportamiento del acero sometido a cargas cíclicas.
- Los resultados de las prácticas realizadas con el acero AISI 1045 fueron satisfactorios, los mismos que fueron evaluados con análisis de ensayos de la Universidad Politécnica Nacional. En la comparación final se obtiene un error de 1.14% a 3.43% que se encuentra por debajo del error de confiabilidad para el análisis de resistencia a la fatiga que es el 9.995%, concluyendo de esta forma que la máquina repotencia arroja datos confiables y puede ser utilizada para realizar ensayos a fatiga.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda que antes de empezar con la práctica se debe leer el manual de usuario donde se detalla paso a paso el procedimiento para tener una práctica satisfactoria.

- Antes de montar cada probeta verificar que no esté aplicado carga, esto puede afectar al momento de alinear los mandriles.
- Para la construcción de las probetas verifique que el acabado superficial cumpla lo que estipula la norma, si se presenta ralladuras o muescas no se debe tomar en cuenta a la probeta caso contrario los resultados no serán válidos.
- Revisar que las probetas se encuentren correctamente ajustada con los mandriles ya que por las vibraciones se pueden aflojar y producir errores al momento de ejecutarse el ensayo.
- Si se produce algún tipo de error en la lectura de datos realizar un chequeo de los componentes de la máquina tanto eléctricos como electrónicos siguiendo minuciosamente el manual de mantenimiento que se detalla en los anexos.
- Al momento de ingresar los datos verifique que sean los correctos, casos contrarios existirá errores en los resultados.
- Al momento de ingresa la carga verificar que se encuentre encerada para poder partir desde la carga estipulada que es 3.6 kg.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Avilés, J. Albizuri, A. Rodríguez, and L. N. López de Lacalle, “Influence of low-plasticity ball burnishing on the high-cycle fatigue strength of medium carbon AISI 1045 steel,” *Int. J. Fatigue*, vol. 55, pp. 230–244, Oct. 2013.
- [2] M. Marín, A. Porrello, C. Alfonzo, and S. Cabello-Sequera, “Determinación de la curva S-N-P a través del método Maennig para el acero AISI 1045 sometido a un tratamiento térmico de normalizado,” *Rev. Ing. UC*, vol. 21, no. 3, pp. 38–44, 2014.
- [3] E. Pérez-López and E. Pérez-López, “Los sistemas SCADA en la automatización industrial,” *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 28, no. 4, p. 3, Dec. 2015.
- [4] C. E. Simbaña Castañeda, “Estudio de fatiga en ciclos altos en el acero AISI 1045 para determinar la ocurrencia de falla cumpliendo normas ASTM E-606,” 2013.
- [5] R. A. López and C. M. Cholo, “Diseño de un sistema de control y automatización de una máquina axial-torsional de ensayo de materiales,” 2010.
- [6] B. Borja, C. Darwin, and A. T. Calle, “Automatización de la máquina de ensayos de fatiga para el laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,” 2017.
- [7] P. M. Espejo Velasco, “Sistema de control y adquisición de señales con hardware y software libre y su incidencia en la industria.,” 2017.
- [8] R. L. Norton, *Diseño de máquinas : un enfoque integrado*. Pearson Education, 2011.
- [9] “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley - R. Budynass, J. Nisbett - 8ed.pdf.” .

- [10] T. N. Roman and C. New, “Materials Science and Engineering Materials Science and Engineering,” pp. 1–12, 2010.
- [11] A. E. Fernandez Carmigniani, “Universidad tecnica estatal de quevedo,” p. 172, 2015.
- [12] D. J. Wilson Fernando and F. R. Cuichán Simba, “Rediseño y construcción de la máquina de viga rotatoria sometida a flexión para ensayos de resistencia a la fatiga,” 2008.
- [13] R. M. Siza Simbaña and D. M. Chango Moreta, “Diseño y construcción de una máquina para realizar ensayo de fatiga por flexión rotativa utilizando pc,” 2012.
- [14] “Standard Test Method for.”
- [15] R. H. Gmbh, “P iii e,” *Z. Papyrologie Epigraphik*, vol. 91, pp. 83–84, 1992.
- [16] “Aceros Bravo - SAE 1045.” [Online]. Available: <http://www.acerosbravo.cl/productos-pro.php?idcat=2&idpro=49>. [Accessed: 03-May-2018].
- [17] Cía. General de Aceros, “Ficha técnica Acero AISI / SAE: 1020 - AISI / SAE: 1045,” 2015.
- [18] W. Bolton and R. Bautista Gutierrez, *Mecatrónica : sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica*. Marcombo, 2001.
- [19] D. G. Alciatore and M. B. Histan, *Introducción a la mecatrónica y los sistemas de medición*. McGraw-Hill, 2008.
- [20] “sensor+inductivo.J (388×221).” [Online]. Available: <http://2.bp.blogspot.com/-ABxaeL9UTWI/VKsxok5JNUI/AAAAAAAAABcw/uAlJ4wRAUYs/s1600/sensor%2Binductivo.J>. [Accessed: 09-May-2018].
- [21] Sensing, “Sensores de distancia inductivos,” 2018. [Online]. Available:

- http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-distancia_36/Sensores-de-distancia-inductivos_312/. [Accessed: 09-May-2018].
- [22] B. Borja, C. Darwin, and A. T. Calle, “Automatización de la máquina de ensayos de fatiga para el laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,” 2017.
- [23] “ABC de la Mecatronica - Steren - 1ra Edición.” [Online]. Available: <https://www.elsolucionario.org/abc-la-mecatronica-steren-1ra-edicion/>. [Accessed: 07-May-2018].
- [24] H. Por and R. Cobo, “EL ABC DE LA AUTOMATIZACION.”
- [25] H. Uriel, V. Gonzalez, M. Pinto, and A. Acreditador, “MICROPROCESADORES Y MICROCONTROLADORES,” 2009.
- [26] “PICmicro® MCU Estudio - ¿qué es un microcontrolador?” [Online]. Available: <http://www.electronicaestudio.com/microcontrolador.htm>. [Accessed: 07-May-2018].
- [27] “Comunicación Serial: Conceptos Generales - National Instruments.” [Online]. Available: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>. [Accessed: 08-May-2018].
- [28] OMRON, “Encoder rotativo incremental E6B2-C.”
- [29] OMRON, “SYSDRIVE inverters.”
- [30] SPARC (Organization) and Universidad Tecnológica de Pereira., *Scientia et technica*. Universidad Tecnológica de Pereira, 1995.
- [31] Sensortronics, “S-Beam Load Cell Model 60001.”
- [32] V. Tedeo-Huntleigh, “Single Point Aluminum Load Cell Model 1022.”

- [33] Arduino, “Que es arduino,” 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- [34] A. Devices, “Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier AD620 APPLICATIONS Weigh scales ECG and medical instrumentation Transducer interface Data acquisition systems Industrial process controls Battery-powered and portable equipment CONNECTION DIAGRAM,” 2003.
- [35] A. Devices, “Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier AD620 APPLICATIONS Weigh scales ECG and medical instrumentation Transducer interface Data acquisition systems Industrial process controls Battery-powered and portable equipment CONNECTION DIAGRAM,” 2003.
- [36] “engranaje conico helicoidal - Buscar con Google.” [Online]. Available: https://www.google.com.ec/search?q=engranaje+conico+helicoidal&rlz=1C1GGRV_esEC766EC766&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=chBK523avbLpnM%253A%252C3ppxzdl6GzRnWM%252C_&usg=AI4_-kTXBDIPuh4TWmW_ze8Rbbj28sXMMQ&sa=X&ved=2ahUKEwjIIOOknvPFAhWLYlkKHV8MBGcQ9QEwAXoECAM. [Accessed: 16-Jan-2019].
- [37] “SharpDevelop.” [Online]. Available: <https://sharpdevelop.uptodown.com/windows>. [Accessed: 16-Jan-2019].
- [38] “SharpDevelop.” .
- [39] F. Del, A. Sae, and W. F. Ceballos, “Sinergia Entre Alta Rugosidad Superficial Y Ambiente Corrosivo En El Comportamiento a La the Synergism Between High Superficial Roughness and Corrosive Atmosphere in the Fatigue Behavior of the Sae 1045 Steel,” pp. 91–100, 2007.
- [40] Ing. Jorgr Patricio Guamanquispe Toasa, “Estudio del comportamiento a fatiga mecánica del Teflon y Nylon para tdeterminar la relacion esfuerzo-

numero de ciclos bajo la aplicación de cargas variables y su influencia en el diseño de maquinas,” Universidad Técnica de Ambato, 2012.

ANEXOS A (ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES)

Anexo A1, Propiedades químicas del acero AISI 1045

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43	0.6	0.04	0.05	0.2
	0.50	0.9			0.4

Anexo A2 Propiedades mecánicas del acero AISI 1045

Resistencia a la tracción	65 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	32 kg/mm ²
Elongación, A5	min 10%
Reducción de área	40 %
Dureza	220 - 235

Anexo A3 Tratamiento térmico del acero AISI 1045

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850 - 1100	Arena seca
Normalizado	856 - 900	Aire
Recocido total	815 - 885	Horno
Recocido posterior al trabajo en frío	595 - 662	Horno luego aire
Temple (*)	815 - 870	Agua - aceite
Revenido		Aire

Anexo A4 Maquinabilidad del acero AISI 1045

PROFUNDIDAD DE CORTE mm	TORNEADO				
	ACERO RÁPIDO		HERRAMIENTA DE CARBURO		
	Velocidad m/min	Avance mm/rev	Soldado velocidad m/min	Insertado velocidad m/min	Avance mm/rev
Dureza, 125 a 175 HB					
1	43	0.18	140	180	0.18
4	35	0.40	110	140	0.50
8	27	0.50	85	110	0.75
16	11	0.75	67	85	1.00
Dureza, 175 a 225 HB					
1	40	0.18	130	160	0.18
4	30	0.40	100	125	0.50
8	26	0.50	78	100	0.75
16	20	0.75	60	78	1.00

**ANEXO B (ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES
ELECTRÓNICOS)**

Anexo B1

Especificaciones técnicas del Encoder

Ratings and Specifications

Item	Model	E6B2-CWZ6C	E6B2-CWZ5B	E6B2-CWZ3E	E6B2-CWZ1X
Power supply voltage		5 VDC -5% to 24 VDC +15%, ripple (p-p): 5% max.	12 VDC -10% to 24 VDC +15%, ripple (p-p): 5% max.	5 VDC -5% to 12 VDC +10%, ripple (p-p): 5% max.	5 VDC ±5%, ripple (p-p): 5% max.
Current consumption *1		80 mA max.	100 mA max.		160 mA max.
Resolution (pulses/rotation)		10, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 200, 300, 360, 400, 500, 600, 720, 800, 1,000, 1,024, 1,200, 1,500, 1,800, 2,000	100, 200, 360, 500, 600, 1,000, 2,000	10, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 200, 300, 360, 400, 500, 600, 1,000, 1,200, 1,500, 1,800, 2,000	10, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 200, 300, 360, 400, 500, 600, 1,000, 1,024, 1,200, 1,500, 1,800, 2,000
Output phases		Phases A, B, and Z			Phases A, \bar{A} , B, \bar{B} , Z, and \bar{Z}
Phase difference between outputs		90°±45° between A and B (1/4 T ± 1/8 T)			
Output configuration		NPN open-collector output	PNP open-collector output	Voltage output (NPN output)	Line driver output *2
Output capacity		Applied voltage: 30 VDC max. Sink current: 35 mA max. Residual voltage: 0.4 V max. (at sink current of 35 mA)	Applied voltage: 30 VDC max. Source current: 35 mA max. Residual voltage: 0.4 V max. (at source current of 35 mA)	Output resistance: 2 kΩ Sink current: 20 mA max. Residual voltage: 0.4 V max. (at sink current of 20 mA)	AM26LS31 equivalent Output current High level: $I_o = -20$ mA Low level: $I_s = 20$ mA Output voltage: $V_o = 2.5$ V min. $V_s = 0.5$ V max.
Maximum response frequency *3		100 kHz	50 kHz	100 kHz	
Rise and fall times of output		1 μs max. (Control output voltage: 5 V, Load resistance: 1 kΩ, Cable length: 2 m max.)	1 μs max. (Cable length: 2 m max., Sink current: 10 mA)		0.1 μs max. (Cable length: 2 m max., $I_o = -20$ mA, $I_s = 20$ mA)
Starting torque		0.98 mN·m max.			
Moment of inertia		1×10 ⁻⁶ kg·m ² max.; 3 × 10 ⁻⁷ kg·m ² max. at 600 P/R max.			
Shaft load-ing	Radial	30 N			
	Thrust	20 N			
Maximum permissible speed		6,000 r/min			
Protection circuits		Power supply reverse polarity protection, Load short-circuit protection			---
Ambient temperature range		Operating: -10 to 70°C (with no icing), Storage: -25 to 85°C (with no icing)			
Ambient humidity range		Operating/Storage: 35% to 85% (with no condensation)			
Insulation resistance		20 MΩ min. (at 500 VDC) between current-carrying parts and case			
Dielectric strength		500 VAC, 50/60 Hz for 1 min between current-carrying parts and case			
Vibration resistance		Destruction: 10 to 500 Hz, 150 m/s ² or 2-mm double amplitude for 11 min 3 times each in X, Y, and Z directions			
Shock resistance		Destruction: 1,000m/s ² 3 times each in X, Y, and Z directions			
Degree of protection		IEC 60529 IP50			
Connection method		Pre-wired Models (Standard cable length: 500 mm)			
Materials		Case: ABS, Main unit: Aluminum, Shaft: SUS420J2			
Weight (packed state)		Approx. 100 g			
Accessories		Coupling, Hexagonal wrench, Instruction manual			

*1. An inrush current of approximately 9 A will flow for approximately 0.3 ms when the power is turned ON.

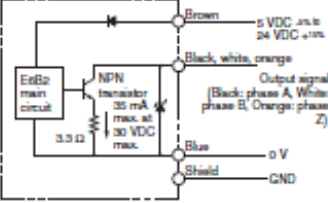
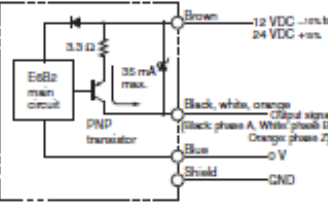

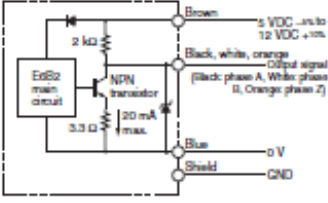
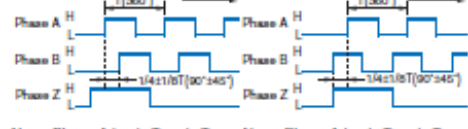
*2. The line driver output is a data transmission circuit compatible with RS-422A and long-distance transmission is possible with a twisted-pair cable. The quality is equivalent to AM26LS31.

*3. The maximum electrical response speed is determined by the resolution and maximum response frequency as follows:

$$\text{Maximum electrical response speed (rpm)} = \frac{\text{Maximum response frequency}}{\text{Resolution}} \times 60$$

This means that the E6B2-C Rotary Encoder will not operate electrically if its speed exceeds the maximum electrical response speed.

I/O Circuit Diagrams

Model/Output Circuits	Output mode	Connection												
<p>E6B2-CWZ6C</p>  <p>E6B2-CWZ5B</p> 	<p>E6B2-CWZ6C NPN Open-collector Output Model E6B2-CWZ5B PNP Open-collector Output Model</p> <p>Direction of rotation: CW (as viewed from end of shaft) Direction of rotation: CCW (as viewed from end of shaft)</p>  <p>Note: Phase A is $1/4 T \pm 1/8 T$ faster than phase B. The ONs in the above timing chart mean that the output transistor is ON and the OFFs mean that the output transistor is OFF.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Color</th> <th>Terminal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Brown</td> <td>Power supply (+Vcc)</td> </tr> <tr> <td>Black</td> <td>Output phase A</td> </tr> <tr> <td>White</td> <td>Output phase B</td> </tr> <tr> <td>Orange</td> <td>Output phase Z</td> </tr> <tr> <td>Blue</td> <td>0 V (common)</td> </tr> </tbody> </table>	Color	Terminal	Brown	Power supply (+Vcc)	Black	Output phase A	White	Output phase B	Orange	Output phase Z	Blue	0 V (common)
Color	Terminal													
Brown	Power supply (+Vcc)													
Black	Output phase A													
White	Output phase B													
Orange	Output phase Z													
Blue	0 V (common)													
<p>E6B2-CWZ3E</p> 	<p>E6B2-CWZ3E Voltage Output Model</p> <p>Direction of rotation: CW (as viewed from end of shaft) Direction of rotation: CCW (as viewed from end of shaft)</p>  <p>Note: Phase A is $1/4 T \pm 1/8 T$ faster than phase B. Note: Phase A is $1/4 T \pm 1/8 T$ slower than phase B.</p>													

Anexo B2

Especificaciones técnicas del Variador de Frecuencia

Technical data

230 V Class

Single-phase: 3G3EV-AB_MA-CUE		AB001	AB002	AB004	AB007	AB015	
Three-phase: 3G3EV-A2_M-E		A2001	A2002	A2004	A2007	A2015	
Maximum allowed motor output	kW	0,1	0,25	0,55 (0,4)*	1,1 (0,75)*	1,5 (1,1*)	
Output data	Inverter output	kVA	0,3	0,6	1,1	1,9	2,6
	Output rated current	A	0,8	1,5	3,0	5,0	7,0
	Max. output voltage	three-phase proportional to the input voltage: 200 to 240 V					
	Output frequency	0,5...400 Hz					
Supply	Rated input voltage and frequency	single-phase: 200...240 V, 50/60 Hz three-phase: 200...230 V, 50/60 Hz					
	Max. voltage variation	-15 % to +10 %					
	Max. frequency variation	+ 5 %					
Weight	kg	0,6	0,9	1,3	1,3	2,0	

* with single phase connection for EV-A2 type

400 V Class

3G3EV-A4_MA-CUE, input: three-phase		A4002	A4004	A4007	A4015	
Maximum allowed motor output	kW	0,37	0,55	1,1	1,5	
Output data	Inverter output	kVA	0,9	1,4	2,6	3,7
	Output rated current	A	1,2	1,8	3,4	4,8
	Max. output voltage	three-phase proportional to the input voltage: 380 to 460 V				
	Output frequency	0,5...400 Hz				
Supply	Rated input voltage and frequency	three-phase: 380...460 V, 50/60 Hz				
	Max. voltage variation	-15 % to +10 %				
	Max. frequency variation	+ 5 %				
Weight	kg	0,8	1,0	1,5	2,0	

3G3EV inverter

Technical data (continued)

General details

Control functions	Output frequency range	0,5...400 Hz
	Frequency accuracy (temperature fluctuation)	digital command : • 0,01% at -10•C to 50•C analogue command : 1% at 25•C • 10•C
	Digital inputs	NPN/PNP switchable 24 VDC, 8 mA (terminal S1-S3)
	Auxiliary voltage output	12 VDC, 20 mA (terminal FS)
	Relay output	250 VAC/30 VDC, 1 A max. (terminal MA, MB, MC)
	Overload capacity	150% of the output rated current for 1 minute
	Frequency reference default	0...10 V = (20 k•) or 4...20 mA (250 •)
	Accelerating and braking times	0...999 s (values can be set separately for acceleration and braking ramp)
	Braking torque	approximately 20% (with braking resistor: 125% to 220%) continuously
	Protective functions	Stall prevention	Stall prevention during the acceleration and braking phase, and also at assigned frequency can be programmed separately
Instantaneous overcurrent		when 250% of the rated output current is exceeded, the motor coasts to stop
Overload		at 150% of the rated output current the motor runs down to a halt after 1 minute
Earth fault		via electronic circuit
Protection against motor overload		electronic thermal protection against overload
Ambient conditions	Type of protection	IP20
	Cooling	self-cooling
	Operating temperature	-10•C to +50•C (without frozen-fog formation)
	Humidity	90% rel. humidity (without condensation)

Modbus model (3G3EV-A_MA-CUE)*

Communication	modbus protocol
Speed	19,2 kbps
Number of slaves	32 max.
Transmission	transposed 2 wire lead, RS-485

* can only be used in connection with the 3G3EV-PJVOP485 adapter

Technical data (continued)

	Standard model	Multifunction model (modbus)
Number of defined inputs	2	2
Number of free programmable inputs	1	3
Programmable with:		
three-wire sequence	NO	YES
fault reset	NO	YES
external fault	NO	A or B contact – optional
multifunction frequency	max. 2	max. 8
2 prog. ramp times	NO	YES
external controller block	NO	A or B contact – optional
choice of operating mode	NO	YES
order for blocking accel/braking	NO	YES
UP/DOWN function	NO	YES
REMOTE/LOCAL-switching function	NO	YES
JOG speed (creeping)	NO	YES
Relay output	1a, 1b contact (AC: 250 V, 1 A / DC: 30 V, 1 A)	1a, 1b contact (AC: 250 V, 1 A / DC: 30 V, 1 A)
Programmable opto-coupler output	0	1
Programmable with:		
fault	YES	YES
motor runs	YES	YES
$f_{ref} = f_{actual}$	NO	YES
zero speed	NO	YES
speed change	NO	YES
excess torque	NO	YES
controller block	NO	YES
insufficient voltage	NO	YES
speed search	NO	YES
Automatic new start	NO	max. 10 repeats
Output frequency limitation	NO	YES
Jump frequency	NO	max. 3 positions
Block for reverse turning direction	NO	YES
DC braking	on braking	on starting and braking
Slip compensation	NO	YES
Frequency reference value and amplification offset	YES	YES
Display (operator)	Fref, Fout, output current, fault	Fref, Fout, output current, fault
Forward/Reverse display (operator)	initialised with LED	initialised with LED
Analogue output monitor	NO	DC, 0 to 10 V (Fout or Iout)
Torque performance	150% from 1,5 Hz	150% from 1,5 Hz
Noise	extremely quiet	extremely quiet

Anexo B3

Especificaciones técnicas de la Celda de Carga



Single Point Aluminum Load Cell

Model 1022
Tedeia-Huntleigh

SPECIFICATIONS

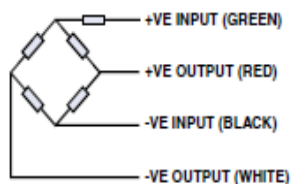
PARAMETER	VALUE				UNIT
	3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 35, 50, 100, 150, 200***				
Rated capacity-R.C. (E_{max})					kg
NTEP/OIML Accuracy class	NTEP	Non-Approved	C3*	C4	
Maximum no. of intervals (n)	5000 single**	1000	3000	4000	
$Y = E_{max}/V_{min}$	10000	1400	6000	10000	Maximum available 12000
Rated output-R.O.	2.0				mV/V
Rated output tolerance	0.2				±mV/V
Zero balance	0.2				±mV/V
Zero Return, 30 min.	0.0330	0.0300	0.0170	0.0125	±% of applied load
Total Error (per OIML R60)	0.0200	0.0500	0.0200	0.0150	±% of rated output
Temperature effect on zero	0.0023	0.0100	0.0023	0.0014	±% of rated output/°C
Temperature effect on output	0.0010	0.0030	0.0010	0.00075	±% of applied load/°C
Eccentric loading error	0.0057	0.0085	0.0057	0.0042	±% of rated load/cm
Temperature range, compensated	-10 to +40				°C
Temperature range, safe	-20 to +70				°C
Maximum safe central overload	150				% of R.C.
Ultimate central overload	300				% of R.C.
Excitation, recommended	10				Vdc or Vac rms
Excitation, maximum	15				Vdc or Vac rms
Input impedance	415±15				Ohms
Output impedance	350±3				Ohms
Insulation resistance	>2000				Mega-Ohms
Cable length	0.5				m
Cable type	4 wire, PVC, single floating screen				Standard
Construction	Aluminum				
Environmental protection	IP66				
Platform size (max)	350 x 350				mm
Recommended torque	Up to 30kg: 7.0 35kg & up: 10.0				N*m

* 50% utilization

** Also available at 50% utilization

*** 150-200kg are not approved by NTEP, 200kg is not approved by OIML

WIRING SCHEMATIC DIAGRAM
(UNBALANCED BRIDGE CONFIGURATION)



Anexo B4

Amplificador de señal AD620

AD620

SPECIFICATIONS

Typical @ 25°C, $V_s = \pm 15$ V, and $R_L = 2$ k Ω , unless otherwise noted.






Table 2.




Parameter	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S ¹			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
GAIN											
Gain Range	$G = 1 + (49.4 \text{ k}\Omega/R_L)$	1		10,000	1		10,000	1		10,000	
Gain Error ²	$V_{OUT} = \pm 10$ V										
G = 1			0.03	0.10		0.01	0.02		0.03	0.10	%
G = 10			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 100			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 1000			0.40	0.70		0.35	0.50		0.40	0.70	%
Nonlinearity	$V_{OUT} = -10$ V to $+10$ V										
G = 1–1000	$R_L = 10$ k Ω		10	40		10	40		10	40	ppm
G = 1–100	$R_L = 2$ k Ω		10	95		10	95		10	95	ppm
Gain vs. Temperature	G = 1			10			10			10	ppm/°C
	Gain > 1 ²			–50			–50			–50	ppm/°C
VOLTAGE OFFSET											
Input Offset, V_{OS}	(Total RTI Error = $V_{OS} + V_{OS}/G$) $V_s = \pm 5$ V to ± 15 V		30	125		15	50		30	125	μ V
Overtemperature	$V_s = \pm 5$ V to ± 15 V			185			85			225	μ V
Average TC	$V_s = \pm 5$ V to ± 15 V		0.3	1.0		0.1	0.6		0.3	1.0	μ V/°C
Output Offset, V_{OO}	$V_s = \pm 15$ V		400	1000		200	500		400	1000	μ V
Overtemperature	$V_s = \pm 5$ V to ± 15 V			1500			750			1500	μ V
Average TC	$V_s = \pm 5$ V to ± 15 V		5.0	15		2.5	7.0		5.0	15	μ V/°C
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)	$V_s = \pm 2.3$ V to ± 18 V										
G = 1		80	100		80	100		80	100		dB
G = 10		95	120		100	120		95	120		dB
G = 100		110	140		120	140		110	140		dB
G = 1000		110	140		120	140		110	140		dB
INPUT CURRENT											
Input Bias Current			0.5	2.0		0.5	1.0		0.5	2	nA
Overtemperature				2.5			1.5			4	nA
Average TC			3.0			3.0			8.0		pA/°C
Input Offset Current			0.3	1.0		0.3	0.5		0.3	1.0	nA
Overtemperature				1.5			0.75			2.0	nA
Average TC			1.5			1.5			8.0		pA/°C
INPUT											
Input Impedance											
Differential			10|Ω			10|Ω			10|Ω		G Ω _pF
Common-Mode			10|Ω			10|Ω			10|Ω		G Ω _pF
Input Voltage Range ³	$V_s = \pm 2.3$ V to ± 5 V	$-V_s + 1.9$		$+V_s - 1.2$	$-V_s + 1.9$		$+V_s - 1.2$	$-V_s + 1.9$		$+V_s - 1.2$	V
Overtemperature		$-V_s + 2.1$		$+V_s - 1.3$	$-V_s + 2.1$		$+V_s - 1.3$	$-V_s + 2.1$		$+V_s - 1.3$	V
	$V_s = \pm 5$ V to ± 18 V	$-V_s + 1.9$		$+V_s - 1.4$	$-V_s + 1.9$		$+V_s - 1.4$	$-V_s + 1.9$		$+V_s - 1.4$	V
Overtemperature		$-V_s + 2.1$		$+V_s - 1.4$	$-V_s + 2.1$		$+V_s + 2.1$	$-V_s + 2.3$		$+V_s - 1.4$	V

ANEXO C (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA)

Anexo C1

Manual de operación

MANUAL DE USUARIO		
Encendido	<ul style="list-style-type: none">• Verificar que la máquina esté conectada en un interruptor bifásico con un voltaje de 220V• Mover la perilla ON del relé térmico para permitir el paso de corriente hacia el sistema de potencia de la máquina.• Una vez movido la perilla ON verifique que la luz piloto se active.	  
Velocidad de motor	<ul style="list-style-type: none">• Ingrese manualmente la frecuencia (Hz) a la que desee trabajar. Tomar en cuenta que la frecuencia a trabajar dependerá del material a ensayar.	
Probeta	<ul style="list-style-type: none">• Antes de montar cada probeta es necesario verificar que la placa fuerza no esté sometido a ninguna carga.• Coloque la probeta• Ajuste los mandriles hasta que su agarre de la probeta sea homogéneo.• Verifique que estén alineados los mandriles.	

<p>Interfaz</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Instale el programa ejecutable en la computadora que se va a trabajar. • Conecte la computadora con el Arduino mediante un cable USB de impresora. • Abra interfaz • Ingrese los datos correspondientes para cada ensayo • Configure el puerto serial 	
<p>Carga</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique que la carga se encuentre encerrada esto se muestra en la interfaz gráfica. • Aplique la carga girando el tornillo hasta que la interfaz muestre la carga a la cual desee realizar el ensayo. 	
<p>Apagado</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Retire los restos de la probeta. • Desconecte la interfaz gráfica. • Mueva la perilla OFF del relé térmico. • Desenchufar la máquina. 	
<p>NOTA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si el paro de emergencia es accionado los datos adquiridos de ese ensayo no serán tomados en cuenta. • Es necesario cumplir con número de ensayos ≤ 5 para que la gráfica se pueda mostrar. 		

Anexo C2

Manual de mantenimiento

MANTENIMIENTO DEL EQUIPO			
Sistema	Componentes	Periodo de mantenimiento	Mantenimiento
Sistema de control	Variador de velocidades	Cada práctica	Revisar cables, programación y conexión del variador.
		Cada 2 meses	Limpieza de suciedad
	Arduino	Cada práctica	Revisar ajuste de borneras
		Cada 2 meses	Revisar continuidad en borneras
Sistema eléctrico	Relé Térmico	Si es necesario	Cambio de fusibles
	Enchufes	Si es necesario	Cambio de enchufe
	Pilotos	Si es necesario	Cambio de luz piloto
Sistema mecánico	Mandril	Cada mes	Lubricación con grasa 3/5
	Chumaceras	Cada práctica	Ajuste y revisión que no exista juego
	Acople	Cada práctica	Revisar que se encuentre perfectamente ajustado
NOTA: Antes y después de cada ensayo se debe realizar una limpieza de la máquina.			

Anexo C3

Posibles fallas

Posibles Fallas			
Descripción	Problema	Causa	Solución
Motor eléctrico	No enciende	Motor defectuoso	Chequear Bobinado
		Cables sueltos	Verifique ajustes y conexión de cables
Motor eléctrico	No enciende	Fusibles del circuito quemados	Cambio de fusibles
		Error en el variador	Reset variador
Vibración	Exceso de vibración	Alineación	Verifique la alineación motor con el eje
		Acoples	Verifique que las prisiones se encuentren correctamente ajustados.
		Elastomérico	El elastomérico desgastado (cambio).
		Rodamientos	Rodamientos desgastados (cambio)
		Chumaceras	Rodamientos o chumaceras desgastadas (cambio).
Sobrecalentamiento	Sobrecalentamiento del motor	Excesivo tiempo de operación	Apague el motor.
		Ventilador no funciona	Verifique que se encuentre con todos sus elementos y limpie.
		Rejilla de operación atascada	Limpie rejilla.
Contador de ciclos	Contador de ciclos no funciona	Cables sueltos	Revisar conexiones y ajustar cables
		Separación en el acople del sensor.	Verifique que el sensor este correctamente acoplado.
		Sensor defectuoso	Cambio de sensor.

Probeta	Probeta insegura en el mandril	Mandril defectuoso	Cambio de mandril
		Mal ajuste	Realice un correcto ajuste de tal forma que la que no exista movimiento de la probeta.
Sensor de carga	No mide carga	Cables sueltos	Revisar conexiones y ajustar cables
		Sensor defectuoso	Cambio de sensor
		Mala posición	Verifique que el sensor este correctamente ubicado
Máquina de ensayos	No se apaga al culminar ensayos	Fin de carrera mal ubicado	Verifique que el sensor este correctamente ubicado
		Cables sueltos	Revisar conexiones y ajustar cables
		Sensor defectuoso	Cambio de sensor

ANEXO D (NORMAS)

Anexo D1

Norma para Ensayos a Fatiga Rotativa ASTM E-606



Designation: E606/E606M – 12

Standard Test Method for Strain-Controlled Fatigue Testing¹

This standard is issued under the fixed designation E606/E606M; 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 reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of fatigue properties of nominally homogeneous materials by the use of test specimens subjected to uniaxial forces. It is intended as a guide for fatigue testing performed in support of such activities as materials research and development, mechanical design, process and quality control, product performance, and failure analysis. While this test method is intended primarily for strain-controlled fatigue testing, some sections may provide useful information for force-controlled or stress-controlled testing.

1.2 The use of this test method is limited to specimens and does not cover testing of full-scale components, structures, or consumer products.

1.3 This test method is applicable to temperatures and strain rates for which the magnitudes of time-dependent inelastic strains are on the same order or less than the magnitudes of time-independent inelastic strains. No restrictions are placed on environmental factors such as temperature, pressure, humidity, medium, and others, provided they are controlled throughout the test, do not cause loss of or change in dimension with time, and are detailed in the data report.

Note: 1.—The term *inelastic* is used herein to refer to all nonelastic strains. The term *plastic* is used herein to refer only to the time-independent (that is, noncreep) component of inelastic strain. To truly determine a time-independent strain the force would have to be applied instantaneously, which is not possible. A useful engineering estimate of time-independent strain can be obtained when the strain rate exceeds some value. For example, a strain rate of $1 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$ is often used for this purpose. This value should increase with increasing test temperature.

1.4 This test method is restricted to the testing of uniform gage section test specimens subjected to axial forces as shown in Fig. 1(a). Testing is limited to strain-controlled cycling. The test method may be applied to hourglass specimens, see Fig. 1(b), but the user is cautioned about uncertainties in data analysis and interpretation. Testing is done primarily under constant amplitude cycling and may contain interspersed hold

times at repeated intervals. The test method may be adapted to guide testing for more general cases where strain or temperature may vary according to application specific histories. Data analysis may not follow this test method in such cases.

1.5 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

2. Referenced Documents

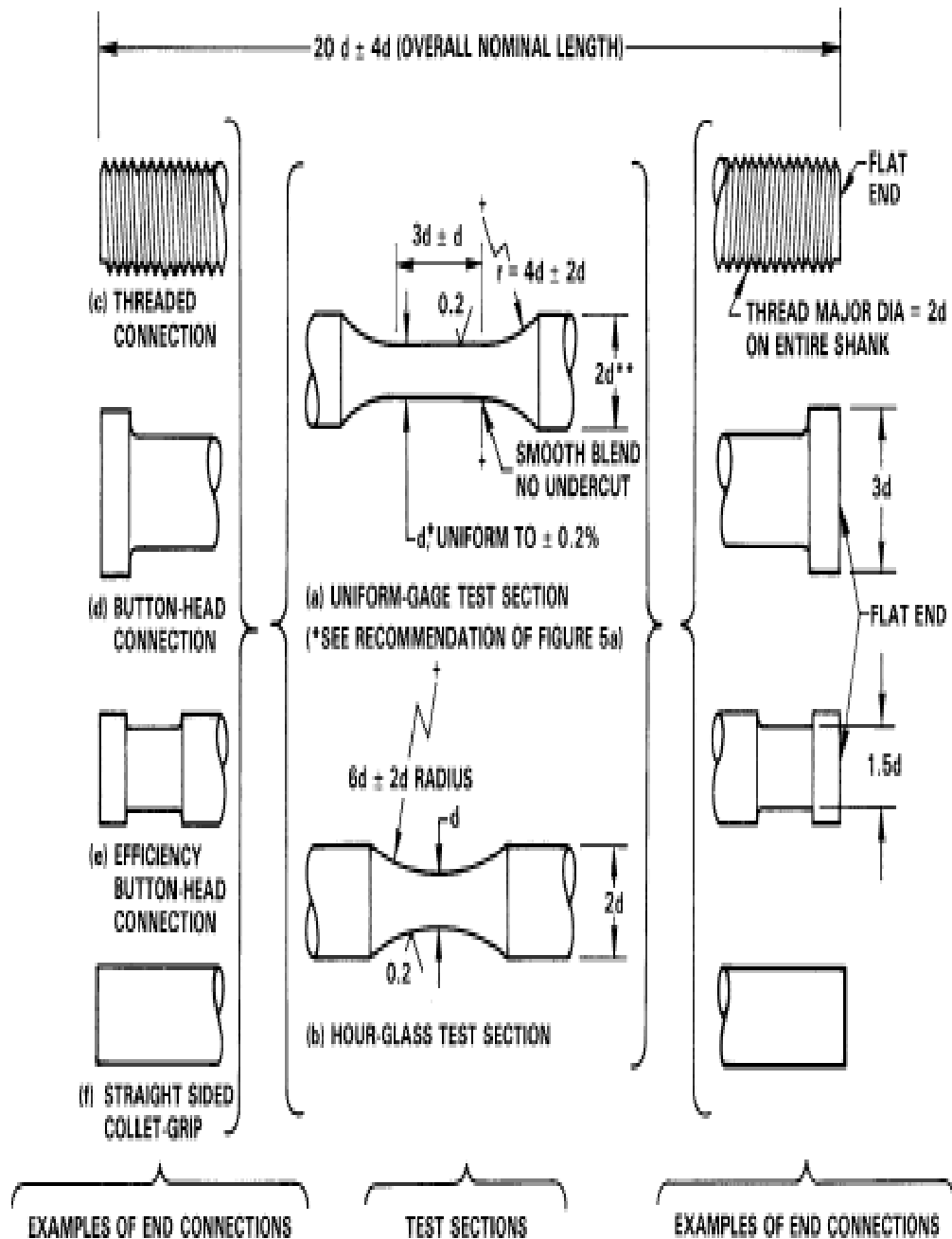
2.1 ASTM Standards:²

- A370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
- E3 Guide for Preparation of Metallographic Specimens
- E4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E8/E8M Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials
- E9 Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature
- E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- E111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus
- E112 Test Methods for Determining Average Grain Size
- E132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature
- E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E209 Practice for Compression Tests of Metallic Materials at Elevated Temperatures with Conventional or Rapid Heating Rates and Strain Rates
- E337 Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (the Measurement of Wet- and Dry-Bulb Temperatures)
- E384 Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials
- E399 Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness K_{Ic} of Metallic Materials

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E08 on Fatigue and Fracture and is the direct responsibility of Subcommittee E08.05 on Cyclic Deformation and Fatigue Crack Formation.

Current edition approved June 1, 2012. Published September 2012. Originally approved in 1977. Last previous edition approved in 2004 as E606 – 92(2004) ¹. DOI: 10.1520/E0606-04E01.

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.



NOTE 1—* Dimension d is recommended to be 6.35 mm (0.25 in.). See 7.1. Centers permissible. ** This diameter may be made greater or less than $2d$ depending on material hardness. In typically ductile materials diameters less than $2d$ are often employed and in typically brittle materials diameters greater than $2d$ may be found desirable.

NOTE 2—Threaded connections are more prone to inferior axial alignment and have greater potential for backlash, particularly if the connection with the grip is not properly designed.

X3. EXAMPLE OF MACHINING PROCEDURE

X3.1 The following procedure was developed for machining high-strength materials and results in minimal surface damage and alteration. It can also be applied to lower strength materials. As a conservative general measure, this procedure is recommended unless: (a) the experimental objective is to evaluate another given surface condition, or (b) it is known that the material under evaluation is relatively insensitive to surface condition.

X3.2 Procedure:

X3.2.1 In the final stages of machining to within 0.025 mm [0.001 in.] of the final diameter, remove small amounts of material and reduce the gage diameter 0.125 mm [0.005 in.] by cylindrical grinding at a rate of no more than 0.005 mm [0.0002 in.]/pass.

Note: X3.1—Some cast materials will not benefit from successive removal of material in small amounts, although this procedure is probably not to their detriment.

X3.2.2 Remove the final 0.025 mm [0.001 in.] by polishing (see Note X3.2) longitudinally to impart a maximum of 0.2- μ m [8- μ in.] surface roughness.

Note: X3.2—Extreme caution should be exercised in polishing to ensure that material is being properly removed rather than merely smeared to produce a smooth surface. This is a particular danger in soft materials

wherein material can be smeared over tool marks, thereby creating a potentially undesirable influence on crack initiation during testing.

X3.2.3 After polishing (see Note X3.2), all remaining grinding and polishing marks should be longitudinal. No circumferential machining should be evident when viewed at approximately 20 \times magnification under a light microscope.

X3.2.4 If specimen material is soft (for example, copper, aluminum, lead, etc.) at room temperature, final material removal can be performed by means of turning (rather than grinding) and subsequent polishing.

X3.2.5 Degrease the finished specimen. Caution should be exercised to assure that the degreasing agent does not alter material behavior (for example, methanol on titanium alloys).

X3.2.6 If heat treatment is necessary, conduct it before final machining or in such a manner as to avoid any surface damage; employ an inert protective atmosphere to eliminate surface oxidation.

X3.2.7 If surface observations are to be made, the test specimen may be electropolished in accordance with Methods E3.

X3.2.8 Imprint specimen numbers on both ends of the test section in regions of low stress, away from grip contact surfaces.

ANEXO E (SISTEMA DE CONTROL)

Anexo E1 Código ASCII

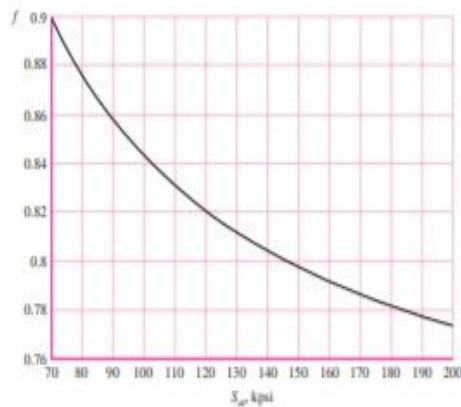
Caracteres ASCII de control			Caracteres ASCII imprimibles					
00	NULL	(carácter nulo)	32	espacio	64	@	96	`
01	SOH	(inicio encabezado)	33	!	65	A	97	a
02	STX	(inicio texto)	34	"	66	B	98	b
03	ETX	(fin de texto)	35	#	67	C	99	c
04	EOT	(fin transmisión)	36	\$	68	D	100	d
05	ENQ	(consulta)	37	%	69	E	101	e
06	ACK	(reconocimiento)	38	&	70	F	102	f
07	BEL	(timbre)	39	'	71	G	103	g
08	BS	(retroceso)	40	(	72	H	104	h
09	HT	(tab horizontal)	41	)	73	I	105	i
10	LF	(nueva línea)	42	*	74	J	106	j
11	VT	(tab vertical)	43	+	75	K	107	k
12	FF	(nueva página)	44	,	76	L	108	l
13	CR	(retorno de carro)	45	-	77	M	109	m
14	SO	(desplaza afuera)	46	.	78	N	110	n
15	SI	(desplaza adentro)	47	/	79	O	111	o
16	DLE	(esc.vínculo datos)	48	0	80	P	112	p
17	DC1	(control disp. 1)	49	1	81	Q	113	q
18	DC2	(control disp. 2)	50	2	82	R	114	r
19	DC3	(control disp. 3)	51	3	83	S	115	s
20	DC4	(control disp. 4)	52	4	84	T	116	t
21	NAK	(conf. negativa)	53	5	85	U	117	u
22	SYN	(inactividad sínc)	54	6	86	V	118	v
23	ETB	(fin bloque trans)	55	7	87	W	119	w
24	CAN	(cancelar)	56	8	88	X	120	x
25	EM	(fin del medio)	57	9	89	Y	121	y
26	SUB	(sustitución)	58	:	90	Z	122	z
27	ESC	(escape)	59	;	91	[	123	{
28	FS	(sep. archivos)	60	<	92	\	124	|
29	GS	(sep. grupos)	61	=	93	]	125	}
30	RS	(sep. registros)	62	>	94	^	126	~
31	US	(sep. unidades)	63	?	95	_		
127	DEL	(suprimir)						

ANEXO F (TABLAS Y GRÁFICAS)

Anexo F1 factor f

Figura 6-18

Fracción de resistencia a la fatiga, f , de S_w a los 10^7 ciclos para $S_w = S_e = 0.5S_u$.



Este proceso para encontrar f puede repetirse para diferentes resistencias últimas. En la figura 6-18 se presenta una gráfica de f para $70 \leq S_w \leq 200$ kpsi. Con el propósito de realizar un análisis conservador, para $S_w < 70$ kpsi, sea $f = 0.9$.

En el caso de un componente mecánico real, S'_f se reduce a S_e (vea la sección 6-9) que es menor que $0.5 S_w$. Sin embargo, a menos que haya datos disponibles, se recomienda usar el valor de f que se encontró en la figura 6-18. La ecuación (a), del componente mecánico real, puede escribirse en la forma

$$S_f = a N^b \quad (6-13)$$

donde N son los ciclos hasta la falla y las constantes a y b están definidas por los puntos 10^3 , $(S_f)_{10^3}$ y 10^6 , S_e con $(S_f)_{10^6} = f S_w$. Al sustituir estos dos puntos en la ecuación (6-13) se obtiene

$$a = \frac{(f S_w)^2}{S_e} \quad (6-14)$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{f S_w}{S_e} \right) \quad (6-15)$$

Si se produce un esfuerzo completamente invertido σ_w , haciendo $S_f = \sigma_w$ en la ecuación (6-13), el número de ciclos a la falla se expresa como

$$N = \left(\frac{\sigma_w}{a} \right)^{1/b} \quad (6-16)$$

A menudo la fatiga de ciclo bajo se define (vea la figura 6-10) como la falla que ocurre en un intervalo de $1 \leq N \leq 10^3$ ciclos. En una gráfica log-log, como la de la figura 6-10, el lugar geométrico de falla en este intervalo es casi lineal por debajo de los 10^3 ciclos. Una recta entre 10^3 , $f S_w$ y 1, S_w (transformada) es conservadora, y está dada por

$$S_f \geq S_w N^{(bq)/3} \quad 1 \leq N \leq 10^3 \quad (6-17)$$

Anexo F2 Acabado superficial

Tabla 6-2

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin, ecuación (6-19)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ur} kpsi	S_{ur} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272	-0.995

De C. J. Nail y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3, núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Hanger (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Anexo F3 Factor k_b

Factor de tamaño k_b

El factor de tamaño se evaluó en 133 conjuntos de puntos de datos.¹⁵ Los resultados para flexión y torsión pueden expresarse como

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (6-20)$$

Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual

$$k_b = 1 \quad (6-21)$$

Anexo F4 Factor de temperatura

Tabla 6-4

Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero.*
 (S_T = resistencia a la tensión a la temperatura de operación; S_{RT} = resistencia a la tensión a temperatura ambiente; $0.099 \leq \bar{\sigma} \leq 0.110$)

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

*Fuente de datos: figura 2-9.

Anexo F5 Tabla t student

Tabla 4-1 Tabla t-Student

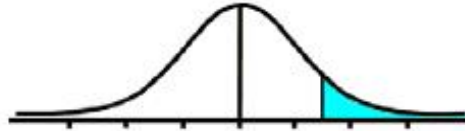


Tabla t-Student

t_0

Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385