



Mantenimiento electrónico y diseño del software en LABVIEW para la automatización de la máquina de impacto Charpy del laboratorio de materiales de la UAN sede Tunja

Jaime Andrés Fagua Hernández

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia
2020

Mantenimiento electrónico y diseño del software en LABVIEW para la automatización de la máquina de impacto Charpy del laboratorio de materiales de la UAN sede Tunja

Jaime Andrés Fagua Hernández

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electrónico

Director (a):

Doctor Leonel José Paredes Madrid

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2020

“Nuestros primeros esfuerzos son puramente instintivas incitaciones de una vívida e indisciplinada imaginación. Pero esos impulsos tempranos, aunque no son inmediatamente productivos, son del momento más grande y podrían darles forma a nuestros mismos destinos”

Nikola Tesla

Agradecimientos

Mi trabajo de grado se lo dedico a mi padre Servando Fagua Solano, a mi madre María Matilde Hernández y a mi hermana Lizeth Paola Fagua Hernández quienes con sus esfuerzos me brindaron todo su apoyo y cariño incondicional durante mi formación universitaria y me proporcionaron las mejores lecciones para la vida.

A mi tutor José Leonel Paredes Madrid, quien me guio durante el proceso de la realización de este proyecto y me brindó todos sus conocimientos para su desarrollo.

A mis compañeros y amigos con los que compartí grandes momentos y conocimientos durante el tiempo en la universidad y por su apoyo incondicional.

A la universidad y especialmente a los docentes que me dieron la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos a lo largo de la carrera, los cuales apliqué para realizar este trabajo de grado.

Resumen

El proyecto intitulado “Mantenimiento electrónico y diseño del software en LABVIEW para la automatización de la máquina de impacto Charpy del laboratorio de materiales de la UAN sede Tunja” tiene como objeto realizar la caracterización y reparación de una máquina de impactos Charpy, la cual en el momento no funciona debido a algunos problemas y pérdidas en su sistema electrónico, debido a que los estudiantes de Ingeniería Mecánica no cuentan con la herramienta para realizar pruebas de tipo Charpy, es necesario poner en funcionamiento la máquina y usar herramientas de software que faciliten la toma y análisis de los datos de las pruebas realizadas.

Consta en la revisión de los componentes electrónicos y su mantenimiento, seguido al desarrollo de un software en el cual se obtienen los datos de los sensores de la máquina por medio de una tarjeta de adquisición de datos de la marca National Instruments y se realiza la visualización y el control de la maquina en tiempo real por medio del programa LabVIEW 2016 para hacer pruebas de tipo Charpy.

Con la realización del proyecto se concluye que se puede hacer uso del software desarrollado durante este trabajo de grado para controlar la máquina y así realizar pruebas de impacto tipo Charpy con probetas de diferentes materiales.

Palabras clave: Prueba de impactos Charpy, software, probeta, tarjeta de adquisición de datos.

Abstract

The project entitled "Electronic maintenance and software design in LABVIEW for the automation of the Charpy impact machine of the materials laboratory of the UAN, Tunja headquarters" aims to carry out the characterization and repair of a Charpy impact machine which at the moment it does not work due to some problems and losses in its electronic system, the need arises because mechanical engineering students do not have the tool to perform Charpy type tests.

It consists of the revision of the electronic components and their maintenance followed by the development of a software in which data can be obtained from the machine's sensors by means of a National Instruments data acquisition card and visualization and control of the machine in real time through the LabVIEW 2016 program to do Charpy type tests.

With the completion of the project, it is concluded that the software developed during this degree work can be used to control the machine and thus carry out Charpy-type impact tests with specimens of different materials.

Keywords: Charpy shock test, software, test tube, data acquisition card.

Contenido

Introducción	16
Objetivo General.....	18
Objetivos específicos.....	18
1. Marco teórico.....	19
1.1 Prueba de impactos Charpy	19
1.2 Automatización.....	20
1.2.1 Sistema automatizado	20
1.2.2 Objetivos de la automatización	21
1.2.3 Tipos de automatización	21
1.3 Sistemas de control.....	22
1.3.1 Estrategia de control.....	24
1.4 Instrumentación industrial.....	25
1.5 Sensores.....	25
1.5.1 Características de los sensores	26
1.5.2 Sensores capacitivos.....	27
1.5.3 Sensores inductivos.....	27
1.5.4 Sensores magnéticos y electromagnéticos	27
1.5.5 Sensores térmicos y termoelectrónicos	27
1.6 Fuentes de alimentación	27
1.6.1 Fuente lineal	28
1.6.2 Fuentes conmutadas	28
1.7 Tarjetas de adquisición de datos (DAQ)	28
1.8 Convertidor Analógico Digital (ADC).....	29
1.9 Motores Eléctricos.....	29
1.9.1 Motor de Corriente Continua (DC)	30
1.9.2 Motor de corriente alterna (AC).....	30
1.10 LabVIEW (National Instruments)	31

X Mantenimiento electrónico y diseño del software en LABVIEW para la automatización de la máquina de impacto Charpy del laboratorio de materiales de la UAN sede Tunja

1.10.1	Áreas recomendadas para utilizar LabVIEW	31
1.11	Principio físico de la máquina de impactos Charpy	32
2.	Diseño Metodológico.....	34
2.1	Caracterización inicial de la máquina de impactos Charpy.....	34
2.1.1	Caracterización estructural de la máquina.....	35
2.1.2	Caracterización mecánica	36
2.1.3	Caracterización eléctrica	39
2.1.4	Caracterización electrónica	43
2.2	Revisión y mantenimiento electrónico.....	44
2.2.1	Tarjetas de acoplamiento	45
2.2.2	Tarjeta de adquisición de datos DAQ	46
2.2.3	Tablero indicador.....	47
2.2.4	Fuente de alimentación	48
2.2.5	Medición del voltaje en los componentes electrónicos.....	50
2.2.6	Entradas digitales.....	51
2.2.7	Entradas analógicas.....	53
2.2.8	Salidas digitales	55
2.3	Desarrollo del software en LabVIEW 2016.....	55
2.3.1	Definición de los puertos para las entradas y salidas de la tarjeta DAQ	55
2.3.2	Instrumentación y calibración del encoder.....	61
2.3.3	Estructura para realizar el programa	63
2.3.4	Programación del menú en LabVIEW.....	64
2.3.5	Programación de la parada de emergencia.....	75
3.	Análisis y resultados	78
3.1	Comparación con el software realizado anteriormente.....	78
3.1.1	Definición de los puertos	78
3.1.2	Entorno gráfico.....	79
3.2	Puesta en marcha de la máquina.....	80
3.3	Conexión de la tarjeta DAQ NI USB-6008.....	81
3.4	Tablero indicado	81
3.5	Prueba del software	82
3.5.1	Pestaña de Inicio.....	82
3.5.2	Pestaña para subir el péndulo	82
3.5.3	Pestaña para Iniciar Prueba	84
3.5.4	Pestaña de mantenimiento.....	84

3.5.5	Pestaña de Calibración.....	85
3.6	Pruebas al vacío	86
3.7	Pantalla de visualización del encoder.....	86
3.8	Prueba de la parada de emergencia y las guardas de protección	88
3.8.1	Parada de emergencia.....	88
3.8.2	Guardas liberadas	89
3.9	Mantenimiento del electro-embrague	89
3.10	Error en el sistema	90
3.10.1	Error en el convertidor analógico digital ADC.....	90
3.10.2	Error en el sensor Encoder	90
3.10.3	Error en la calibración por software.....	90
3.11	Procedimiento para realizar una prueba de impactos Charpy	91
3.11.1	Encendido de la maquina	91
3.11.2	Ejecución del software	91
3.11.3	Calibración del sensor (encoder)	91
3.11.4	Preparación del péndulo	91
3.11.5	Realización de la prueba	92
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	93
4.1	Conclusiones.....	93
4.2	Recomendaciones.....	94
5.	Bibliografía	95

Lista de figuras

Figura 1-1:	Esquema general de un sistema de control.	22
Figura 1-2:	Esquema de funcionamiento de un sistema de control.	23
Figura 1-3:	Control lazo cerrado vs Control lazo abierto.	24
Figura 1-4:	Los sentidos humanos.	26
Figura 1-5:	Partes de un sistema DAQ.	29
Figura 1-6:	Principio de la conservación de la energía.	32
Figura 2-1:	Máquina de impactos Charpy.	34
Figura 2-2:	Estado de la base.	35
Figura 2-3:	Perfiles tipo H de la máquina de impactos Charpy.	35
Figura 2-4:	Péndulo de la máquina de impactos Charpy.	36
Figura 2-5:	Eje de la máquina de impactos Charpy.	37
Figura 2-6:	Trinquete de la máquina de impactos Charpy.	37
Figura 2-7:	Moto reductor.	38
Figura 2-8:	Poleas y sistema de transmisión la máquina de impactos Charpy.	39
Figura 2-9:	Gabinete de control eléctrico.	39
Figura 2-10:	Motor trifásico de la máquina de impactos Charpy.	41
Figura 2-11:	Fuente de alimentación de la máquina de impactos Charpy.	41
Figura 2-12:	Electro-embrague de la máquina de impactos Charpy.	42
Figura 2-13:	Trinquete de la máquina de impactos Charpy.	42
Figura 2-14:	Tarjetas de acoplamiento electrónico.	45
Figura 2-15:	Hoja de datos de la tarjeta DAQ USB-6008.	46
Figura 2-16:	Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6008.	47
Figura 2-17:	Tablero indicador.	47
Figura 2-18:	Fuente de alimentación averiada.	48
Figura 2-19:	Medición del consumo de corriente en el electro-embrague.	49
Figura 2-20:	Cambio de la fuente de alimentación.	49
Figura 2-21:	Medición del nivel de tensión en la fuente DC de 24v.	50
Figura 2-22:	Medición del nivel de tensión en las borneras de 5v.	50
Figura 2-23:	Medición del nivel de tensión en las borneras de 12v.	51
Figura 2-24:	Botón físico para la parada de emergencia.	51
Figura 2-25:	Sensor indicador de péndulo preparado.	52
Figura 2-26:	Sensor para el trinquete.	52
Figura 2-27:	Sensor en las guardas de protección.	53
Figura 2-28:	Encoder.	54
Figura 2-29:	Menu DAQmx channel LabVIEW 2016.	56

Figura 2-30:	Submenú entradas digitales DAQmx channel LabVIEW 2016.....	57
Figura 2-31:	Menú de configuración de puertos digitales en LabVIEW 2016.....	57
Figura 2-32:	Definición de los canales de entrada digitales en LabVIEW 2016.	58
Figura 2-33:	Submenú salidas digitales DAQmx channel LabVIEW 2016.	58
Figura 2-34:	Definición de los canales de salida digitales en LabVIEW 2016.	59
Figura 2-35:	Submenú de entradas analógicas DAQmx channel LabVIEW 2016.	59
Figura 2-36:	Menú para la configuración de puerto AIO en LabVIEW 2016	60
Figura 2-37:	Definición del puerto para la entrada analógica en LabVIEW 2016	60
Figura 2-38:	Ajuste del péndulo a -90°	61
Figura 2-39:	Curva de regresión lineal.....	62
Figura 2-40:	Diagrama de flujos con la estructura básica del software.	63
Figura 2-41:	Identificación de la máquina de estados.	65
Figura 2-42:	Tab control en panel frontal de LabVIEW 2016.	66
Figura 2-43:	Case “Inicio”	67
Figura 2-44:	Case “Subir Péndulo”	69
Figura 2-45:	SubVi “Conversion.vi”	70
Figura 2-46:	Case “Iniciar Prueba”	71
Figura 2-47:	SubVi formula de energía absorbida.	73
Figura 2-48:	Case “Mantenimiento”	74
Figura 2-49:	Case “Calibración”	74
Figura 2-50:	Rutina para la parada de emergencia y retiro de guardas.	76
Figura 2-51:	SubVI parada de emergencia y retiro de guardas de protección.	77
Figura 3-1:	Herramienta DAQ assistant.	79
Figura 3-2:	Herramienta DAQmx read y write.	79
Figura 3-3:	Conexión a los puertos de la tarjeta NI USB-6008.....	81
Figura 3-4:	Tablero indicador encendido.	81
Figura 3-5:	Menú inicio en panel frontal.....	82
Figura 3-6:	Menú “Subir Péndulo” en panel frontal	83
Figura 3-7:	Aviso indicador del péndulo.....	83
Figura 3-8:	Menú para iniciar la prueba de impactos tipo Charpy.	84
Figura 3-9:	Menú de mantenimiento.	85
Figura 3-10:	Pestaña de calibración.	86
Figura 3-11:	Pantalla de visualización del voltaje del encoder.....	87
Figura 3-12:	Alerta de parada de emergencia activa.	88
Figura 3-13:	Alerta de guardas liberadas.	89

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Nivel de tensión de los componentes eléctricos.	40
Tabla 2-2: Nivel de tensión ideal de los componentes electrónicos.....	43
Tabla 2-3: Entradas electrónicas.....	43
Tabla 2-4: Salidas electrónicas.	44
Tabla 2-5: Relación entre el ángulo y el voltaje obtenido.....	61
Tabla 3-1: Comparación entre la definición de los puertos.	78
Tabla 3-2: Nivel de tensión de los componentes eléctricos y electrónicos.....	80

Introducción

A lo largo de los años dentro del campo de la Ingeniería Electrónica, la instrumentación se ha convertido en una práctica común dentro de los procesos de automatización, esto con el fin de optimizar máquinas con funcionamiento mecánico y así, reducir la intervención humana. En el trabajo de grado intitulado “Mantenimiento electrónico y diseño del software en LABVIEW para la automatización de la máquina de impacto Charpy del laboratorio de materiales de la UAN sede Tunja” se busca realizar la continuación al proceso para la automatización de la máquina de impactos mediante el desarrollo de un software con el cual, el usuario pueda visualizar los resultados de una prueba de impactos tipo Charpy de manera más precisa, eficaz y segura a diferencia de los obtenidos por una prueba de tipo manual la cual consiste en la operación y obtención de los datos de forma manual.

En la Universidad Antonio Nariño sede Tunja, se encuentra una máquina de impactos Charpy en el laboratorio de materiales, su función es determinar la tenacidad de un material, para realizar una prueba, se debe utilizar una probeta entallada y ensayada a flexión de 3 puntos, el péndulo cae sobre la probeta y esta se parte, en el proceso se mide la energía absorbida por la probeta la cual es la diferencia entre la altura inicial del péndulo y la final tras el impacto. Anteriormente, se inició el proceso de automatización mediante la implementación de un motor y un embrague para subir el péndulo y realizar las pruebas por medio de un software y un control eléctrico. Sin embargo, esta máquina no ha sido usada por un largo tiempo ya que el disco con el contenido del software con el que se controlaba se extravió, como consecuencia y falta de mantenimiento algunos de sus componentes mecánicos y electrónicos se deterioraron, lo cual impide que funcione correctamente.

Para el desarrollo del siguiente trabajo de grado se realizó la caracterización mecánica, eléctrica y electrónica de la máquina para identificar sus componentes y así, efectuar una revisión detallada a nivel electrónico. Dentro del desarrollo del software se tuvo en cuenta la identificación y definición de los puertos para las entradas y salidas tanto digitales como analógicas y sus funciones en la parte estructural de la máquina, seguido a esto se realizó la programación del menú el cual contiene las rutinas para la interacción con la máquina por medio de LabVIEW 2016. Finalmente, con el software desarrollado se realizaron pruebas al vacío para comprobar el funcionamiento del mismo y obtener datos específicos tales como: posición angular, energía absorbida y voltaje máximo.

Objetivo General

Realizar el mantenimiento electrónico y actualización de software para la máquina de impactos Charpy de la Universidad Antonio Nariño.

Objetivos específicos

- Delimitar la cantidad y los rangos de voltaje de operación para la correcta comunicación de la máquina de impacto Charpy con la tarjeta de adquisición de datos National Instruments.
- Crear el software empleando el entorno de desarrollo LabVIEW de National Instruments para la visualización de los datos obtenidos en las pruebas, tales como: posición angular, energía del impacto y ajuste.
- Poner en marcha la máquina de impactos comprobando la correcta calibración y pruebas de funcionamiento y uso académico para las generaciones futuras de estudiantes.

1. Marco teórico

1.1 Prueba de impactos Charpy

La fractura residual fue una idea que creó S. B. Russell en el año de 1896, con la que se pretendía medir la fractura de algún elemento con la ayuda de un péndulo. Al principio las probetas que se utilizaron fueron sin tallar. Un año después el científico Fremont intentó realizar el mismo procedimiento, pero con la ayuda de máquinas de resorte. Para 1901 ya se tenía el concepto y Georges Charpy propuso utilizar un péndulo y probetas entalladas para realizar las pruebas, dando así especificaciones con mejor precisión. [1]

Esta prueba se utiliza para realizar ensayos para medir la tenacidad de dicho material. Las probetas que se usan son entalladas y constan de una flexión de tres puntos. El objetivo del péndulo es caer sobre la probeta y partirla. La diferencia entre la altura inicial y la final del péndulo permite calcular la energía que se absorbe por la probeta al partirla. [2]

En la Escuela Colombiana de Ingenieros se realizó un proyecto parecido al que se encuentra en la Universidad Antonio Nariño de Tunja, la máquina se construyó con la misma norma ASTM E-23 la cual describe las medidas de la estructura y los materiales con los que debe estar construida la máquina de impactos.

También se pueden encontrar máquinas de este tipo en otras universidades de Colombia tales como la Universidad Distrital de Bogotá, la cual cuenta con un poco más de tecnología, en donde se puede ver que los estudiantes pueden hacer prácticas de laboratorio con mediciones completas.

También se pueden encontrar máquinas de impacto Charpy manuales y automáticas en el mercado. [3]

1.2 Automatización

La automatización, la cual hace referencia al antiguo griego auto: guiado por uno mismo, consiste en hacer uso de la tecnología para realizar algunas tareas sin la necesidad de la operación humana. Por lo general, se implementa en procesos los cuales lleven a cabo procesos repetitivos. Es común encontrar la automatización en tareas relacionadas con fábricas de robótica y automóviles, y en general la manufactura del mundo de la tecnología. [4]

1.2.1 Sistema automatizado

¿Qué es un sistema automatizado?

La automatización es un sistema donde se realizan procesos de producción con la ayuda de una o ciertas máquinas para realizar una tarea, con el objetivo de realizar el mínimo esfuerzo por parte de un operador humano.

Generalmente este tipo de sistemas tienen las siguientes partes:

- Mando
- Operativa

En la parte de mando se suele encontrar un autómata programable el cual hace referencia a la tecnología programada, hasta hace pocos años se trabajaba con relés electromagnéticos, tecnologías cableadas o tarjetas electrónicas. Para el caso de este sistema el autómata se encuentra en el centro del sistema. Con el objeto de comunicarse con los constituyentes del sistema automatizado. [5]

Para la parte operativa, es aquella que actúa específicamente sobre la máquina. Consta de unos elementos con los cuales la máquina se mueve para que pueda realizar los procesos deseados. Estos elementos que se mencionan por lo general son accionadores de la máquina, tales como cilindros, finales de carrera, motores, compresores, entre otros.

1.2.2 Objetivos de la automatización

- Optimizar los procesos de producción de una empresa, para reducir los costos de la producción y obtener así la calidad de la misma.
- Modernizar la condición de trabajo de las personas, suprimiendo trabajos complicados y así mismo incrementar la seguridad de los mismos.
- Hacer operaciones difíciles de controlar manual o intelectualmente.
- Mejorar las existencias de los productos para proveer el stock necesario para cualquier momento.
- Facilitar el mantenimiento para los operarios, el cual no requiera de muchos conocimientos para manipular una máquina.

1.2.3 Tipos de automatización

Los tipos de automatización son:

- Control Automático de Procesos

Hace referencia al uso de procesos que tienen la característica de diversos cambios, pueden ser físicos o químicos; un ejemplo puede ser el proceso de la refinación del petróleo.

- El Procesamiento Electrónico de Datos

Tiene una relación con centros de cómputo, sistemas de información, entre otros. Aun así, actualmente también se consideran un proceso de obtención, registro y análisis de los datos con la ayuda de las interfaces creadas con software.

- La Automatización Fija

Asociada al emplear sistemas lógicos tales como compuertas lógicas y sistemas con relés; estos sistemas se han dado a la necesidad de usar algunos otros elementos de programación flexible como se puede ver en el caso de los PLC.

- La Automatización programable

Se usa cuando una empresa no tiene una producción tan alta y así mismo tienen mucha diversidad en sus productos. Los equipos con los cuales se producen son diseñados para que se adapten a las variaciones para producir los productos, para realizar una adaptación de este tipo se usa un programa o software.

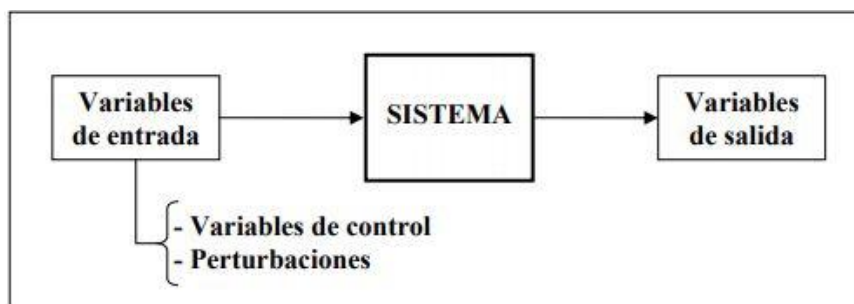
- La Automatización Flexible

Los sistemas flexibles tienen ciertas características de la automatización programada y de la fija. Estos sistemas suelen constituirse con una serie de máquinas de trabajo conectadas por sistemas, las cuales se controlan en conjunto por medio de un computador. [6]

1.3 Sistemas de control

Los sistemas dinámicos se pueden definir como los elementos que reciben acciones superficiales o variables de entrada, la respuesta a las acciones superficiales se denominan como variables de salida. Estas acciones externas al sistema se pueden dividir en dos agrupaciones, las variables de control las cuales son manipulables y las perturbaciones que no tienen ningún tipo de control.

Figura 1-1: Esquema general de un sistema de control.



Fuente: Universito Politécnicna de Catalunya – Tesinaglobal (2013) [6]

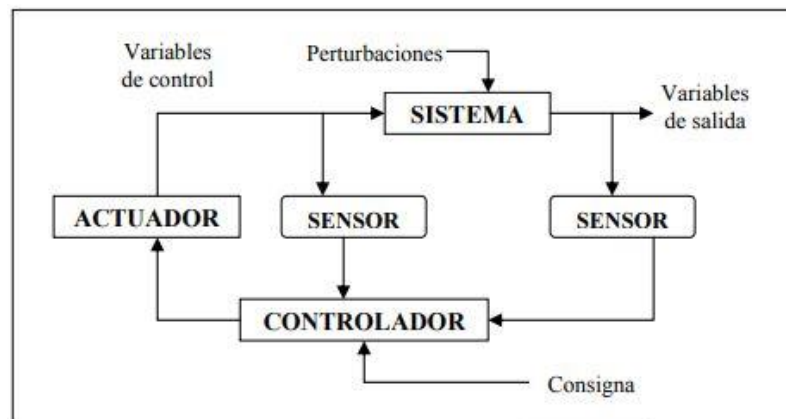
Para el caso de un sistema de control ideal, este debe cumplir sus objetivos cumpliendo los siguientes requisitos:

- Asegurar la estabilidad, particularmente frente a las perturbaciones o errores.
- Su eficiencia respecto a un criterio anteriormente preestablecido, el cual consiste en que la operación de control en las variables de entrada sea posible, para evitar comportamientos indeseados.
- Que se pueda implementar de forma sencilla para que se pueda operar cómodamente en tiempo real y con ayuda de un equipo de cómputo.

Los elementos con los que cuenta un sistema de control y permiten ser manipulados son los siguientes:

- Sensores: Su función es medir los valores de las variables que se miden en un sistema.
- Controlador: Se utilizan los valores medidos por los sensores para calcular las acciones que se deben aplicar para cambiar estas variables de control con base a alguna necesidad.
- Actuador: Un actuador ejecuta una de las acciones que se calculan con el controlador con el objetivo de modificar las variables de control. [7]

Figura 1-2: Esquema de funcionamiento de un sistema de control.



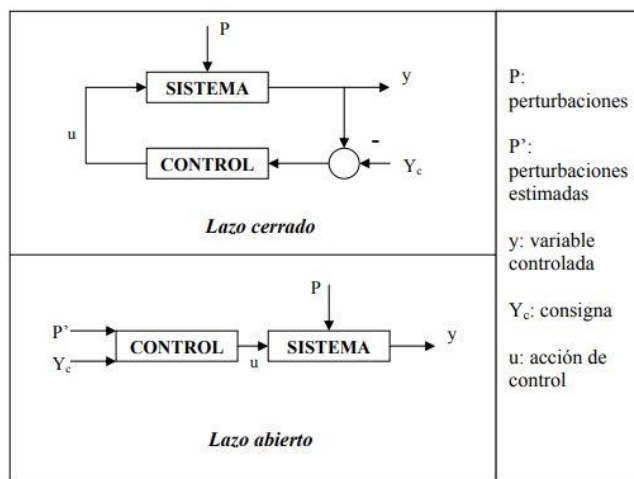
Fuente: Universitat Politècnica de Catalunya – Tesinaglobal (2013) [6]

1.3.1 Estrategia de control

Una estrategia de control hace alusión a la dirección con los lazos entre las variables que se miden y las que se controlan. Estas se distinguen en dos tipos, lazo abierto y lazo cerrado. A continuación, se muestran detalladamente las estrategias:

- Lazo abierto: Para calcular la acción de control se debe conocer la dinámica del sistema y así mismo las perturbaciones se estiman. Para el caso de esta estrategia se pueden compensar algunos retrasos del sistema de forma que se vaya acoplado a las necesidades del operario. A pesar de esto el lazo abierto no es suficiente ya que por lo general hay errores en los modelos y la estimación de las perturbaciones. Por esta razón es común encontrar sistemas en los cuales combinan el lazo abierto y el cerrado, ya que con el lazo cerrado se compensan los errores anteriormente mencionados.
- Lazo cerrado: Para calcular la acción de control en este caso de estrategia se usa la función del error medido entre la variable y la consigna. Aunque las perturbaciones se desconozcan se consideran indirectamente por medio de los efectos que causan sobre las variables de salida. Esta estrategia se puede aplicar en cualquiera de las variables que se controlan. Actualmente el lazo cerrado se usa para la mayoría de sistemas de control.

Figura 1-3: Control lazo cerrado vs Control lazo abierto.



Fuente: Universitat Politècnica de Catalunya – Tesinaglobal (2013) [6]

1.4 Instrumentación industrial

Para los procesos industriales dirigidos hacia la automatización se necesita seguir un desarrollo con la ayuda de la instrumentación industrial, esta va dirigida a un conjunto de procesos con los que se pretende mejorar las tareas industriales y el manejo de sus recursos. Esta considera las variables y las mide para optimizar los procesos.

Para que se pueda lograr la instrumentación en las diferentes industrias, las personas especializadas en esta área utilizan equipos especiales tales como dispositivos o elementos. Como primer paso se busca realizar la medición y controlar procesos con factores físicos tales como:

- Tensión
- Presión y fuerza
- Flujos y niveles
- Temperatura
- Velocidades y peso
- Humedad y punto de rocío
- Factores químicos como pH y conductividad eléctrica [8]

1.5 Sensores

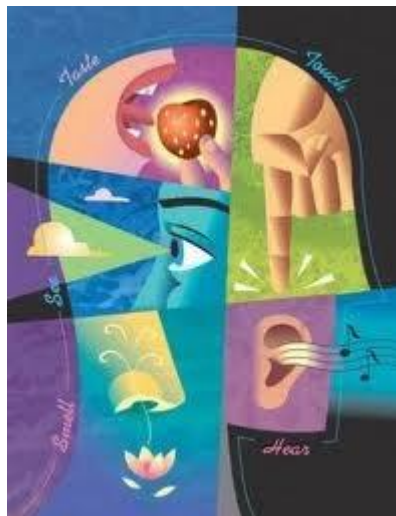
Los sensores se definen como dispositivos electrónicos, cuentan con la función de detectar variaciones de magnitudes físicas, como ejemplo se puede medir la temperatura, el movimiento, la iluminación, entre otras. Con el objetivo de convertir sus valores en una señal de tipo digital o analógico.

Para los casos de aplicación es un dispositivo ideal para la toma de señales físicas que provienen del medio ambiente para realizar una conversión en una señal con naturaleza distinta. Los sensores convierten las variaciones dadas por magnitudes físicas a magnitudes de tipo eléctrico o magnético.

Estos dispositivos ayudan con la ampliación de los sentidos al momento de obtener una medición de algún dato de cantidad física, la cual por su forma, tamaño o naturaleza no se puede percibir.

Cumplen un papel significativo en los sentidos de los seres humanos, ya que ayudan a encontrar respuestas frente a algunos de los estímulos que brinda el medio ambiente. Tienen la función de transmitir a nuestro cerebro los estímulos que pueden afectar el comportamiento del cuerpo y así controlarlos para que su funcionamiento sea adecuado. [9]

Figura 1-4: Los sentidos humanos.



Fuente: sitio Web sensoresindustriales de Google sites.[8]

1.5.1 Características de los sensores

- Convierte una variable física o natural como puede ser la temperatura en una diferente, por lo general es una señal de tipo eléctrico.
- Codifican, efectúan, convierten, detectan, transducen, accionan.
- No necesariamente generan señales eléctricas.
- Su funcionamiento puede o no ser físico.
- Cuando se implementan en procesos controlados suelen ser instructores, los cuales sirven para supervisar los procesos, indicando errores, reconociendo estados o transmiten la información a otros componentes dentro del proceso. [9]

1.5.2 Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos tienen una variación en la constante dieléctrica, es decir mide cuando se separa el área de las placas cuando se pretende medir la magnitud. Como ejemplos se tienen los sensores de desplazamiento, nivel, fuerza, presión, entre otros.

1.5.3 Sensores inductivos

Miden la variación en la reluctancia y la inductancia mutua con la medición de la magnitud, un ejemplo son los sensores de velocidad, aceleración, caudal, entre otros.

1.5.4 Sensores magnéticos y electromagnéticos

Dan un voltaje a partir del magnetismo por aplicaciones o esfuerzo mecánico, campos magnéticos, variaciones en el flujo magnético, variación en el calor. Como por ejemplo con los sensores elásticos, o tacos generadores.

1.5.5 Sensores térmicos y termoelectrónicos

Para el caso de los sensores térmicos, miden corrientes o voltajes dados por una variación en la temperatura, esto dado por una resistencia, radiación térmica, etc. Esto se conoce como efecto seebeck y es el principio para el uso de termocuplas, termopilas y otros dispositivos de medición de temperatura. [10]

1.6 Fuentes de alimentación

La fuente de alimentación consta de un circuito el cual es capaz de recibir, transformar y entregar una corriente estable para conectar equipos o dispositivos electrónicos. Existen distintos tipos de fuente, sus características varían según su eficacia, estabilidad y consumo, tener equipos que demanden mucha eficiencia es una de las razones por las cuales se deben elegir buenas fuentes, un ejemplo pueden ser los servidores o equipos que tienen consumos elevados de corriente.

1.6.1 Fuente lineal

Una fuente lineal por lo general consta de un diseño sencillo, el cual no suele ser tan eficiente y con no mucha potencia. Cuando se necesita mayor corriente suelen ser un poco más complejas, a continuación, se muestran las fases a través de que funcionan:

- Transformación
- Rectificación
- Filtrado
- Regulación
- Salida

Se sabe que la corriente es alterna, para rectificarla se debe hacer uso de un puente de diodos, luego de rectificar el voltaje estará encima de los cero voltios, para eliminar las oscilaciones se debe filtrar la señal con la ayuda de condensadores, y finalmente se obtiene una corriente continua (DC).

1.6.2 Fuentes conmutadas

Las fuentes conmutadas suelen tener una potencia similar a la de una fuente lineal, la diferencia es que son más eficientes y su tamaño es menor, su contra es que al ser más compleja se vuelve susceptible a los daños que puede presentar.

Las fuentes conmutadas arrojan una onda cuadrada la cual se usa en transformadores con núcleo de ferrita, esto con el objetivo de tener voltajes en AC los cuales se rectifican con diodos, conductores e inductores para que se logre una salida de corriente directa o continua.

1.7 Tarjetas de adquisición de datos (DAQ)

La adquisición de datos es un proceso en el cual se mide con la ayuda de una computadora un fenómeno eléctrico o físico, como por ejemplo la corriente, voltaje, presión, temperatura o sonido. Los sistemas de adquisición de datos contienen sensores,

hardware para edición y un software para PC. A comparación de otros sistemas de medida, el sistema de adquisición de datos DAQ se valen de la potencia del procesamiento de un computador, su productividad y visualización y la facilidad que hay para conectarse con PCs estandarizadas, con las cuales se proporcionan soluciones más potentes y rentables.

Figura 1-5: Partes de un sistema DAQ.



Fuente: Web oficial de National Instruments. [15]

1.8 Convertidor Analógico Digital (ADC)

Para manipular las señales analógicas con la ayuda de un equipo de cómputo, primero se deben convertir estas señales en digitales, esto se conoce como ADC, el cual consta de un controlador que se encarga de convertir y representar una señal analógica en una digital en determinado tiempo. Las señales analógicas varían en el tiempo, con el ADC estas señales se visualizan como muestras periódicas las cuales se transfieren al PC a través de un cable o bus, para finalmente reconstruir la señal original con la ayuda del software.

1.9 Motores Eléctricos

El principio de funcionamiento de los motores eléctricos es transformar la energía eléctrica en mecánica de rotación en un eje. Estos motores tienen varias ventajas, tales como su limpieza, economía, seguridad, estos motores a lo largo de los años han reemplazado a otras fuentes de energía a grandes rangos industriales, en el transporte, comercio y otros procesos al punto de volver su uso cotidiano. El funcionamiento de

estos motores se basa en las fuerzas de atracción y repulsión que existen entre una bobina y un imán por los cuales fluye la corriente eléctrica. [12]

1.9.1 Motor de Corriente Continua (DC)

Un motor de corriente continua es una máquina la cual por medio de un movimiento de rotación convierte energía eléctrica en mecánica. La máquina de corriente continua o directa se caracteriza por ser de las más versátiles para la industria, debido al control de la velocidad que ofrece, por esto se ha convertido en una buena opción para la automatización y aplicaciones de instrumentación. Aun así, estos motores también tienen otras aplicaciones de potencia como es el caso de los trenes o de precisión para algunas máquinas.

La característica más llamativa al momento de utilizar motores de corriente directa es que se puede regular la velocidad. Pero el inconveniente es que son motores costosos y su mantenimiento puede ser tedioso. [13]

1.9.2 Motor de corriente alterna (AC)

Los motores AC funcionan con corriente alterna. La gran parte de motores de la actualidad trabajan con corriente en AC. Existen tipos de motores que funcionan con corriente alterna: el universal, el síncrono y el de jaula de ardilla.

- **Motor universal**

Los motores universales se usan en las sierras eléctricas, los talados, ventiladores, electrodomésticos de cocina y algunas otras aplicaciones. Su distinción son las escobillas y el conmutador. Se compone de un estator, un rotor, unas escobillas y sus tapas.

Su funcionamiento eléctrico consiste en un circuito simple conectado en serie el cual consta de un cable para el paso de la corriente. Su par de arranque es muy eficiente, pero tiene un problema el cual es que no está construido para usarse de manera continua.

- **Motor Síncrono**

Son máquinas que tienen la capacidad de trabajar como motor o como generador, como motor convierte la energía eléctrica en mecánica y como generador lo hace la manera

contraria. Por lo general su uso es más como generador de energía alterna que como motor, una característica de estos motores es que no tienen par para arranque, para esto se utilizan otros métodos de arranque para llegar a una velocidad para su sincronismo. Un ejemplo de la aplicación de los motores síncronos es que funcionan para controlar la potencia reactiva de las redes eléctricas.

- Motores Jaula de ardilla

También llamados motores asíncronos ya que el rotor no es bobinado, se caracteriza por estar formado con barras de cobre conectadas a dos anillos de forma cilíndrica, por esto mismo es el nombre jaula de ardilla. Los motores de corriente alterna que funcionan con una sola fase son del tipo Jaula de ardilla. Es el motor asíncrono más usado debido a que es sencillo y robusto. [14]

1.10 LabVIEW (National Instruments)

LabVIEW es un entorno de programación el cual ofrece una interfaz gráfica con la cual se puede ayudar a los ingenieros y estudiantes a usar una aplicación, se incluye así los datos para medir, la depuración y configuración del hardware. La visualización de su interfaz permite que se pueda integrar de manera más sencilla un hardware de algún proveedor, representar la lógica de un diagrama o desarrollar programas con algoritmos para el análisis y obtención de datos y así diseñar interfaces de datos agradables para los usuarios.

Este software desarrollado por National Instruments (NI) simplifica el desarrollo de sistemas de pruebas, control y medidas para disminuir el tiempo en el que un diseño puede salir al mercado. National Instruments sugiere implementar LabVIEW con su hardware comercial con el objetivo de desarrollar sistemas industriales para aplicaciones en la producción y automatización a grandes rasgos. [15]

1.10.1 Áreas recomendadas para utilizar LabVIEW

- Diseñar máquinas inteligentes o equipos industriales:

Para desarrollar maquinas industriales inteligentes se recomienda utilizar LabVIEW debido a su diseño sencillo el cual ofrece un conjunto completo con hardware, software y un sistema diseñado para los usuarios que utilicen este entorno de programación.

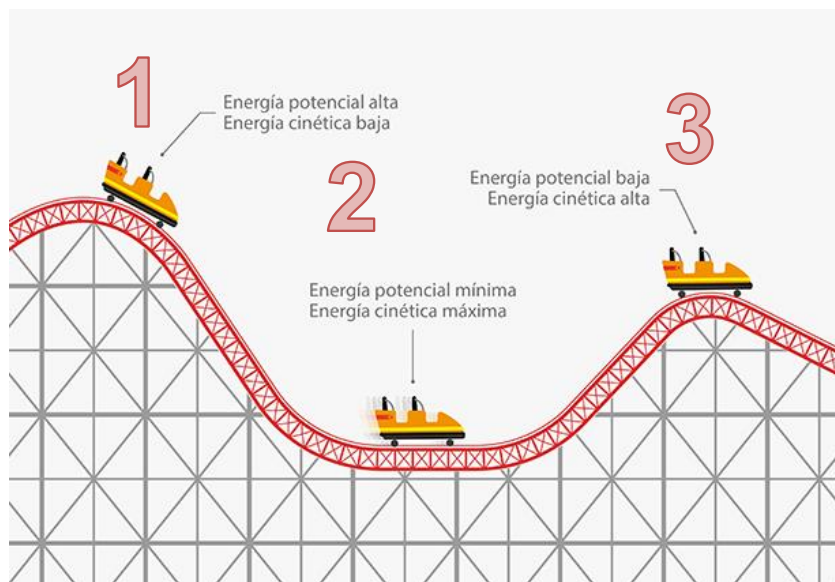
- Enseñar a estudiantes de Ingeniería:

Se pueden encaminar a los estudiantes al uso de LabVIEW para controlar sistemas y así generar conocimientos para poder desarrollar soluciones rápidas y mejorar sus proyectos en sus respectivos cursos. [15]

1.11 Principio físico de la máquina de impactos Charpy

Para el funcionamiento físico de la máquina de impactos Charpy se utiliza el principio de la conservación de la energía, en la figura 1-6 se puede observar este principio con el cual se relacionan los conceptos de funcionamiento para realizar una prueba de este tipo.

Figura 1-6: Principio de la conservación de la energía.



Fuente: Web enciclopediadebiologia.com [16]

Como se puede observar en la anterior imagen se puede hacer una analogía con el péndulo de la máquina de impactos Charpy, en el cual al momento de encontrarse en la posición número uno su energía potencial es alta, cuando se suelta y llega hasta la posición número dos impacta con la probeta la cual hace resistencia y se rompe causando así pérdida en la energía del péndulo hasta llegar a la posición número tres, la energía absorbida por la probeta se halla de la siguiente manera:

$$E_{pr} = E_i - E_f$$

E_{pr} : Energía absorbida por la probeta.

E_i : Energía inicial, se calcula con el ángulo inicial del péndulo.

E_f : Energía final.

2. Diseño Metodológico

2.1 Caracterización inicial de la máquina de impactos Charpy

Como primer paso para el desarrollo del software en LabVIEW se optó por hacer una revisión a la máquina de impactos Charpy, tanto en su parte estructural, mecánica, eléctrica y electrónica, a continuación, se muestra cada uno de los ítems que se revisó durante la caracterización de la máquina de impactos Charpy.

Figura 2-1: Máquina de impactos Charpy.



Nombre de la fuente: Foto tomada por el autor en el laboratorio de materiales.

2.1.1 Caracterización estructural de la máquina

- Base.

La base está anclada a los perfiles tipo H y su estado general es bueno como se muestra en la figura 2-2, así mismo el soporte metálico se inspecciona el cual está libre de imperfectos u oxido. Los tornillos que anclan la máquina a la base están en buen estado, no es necesario cambiarlos.

Figura 2-2: Estado de la base.



Nombre de la fuente: Foto tomada por el autor en el laboratorio de materiales.

- Perfiles tipo H

Los perfiles de concreto están anclados al piso y se encuentran en buen estado como se muestra en la figura 2-3.

Figura 2-3: Perfiles tipo H de la máquina de impactos Charpy.



Nombre de la fuente: Foto tomada por el autor en el laboratorio de materiales.

- Péndulo

En la observación del péndulo se evidencia que se encuentra en perfecto estado tal como se puede ver en la figura 2-4, sin ninguna deformación en su mecanismo.

Figura 2-4: Péndulo de la máquina de impactos Charpy.



Nombre de la fuente: El autor.

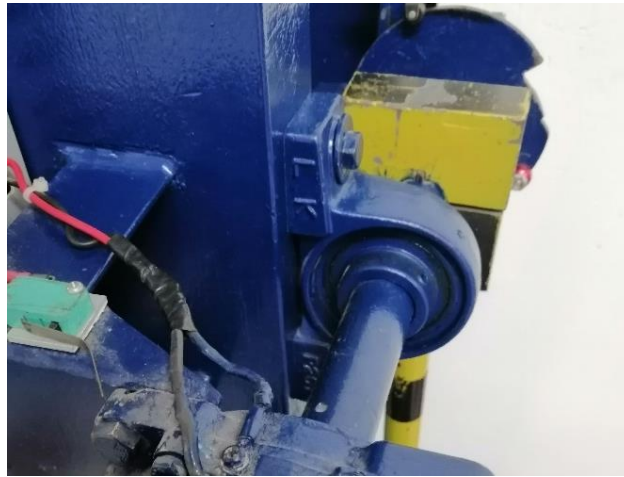
2.1.2 Caracterización mecánica

La máquina de impactos Charpy está compuesta por una base metálica anclada con concreto para soportar la estructura principal con dos perfiles tipo H, el cual sostiene el péndulo con un eje anclado a un electro embrague, además de esto el electro embrague está anclado a un sistema de reducción para un motor de 220V de tres fases, sus componentes mecánicos se muestran a continuación:

- Eje

El eje funciona correctamente, presenta un poco de fricción y necesita lubricación para que funcione de manera óptima. En la figura 2-5 se puede observar con claridad el eje.

Figura 2-5: Eje de la máquina de impactos Charpy.



Nombre de la fuente: El autor.

- Trinquete

El trinquete tiene un funcionamiento electromecánico ya que es una de las salidas digitales controladas por el software, se encuentra en perfecto estado funcional como se puede ver en la figura 2-6.

Figura 2-6: Trinquete de la máquina de impactos Charpy.



Nombre de la fuente: El autor.

Sistema de Moto reductor

El moto reductor cumple con la función de reducir la velocidad con la que gira el mismo motor, su estado es bueno como se puede ver en la figura 2-7.

- Tipo de reductor Sinfín Corona.
- Marca RAMFE.
- Potencia nominal del reductor de 2.2Hp.
- Torque de salida de 146.6 [Nm].
- Relación de reducción de 40/1.
- Precio de \$670.000.

Figura 2-7: Moto reductor.



Nombre de la fuente: El autor.

- **Sistema de poleas y transmisión**

El sistema de poleas usa un tipo de transmisión simple el cual significa que transmite directamente entre dos ejes (motriz y conducido). Al revisar el funcionamiento de las poleas se encuentran en mal funcionamiento por lo tanto se recomienda revisar la tensión de las correas y si es el caso cambiarlas por otras que se encuentren en buen estado o hacerles el debido mantenimiento.

Figura 2-8: Poleas y sistema de transmisión la máquina de impactos Charpy.

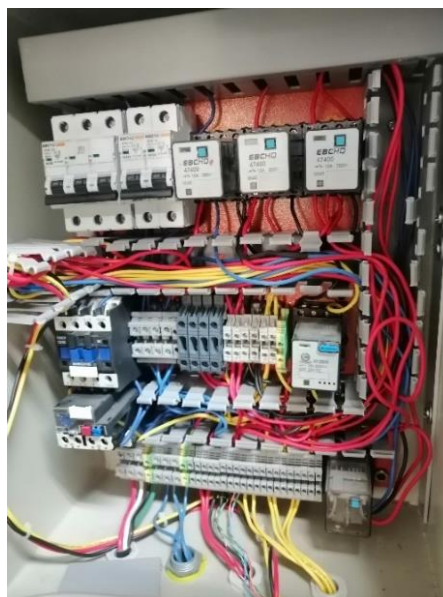


Nombre de la fuente: El autor.

2.1.3 Caracterización eléctrica

El sistema eléctrico tiene un gabinete de control el cual está compuesto de breakers y fusibles con el que se pueden controlar los componentes eléctricos. (figura 2-9)

Figura 2-9: Gabinete de control eléctrico.



Nombre de la fuente: El autor.

En la tabla número 2-1 se pueden visualizar los componentes eléctricos con los que cuenta la máquina y el nivel de tensión de los mismos.

Tabla 2-1: Nivel de tensión de los componentes eléctricos.

Componente	Tipo	Nivel de tensión
Motor	Potencia	220V AC
Contactador	Potencia	220V AC
Fuente DC	Potencia	110V AC
Electro-embrague	Potencia	24V DC
Trinquete	Potencia	24V DC

A continuación, se muestra a detalle cada uno de los componentes eléctricos con los que cuenta la máquina de impactos Charpy, cabe aclarar que la siguiente información presentada se prestó del trabajo que realizaron anteriormente en la automatización de la máquina.

Motor

Estado: Funcional.

Cuenta con las siguientes características:

- Motor marca Siemens.
- La potencia nominal del motor es de 2Hp.
- Velocidad nominal de 3600RPM.
- Voltaje nominal de 220Vac.
- Corriente de 6,2 A.
- Masa de 8Kgr.
- Precio de \$512.000.

Figura 2-10: Motor trifásico de la máquina de impactos Charpy.



Nombre de la fuente: El autor.

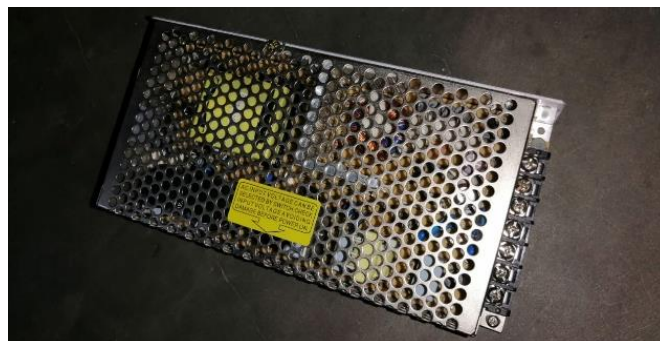
Fuente DC

Estado: La fuente se encuentra averiada, al momento de conectarla no cuenta con la capacidad de brindar el voltaje de 24v, se debe realizar su revisión o cambio para el funcionamiento de los componentes que se suplen de esta fuente.

La fuente de alimentación tiene las siguientes características:

- Voltaje de entrada de 110V
- Voltaje de salida de 24V
- Corriente de 6.5 A.

Figura 2-11: Fuente de alimentación de la máquina de impactos Charpy.



Nombre de la fuente: El autor.

Electro-embrague

Estado: defectuoso, se recomienda el mantenimiento respectivo para el uso óptimo de la máquina.

El tipo de electro-embrague usado es de tipo magnético para desconectar y conectar el compresor del motor. Sus componentes principales son el estator, rotor y la placa de presión, cuando se alimenta corriente a la bobina, se genera una fuerza magnética en el hierro (II), que atrae el hierro (I). (véase figura 2-12)

Figura 2-12: Electro-embrague de la máquina de impactos Charpy.



Nombre de la fuente: El autor.

Trinquete

Estado: Funcional.

La función del trinquete es asegurar la máquina una vez se sube el péndulo a los 140°, para esto se tiene en cuenta el torque el cual oscila entre los 127Nm y tiene una fuerza de 215N, el trinquete es la salida electrónica número tres y es accionada por medio de 24V, su misión es abrir o cerrar el circuito para que este se retire y deje soltar el péndulo para que se haga una de las pruebas. (figura 2-13)

Figura 2-13: Trinquete de la máquina de impactos Charpy.



Nombre de la fuente: El autor.

2.1.4 Caracterización electrónica

- Componentes electrónicos

Tabla 2-2: Nivel de tensión ideal de los componentes electrónicos.

Componente	Tipo	Tensión
Relés de 8 pines	Control	24v
Fuente de alimentación	Potencia	110v a 24v
Tablero indicador	Electrónica	24v
Tarjetas de acoplamiento	Electrónica	5v
Tarjeta de adquisición de datos	Control	5v
Entradas digitales	Control	12v
Salidas digitales	Control	24v

El sistema electrónico es alimentado por una fuente de 24 v a 6 A la cual es regulada a voltajes de 12 v y 5 v para alimentar los sensores y demás componentes electrónicos como las tarjetas de acoplamiento, las cuales a su vez están compuestas por relés para controlar las entradas y salidas electrónicas. Este sistema cuenta con un tablero el cual indica el estado de las entradas y las salidas digitales, está compuesto como se muestra a continuación:

Consta de cinco entradas digitales por cuatro sensores de tipo “fin de carrera”, un botón de parada de emergencia y una entrada analógica dada por un encoder. (tabla 2-3)

Tabla 2-3: Entradas electrónicas.

Entrada	Tipo	Descripción
E1	Digital	Parada de emergencia
E2	Digital	Final de carrera del péndulo
E3	Digital	Final de carrera trinquete
E4	Digital	Final de carrera guardas de protección
E5	Digital	Motor en sobrecarga
E6	Analógica	Entrada del encoder

Consta de 4 salidas digitales las cuales controlan las acciones de la máquina. (Tabla 2-4)

Tabla 2-4: Salidas electrónicas.

Entrada	Tipo	Descripción
S1	Digital	Motor
S2	Digital	Electro-embrague
S3	Digital	Trinquete
S4	Digital	Reserva

Las señales anteriormente mencionadas se obtienen y se alimentan por medio de 3 tarjetas de control electrónicas diseñadas exclusivamente para esto, se pueden ver estos datos de las salidas y entradas digitales por medio de un tablero y las tarjetas se comunican con la tarjeta de adquisición de datos. Además, se cuenta con una pantalla la cual visualiza el dato de la entrada analógica del encoder.

Dentro de la observación inicial del sistema electrónico se encontró que la tarjeta de adquisición de datos para la comunicación con el computador no estaba dentro de la caja con los otros componentes electrónicos lo cual dificulta inicialmente el trabajo que se pretende realizar, como consecuencia se debe adquirir una nueva tarjeta.

2.2 Revisión y mantenimiento electrónico

Para la revisión electrónica se procedió a conseguir la clavija para conectar la máquina de impactos Charpy la cual es de 3 fases, para poder encender la máquina y así revisar el funcionamiento inicial y que los voltajes especificados fueran los correctos.

Al encender la máquina se evidenció una falla en el funcionamiento de la fuente de alimentación de 24 v a 6 A la cual impidió encender el sistema electrónico de la misma, por lo tanto, fue necesario realizar el cambio de dicha fuente a otra con el mismo voltaje (24v) pero diferente corriente, teniendo en cuenta que una de las posibles razones de la avería fue una sobrecarga en la fuente, se decidió aumentar la capacidad a 10 A con el fin de comprobar el funcionamiento inicial de la máquina.

2.2.1 Tarjetas de acoplamiento

Dentro del gabinete de control electrónico se encuentran tres tarjetas electrónicas las cuales tienen las funciones de controlar las entradas, las salidas y la regulación del voltaje que entra de la fuente. (figura 2-14)

Estas tarjetas portan fusibles de 2 A y 5 A para protegerlas contra riesgos eléctricos o fallas en la alimentación de las mismas.

Figura 2-14: Tarjetas de acoplamiento electrónico.



Nombre de la fuente: El autor.

Definición de las tarjetas

1. Tiene la función de obtener el voltaje de la fuente de alimentación y regularla a 12 v y 5 v, esto con el objetivo de alimentar las otras dos tarjetas que se aprecian en la figura 2-14.
2. Encargada de controlar las cuatro salidas digitales por medio de relés de 24 v para el funcionamiento de la maquina como ya se describió anteriormente.
3. La tarjeta número tres se encarga del control de las cinco entradas digitales, usa la misma lógica que la tarjeta numero dos para controlar las entradas con relés, véase figura 2-14.

2.2.2 Tarjeta de adquisición de datos DAQ

Como se mencionó anteriormente, la tarjeta de adquisición de datos al momento de revisar la máquina no se encontraba dentro del gabinete de control electrónico, como paso a seguir se pretendió conseguir una nueva tarjeta para realizar la comunicación de los sensores y así poder enviar los datos al software que se pretende desarrollar.

La tarjeta que se usó para el anterior trabajo de grado fue una tarjeta NI USB-6008 de 12 bits, fabricada por National Instruments, en la figura 2-15 se pueden observar las características detalladas de la tarjeta DAQ.

Figura 2-15: Hoja de datos de la tarjeta DAQ USB-6008.

USER GUIDE

NI USB-6008/6009

Bus-Powered Multifunction DAQ USB Device

Français	Deutsch	日本語	한국어	简体中文
----------	---------	-----	-----	------

ni.com/manuals

The National Instruments USB-6008/6009 devices provide eight single-ended analog input (AI) channels, two analog output (AO) channels, 12 DIO channels, and a 32-bit counter with a full-speed USB interface. This user guide describes how to use these devices.

For specifications, refer to the *NI USB-6008 Device Specifications* and the *NI USB-6009 Device Specifications* available at ni.com/manuals.

The following table compares the NI USB-6008 and NI USB-6009 devices.

Table 1. NI USB-6008 and NI USB-6009 Comparison

Feature	NI USB-6008	NI USB-6009
AI resolution	12 bits differential, 11 bits single-ended	14 bits differential, 13 bits single-ended
Maximum AI sample rate, single channel ¹	10 kS/s	48 kS/s
Maximum AI sample rate, multiple channels (aggregate) ¹	10 kS/s	48 kS/s
DIO configuration	Open collector ²	Each channel individually programmable as open collector or active drive ²

The following figure shows key functional components of the NI USB-6008/6009.

Nombre de la Fuente: Pagina web de National Instruments.

Para la selección de la tarjeta de adquisición de datos se tomó en cuenta la compatibilidad con el control electrónico, más que todo en lo que respecta a las entradas y salidas tanto analógicas como digitales, por esta razón se optó por conseguir una tarjeta DAQ de la misma referencia empleada en el anterior trabajo de grado, una NI USB-6008 de 12 bits de segunda mano (véase figura 2-16) por un valor de \$420.000.

Figura 2-16: Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6008.



Nombre de la fuente: El autor.

2.2.3 Tablero indicador

El tablero indicador muestra el estado (ON/OFF) de las entradas y salidas digitales y además muestra si los voltajes de 24v, 12v y 5v están activos, el tablero indicador brinda mucha ayuda al operador de la máquina de impactos Charpy ya que desde el tablero puede saber si el sistema funciona de la manera correcta.

Figura 2-17: Tablero indicador.

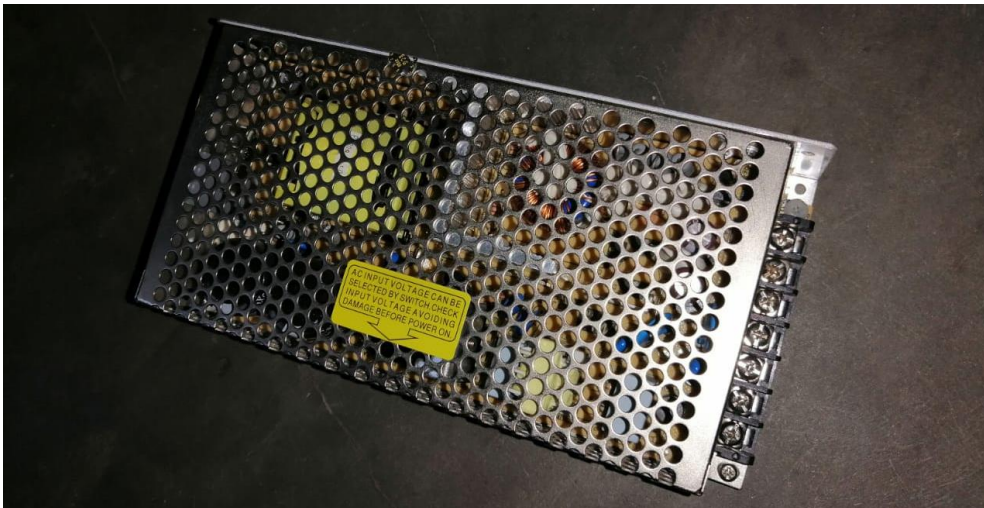


Nombre de la fuente: El autor.

2.2.4 Fuente de alimentación

Se revisó la fuente de 24v que alimenta las tarjetas electrónicas la cual se encontró averiada ya que probablemente sobrepaso su capacidad de amperaje y produjo un corto circuito el cual la dejo en pérdida total considerando así el cambio por una nueva fuente de alimentación. Además de esto se optó por conectar directamente la fuente a los 110V del laboratorio de materiales para así aislar el sistema electrónico de los demás sistemas. Véase la figura 2-18 y 2-19

Figura 2-18: Fuente de alimentación averiada.



Nombre de la fuente: El autor.

Al buscar la causa del averió en la fuente se evidencio que la corriente consumida al momento en el que todos los circuitos se activan se acerca a los 6 A (véase figura 2-19), posiblemente se generó una sobrecarga la cual pudo causar los daños encontrados en la misma, además de esto el electro-embrague, el cual funciona con la fuente de 24 v como se puede observar en la tabla 2-2 consume la mayor parte de la corriente, se concluye que hubo un error en el cálculo y la selección de la fuente por parte de los autores de la automatización de la máquina y como recomendación se debe usar una fuente con mayor capacidad en corriente, puede ser de 10 A o más.

Figura 2-19: Medición del consumo de corriente en el electro-embrague.



Nombre de la fuente: El autor.

Para evitar daños en la fuente de alimentación a reemplazar y con el dato obtenido anteriormente se optó por conseguir una fuente prestada de 24 v a 10 A marca MEAN WELL (dicha fuente no se entregará con el trabajo de grado) además de esto se cambió la alimentación de la fuente por los 110 v del toma corriente del laboratorio de materiales para aislar el control eléctrico del electrónico, en la figura 2-20 se puede observar el cambio de la fuente.

Figura 2-20: Cambio de la fuente de alimentación.



Nombre de la fuente: El autor.

2.2.5 Medición del voltaje en los componentes electrónicos

En la documentación de la máquina se encuentran los voltajes con los cuales opera, después de encenderla, se procedió a hacer la comprobación de dichos voltajes con un multímetro digital, a continuación, se muestra cada uno de los componentes con su respectiva medición.

- Medición de la fuente de alimentación. (figura 2-21)

Figura 2-21: Medición del nivel de tensión en la fuente DC de 24v.



Nombre de la fuente: El autor.

- Medición en las borneras de 5v para la alimentación de las tarjetas de acoplamiento y adquisición de señales. (figura 2-22)

Figura 2-22: Medición del nivel de tensión en las borneras de 5v.



Nombre de la fuente: El autor.

- Medición en las borneras de 12v para la alimentación de los sensores ubicados en la máquina. (figura 2-23)

Figura 2-23: Medición del nivel de tensión en las borneras de 12v.



Nombre de la fuente: El autor.

2.2.6 Entradas digitales

- Botón de parada de emergencias

Este sensor se encuentra en la máquina por seguridad en caso de que ocurra algún error o riesgo durante la operación de la máquina de impactos Charpy, en el tablero de visualización aparece como la entrada número uno y se encuentra en buen estado funcional. (figura 2-24)

Figura 2-24: Botón físico para la parada de emergencia.



Nombre de la fuente: El autor.

- Final de carrera en el eje para indicar que el péndulo está preparado.

Este sensor está ubicado en el eje del péndulo de la máquina y su función es indicar el estado del mismo, ya sea ON cuando el péndulo se encuentra preparado para iniciar una prueba u OFF para indicar lo contrario, en el tablero de visualización aparece como la entrada número dos y se encuentra en buen estado funcional. (figura 2-25)

Figura 2-25: Sensor indicador de péndulo preparado.

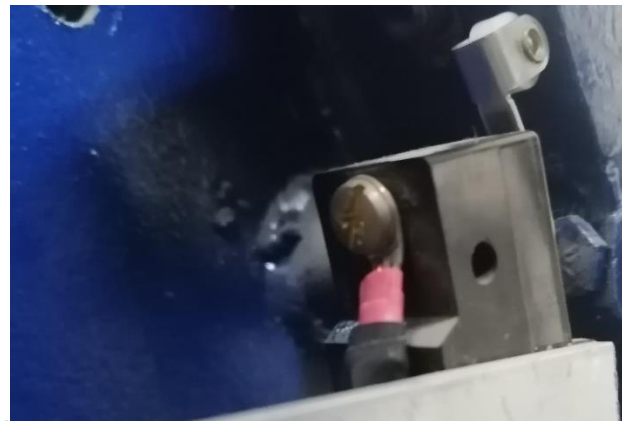


Nombre de la fuente: El autor.

- Final de carrera del trinquete

Ubicado en el trinquete de la máquina, funciona para visualizar el estado del trinquete, sea ON cuando el trinquete se encuentra activo u OFF cuando está inactivo, en el tablero de visualización aparece como la entrada número tres y se encuentra en buen estado. (figura 2-26)

Figura 2-26: Sensor para el trinquete.



Nombre de la fuente: El autor.

- Final de carrera para las guardas de protección

Ubicado en las guardas de protección de la máquina, tanto en las guardas del motor como en las guardas del embrague, sirve para parar la maquina en caso de que se retiren cuando la máquina esté en funcionamiento, en el tablero de visualización aparece como la entrada número cuatro y se encuentra en buen estado. (figura 2-27)

Figura 2-27: Sensor en las guardas de protección.



Nombre de la fuente: El autor.

- Motor en sobrecarga

Se encuentra dentro del motor y se activa cuando el sensor detecta una sobrecarga en el motor, en el tablero de visualización aparece como la entrada número cinco y se encuentra en buen estado.

2.2.7 Entradas analógicas

- Encoder

Un Encoder, también denominado generador de pulsos, es un elemento electromecánico, es decir relaciona la energía eléctrica con la mecánica, que transforma el movimiento, es decir energía mecánica, en una señal eléctrica, que pueden ser pulsos, ondas, entre otras. Esta señal eléctrica puede ser leída por algún tipo de dispositivo con el fin de controlar este movimiento.

La máquina de impactos Charpy cuenta con un enconder de tipo incremental en el cual la señal de salida se transmite por un hilo en el que se transmite un pulso por cada ángulo

girado, de tal forma que, si se tiene un encoder de 1000 ppr, tendremos un pulso por cada $360^\circ/1000=0,360^\circ$.

Las características del encoder son las siguientes:

- 1024 PPR.
- Voltaje de alimentación de 5V.
- Marca Autonics.

En el punto 2.3.2 se puede observar la instrumentación del encoder y la relación entre el voltaje y el grado del péndulo.

Al revisar el funcionamiento del encoder se muestra que se encuentra en buen estado y se puede usar para la realización del software. (véase figura 2-28)

Figura 2-28: Encoder.



Nombre de la fuente: El autor.

La razón por la cual no se abrió la caja donde se encuentra el encoder fue porque tiene pegamento y para evitar dañar el dispositivo se decidió dejarla tal cual como estaba.

El encoder tiene una salida la cual es una pantalla de visualización en la cual se puede ver el dato del voltaje del encoder, de esta manera se comprobó que el encoder se encuentra en perfecto estado.

2.2.8 Salidas digitales

- Motor en funcionamiento

Esta salida digital funciona para controlar el estado del motor, sea ON u OFF, se hicieron pruebas activando y desactivando esta salida analógicamente por medio de las tarjetas de acoplamiento y se comprobó que la salida funciona correctamente.

- Embrague en funcionamiento

Esta salida digital sirve para controlar el estado del embrague, sea ON u OFF, se hicieron pruebas activando y desactivando la salida analógica por medio de las tarjetas de acoplamiento y se comprobó que la salida funciona correctamente.

- Trinquete en funcionamiento

Esta salida sirve para controlar el estado del trinquete sea ON u OFF, se hicieron pruebas activando y desactivando la salida analógica por medio de las tarjetas de acoplamiento y se comprobó que la salida funciona correctamente.

2.3 Desarrollo del software en LabVIEW 2016

Para el desarrollo del software se seleccionó el programa LabVIEW 2016 versión 16.0 de 32 bits, la razón por la cual se escogió este programa y no otros lenguajes de programación es porque cuenta con las herramientas necesarias para realizar el control electrónico que requiere la máquina y también por la compatibilidad que tiene con la tarjeta de adquisición de datos.

2.3.1 Definición de los puertos para las entradas y salidas de la tarjeta DAQ

Lo primero que se realizó antes de definir los puertos para las entradas y salidas fue crear un proyecto en el programa LabVIEW el cual se guardó con el nombre “Proyecto Tesis”.

En este apartado se pretende mostrar cómo se definen las entradas y salidas digitales o analógicas, este es el primer paso para empezar a trabajar en el desarrollo del software para el control de la máquina. Como aclaración, para no generar confusiones en el

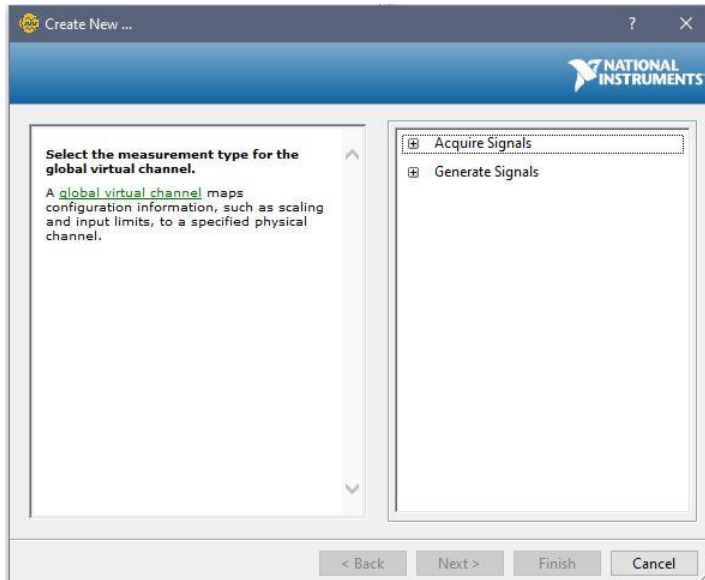
desarrollo del software ni con las conexiones de las entradas y las salidas digitales, se usaron los mismos nombres que vienen predeterminados en la tarjeta.

Entradas Digitales

Como ya se nombró anteriormente, existen cinco entradas digitales, para definir sus puertos se usó la herramienta de DAQmx en el programa LabVIEW en la cual se pueden ajustar cada una de las entradas para posteriormente visualizarlas en el programa. Antes de comenzar con el procedimiento para definir los puertos para las entradas y salidas cabe aclarar que se debe conectar la tarjeta de adquisición de datos por el puerto USB al PC en el cual se realizará el programa. A continuación, se muestra el procedimiento que se utilizó para definir los puertos para las entradas digitales:

En la ventana del proyecto se da clic derecho en “My Computer” luego en “New”, “NI-DAQmx channel” y aparecerá el menú que se muestra en la figura 2-29. [16]

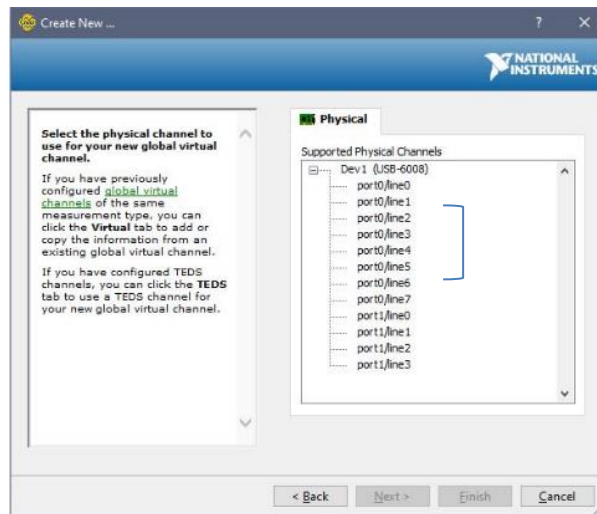
Figura 2-29: Menu DAQmx channel LabVIEW 2016.



Nombre de la fuente: LabVIEW 2016.

Se selecciona “acquire signals”, “digital input”, “line input” y aparece un menú como se muestra en la figura 2-30.

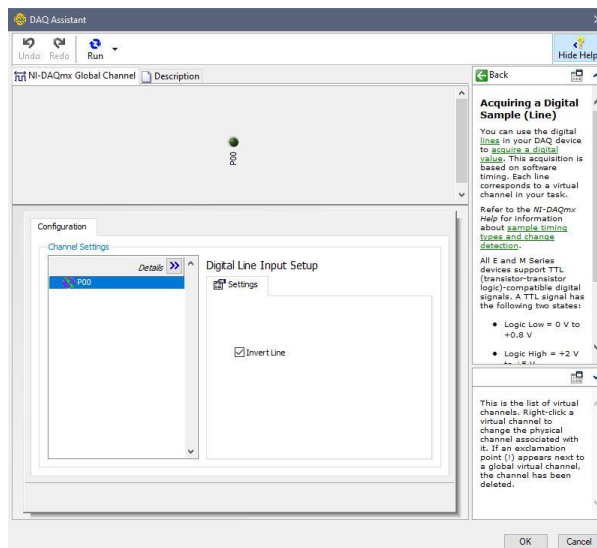
Figura 2-30: Submenú entradas digitales DAQmx channel LabVIEW 2016.



Nombre de la fuente: LabVIEW 2016.

Luego de seleccionar el puerto y dar clic en “next” se presenta un menú (véase figura 2-31) para configurar el puerto, en esta ventana para lo que respecta a entradas digitales se chulea la casilla de “invert line”, la opción nos permite revertir la polaridad de la linea, la razón por la cual se escogió esta configuración fue porque al momento de probar el funcionamiento del sistema de control electrónico se evidencio que las entradas digitales marchan con lógica negada.

Figura 2-31: Menú de configuración de puertos digitales en LabVIEW 2016.

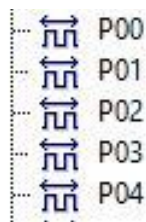


Nombre de la fuente: LabVIEW 2016.

Para este caso se selecciona el puerto uno de la línea cero a la cuatro para las entradas digitales, el procedimiento se debió realizar para cada una de las entradas.

como resultado quedan nombradas como se puede observar en la figura 2-32.

Figura 2-32: Definición de los canales de entrada digitales en LabVIEW 2016.



Nombre de la fuente: LabVIEW 2016.

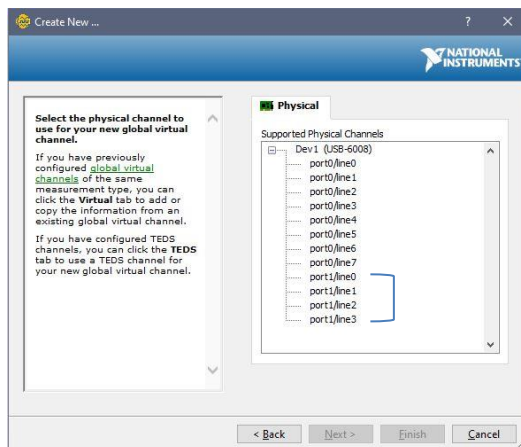
Salidas digitales

La máquina cuenta con 4 salidas digitales, en el apartado de la caracterización electrónica se definen cada una de estas, para este caso se usó la misma herramienta de DAQmx para definir las dentro del programa, a continuación, se muestra el procedimiento que se siguió:

En la ventana del proyecto se da clic derecho en “My Computer” luego en “New”, “NI-DAQmx channel” y aparecerá el mismo menú que se muestra en la figura 2-31.

Se selecciona “generate signals”, “digital output”, “line output” y aparece un menú como se muestra en la figura 2-33.

Figura 2-33: Submenú salidas digitales DAQmx channel LabVIEW 2016.

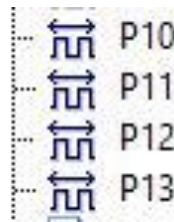


Nombre de la fuente: LabVIEW 2016.

Como se mostró anteriormente en la definición de los puertos de entrada digitales, para el caso de la configuración de los puertos para las salidas digitales también se selecciona la casilla “invert line” por la misma razón, las salidas digitales marchan con lógica negada. (véase figura 2-31)

En la figura 2-30 se observan las cuatro salidas seleccionadas, para esto se usó el puerto número uno y las líneas de la cero a la tres, estas salidas digitales quedan definidas como se puede ver en la figura 2-34.

Figura 2-34: Definición de los canales de salida digitales en LabVIEW 2016.

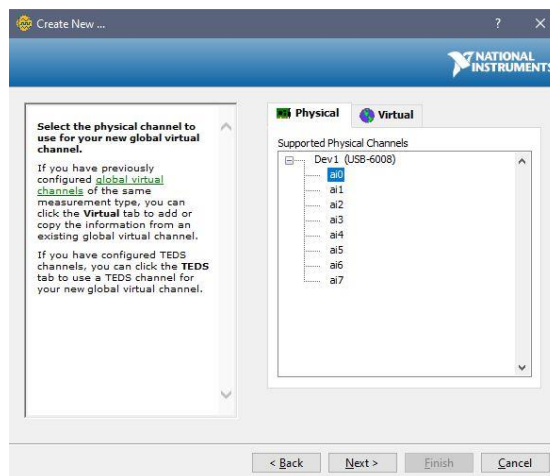


Nombre de la fuente: LabVIEW 2016.

Entrada analógica (Encoder)

En el caso de la definición del puerto para entrada analógica se realizan los mismos pasos para agregar un canal tal como se muestran anteriormente en la figura 2-27, seguido a esto se selecciona “acquire signals”, “analog input”, “voltage” y aparece un menú como se muestra en la figura 2-35.

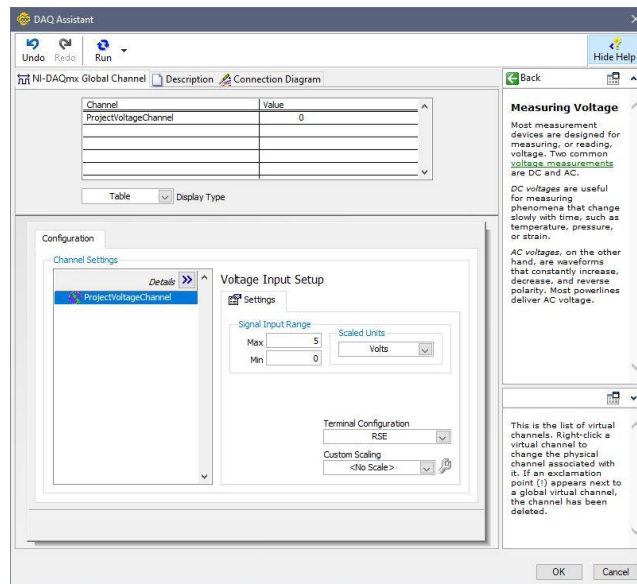
Figura 2-35: Submenú de entradas analógicas DAQmx channel LabVIEW 2016.



Nombre de la fuente: LabVIEW 2016.

Se selecciono el puerto AI0 para la única entrada analógica que se necesita, luego de hacer clic en “next” nos lleva a la configuración del puerto, en la cual se puede ajustar el rango de lectura y otras características, se configuro con un rango entre 0 y 5V y el tipo de configuración terminal se seleccionó como RSE (la medida está hecha respecto a la tierra), la razón por la cual se utilizó este tipo y no el diferencial es porque se va a medir un voltaje y se necesita la mejor resolución posible. (figura 2-36)

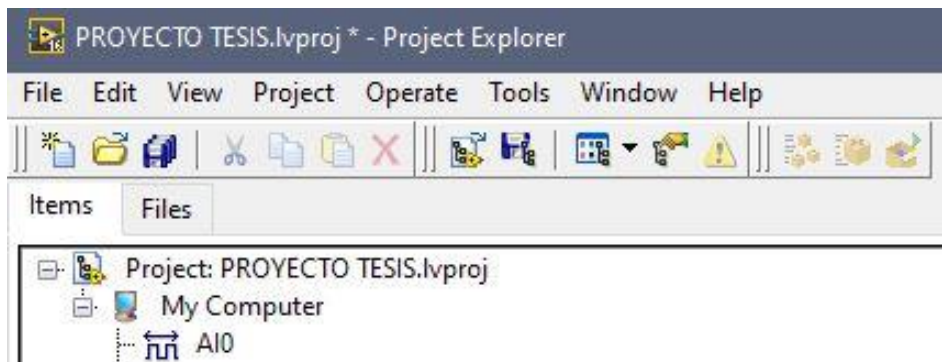
Figura 2-36: Menú para la configuración de puerto AI0 en LabVIEW 2016



Nombre de la fuente: LabVIEW 2016.

Al dar clic en “ok”, la entrada analógica queda guardada como se puede observar en la figura 2-37.

Figura 2-37: Definición del puerto para la entrada analógica en LabVIEW 2016



Nombre de la fuente: LabVIEW 2016.

2.3.2 Instrumentación y calibración del encoder

Como se señaló anteriormente, la máquina cuenta con un encoder el cual es la única entrada analógica del control electrónico, a diferencia de las I/O digitales, esta entrada va directamente conectada a la tarjeta, tiene una variación de 0 a 5V dependiendo los ángulos que se midan en el péndulo, además de esto se puede observar la variación del voltaje que provoca el encoder en la pantalla de visualización.

Lo primero que se debe realizar es una fórmula de regresión lineal, se tomó un nivel para ajustar el péndulo en cuatro ángulos distintos (-145° , -90° , 0° y 90°) para observar el nivel de tensión dado por el encoder en cada uno de los ángulos y así obtener los datos para realizar la fórmula para convertir el voltaje de entrada en el ángulo del péndulo. En la figura 2-38 se puede observar cómo se ajusta el péndulo a los -90° para obtener el voltaje en el laboratorio de materiales de la universidad Antonio Nariño sede Tunja.

Figura 2-38: Ajuste del péndulo a -90°



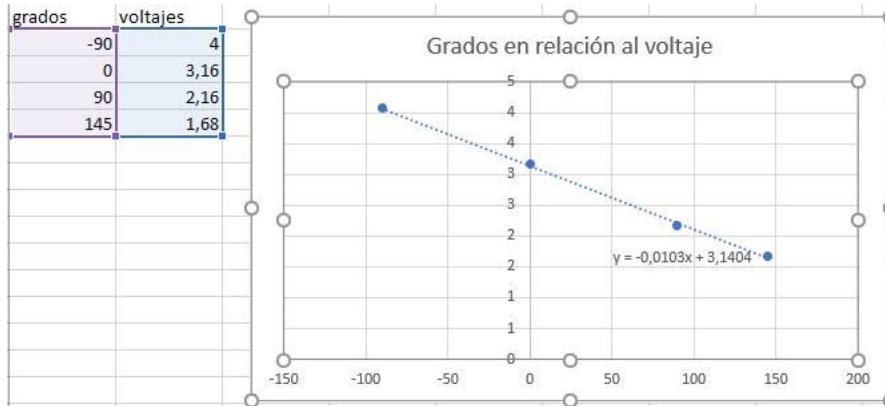
Nombre de la fuente: El autor.

Tabla 2-5: Relación entre el ángulo y el voltaje obtenido.

Ángulo	Nivel de tensión
-90°	4
0°	3,16
90°	2,16
145°	1,68

Con la ayuda de Excel, programa del paquete de instalación de Microsoft Office profesional plus 2019 se ingresaron los datos de los ángulos y los voltajes obtenidos anteriormente, seguido a esto se realizó una curva de regresión, como resultado se obtuvo la siguiente recta con su respectiva formula:

Figura 2-39: Curva de regresión lineal.



Nombre de la fuente: Microsoft Office Excel 2019.

Como se puede ver en la figura anterior se presenta la siguiente ecuación lineal:

$$Y = (-0,0103 * X) + 3,1404$$

“Y” indica el voltaje y “X” indica los ángulos, para este caso se necesita el valor de los ángulos, despejando “X” la ecuación queda de la siguiente forma:

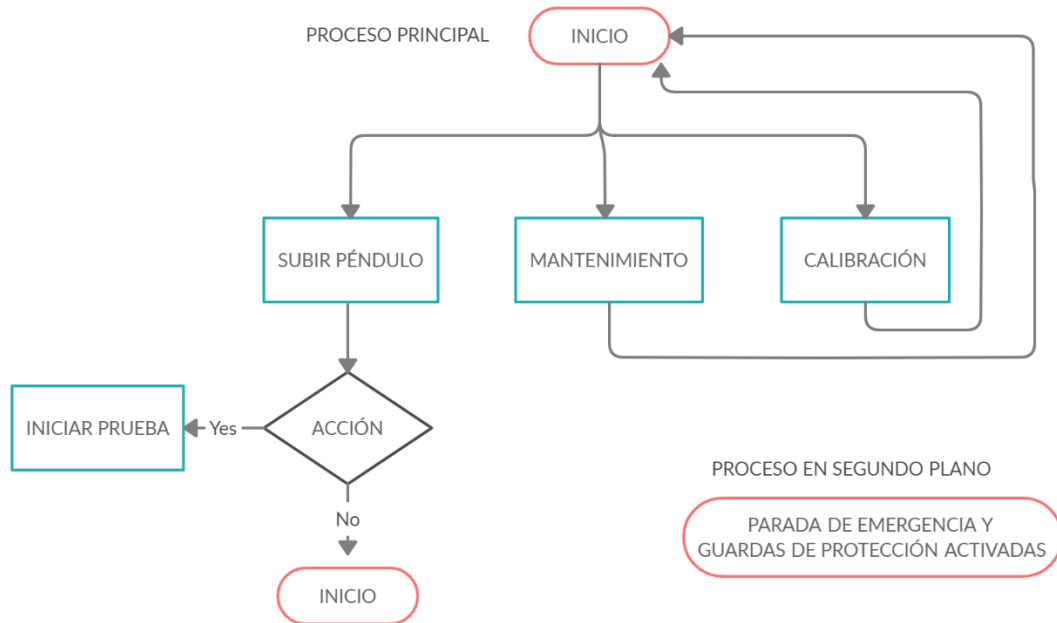
$$X = \frac{(Y - 3,1404)}{-0,0103}$$

Con esta fórmula ya se puede saber el ángulo del péndulo para luego calcular la energía que absorbe la probeta.

2.3.3 Estructura para realizar el programa

A continuación, se muestra un diagrama de flujo que contiene la estructura que se siguió para realizar el software para el control de la máquina de impactos Charpy.

Figura 2-40: Diagrama de flujos con la estructura básica del software.



A continuación, se describe cada uno de los ítems que tendrá el programa:

- Inicio

Se optó por hacer un menú con tres opciones para controlar la máquina en el cual se tienen las ventanas de “Mantenimiento”, “Subir péndulo”, “Calibración” y el botón de parada para salir del programa.

- Mantenimiento

En esta ventana están todas las entradas y salidas tanto analógicas como digitales para poder ver el funcionamiento de cada una de ellas individualmente, en caso tal de que algo no funcione de manera correcta, en este ítem se le puede hacer el respectivo mantenimiento o simplemente para hacer una comprobación de inicio antes de empezar las pruebas.

- Subir péndulo

Para esta opción se prepara la máquina por medio de un botón el cual sube el péndulo hasta la posición de prueba, en este caso se muestra la posición angular del péndulo y la entrada numero dos la cual corresponde al sensor que indica que el péndulo se encuentra en posición de prueba, cuando ocurre este suceso se procede al paso del caso de “iniciar prueba” para continuar.

- Calibración

En esta ventana se da la opción de modificar la fórmula de regresión lineal la cual entrega el ángulo de la posición del péndulo para poder calibrar los datos de salida.

- Parada de emergencia y guardas

Funciona como un proceso aparte dentro del programa, no tiene visualización en el panel frontal, se encuentra activo en todo momento, en caso de que se retiren las guardas de protección o se active la parada de emergencia automáticamente se observa.

2.3.4 Programación del menú en LabVIEW

- Máquina de estados

La arquitectura de la máquina de estados se puede utilizar para implementar complejos algoritmos de toma de decisiones representados por diagramas de estado o diagramas de flujo. Más precisamente, una máquina de estados implementa cualquier algoritmo descrito por una "máquina de Moore", que realiza una acción específica para cada estado en el diagrama.

Las máquinas de estado se utilizan en aplicaciones donde existen estados distinguibles. Cada estado puede conducir a uno o varios estados y también puede finalizar el flujo del proceso. Una máquina de estado se basa en la entrada del usuario o en el cálculo del estado para determinar a qué estado ir a continuación. Muchas aplicaciones requieren un estado de "inicialización", seguido de un estado predeterminado en el que se pueden realizar muchas acciones diferentes.

Para programar la máquina de estados se usó un “case”, se define como un recuadro donde se pueden poner diferentes casos, en esta ocasión son los siguientes: Inicio, Subir Péndulo, Calibración, Iniciar Prueba y Mantenimiento. En la siguiente figura se puede

observar la lógica de la máquina de estados y otras herramientas que se usaron para realizar el menú.

Figura 2-41: Identificación de la máquina de estados.



Nombre de la fuente: El autor.

Como se puede ver en la anterior imagen, los numero 2 y 3 indican el funcionamiento de una máquina de estados, ya que en el número 2 se selecciona el caso que se requiere y en el número 3 se programa la rutina de cada uno de los casos.

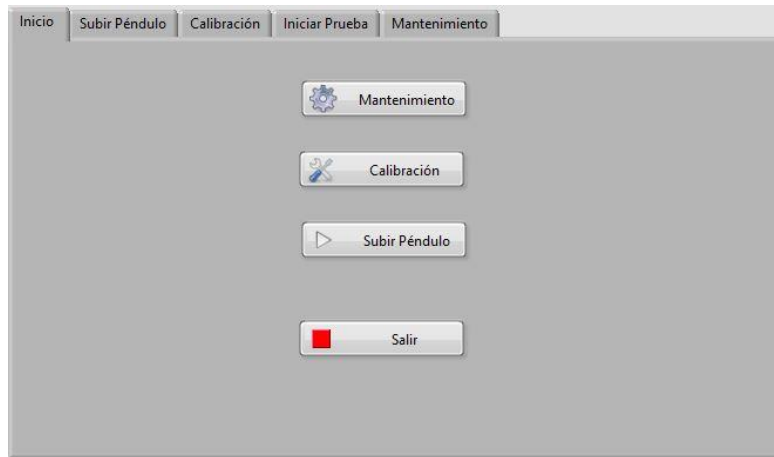
A continuación, se describen cada uno de los números señalados en la figura 2-39.

1. Tab Control

Se puede utilizar la herramienta de “tab control” para superponer los controles e indicadores del panel frontal en un área más pequeña. Un tab control consta de páginas y pestañas. Agregue objetos del panel frontal a las páginas del control de pestañas y use la pestaña como selector para mostrar cada página.

Esta herramienta se usó para organizar el programa por medio de pestañas, en la figura 2-40 se puede ver el tab control en el panel frontal del programa.

Figura 2-42: Tab control en panel frontal de LabVIEW 2016.



Nombre de la fuente: El autor.

2. Flat sequence structure

Consta de uno o más subdiagramas que se ejecutan secuencialmente. Se utiliza la estructura Flat Sequence para asegurarse de que un subdiagrama se ejecute antes o después de otro subdiagrama.

Para el caso del programa, esta herramienta se usó para ejecutar el estado “inicio” al principio de la ejecución del software, es decir, al correr el programa, aunque haya quedado guardado otro estado, con este subdiagrama se reinicia al estado de “inicio”.

3. Case

Una estructura de Casos tiene dos o más subdiagramas o casos. Solamente un subdiagrama es visible a la vez y la estructura ejecuta solamente un caso a la vez. Un valor de entrada determina cual subdiagrama se ejecuta.

La estructura “case” es muy importante para el programa a desarrollar, ya que en cada uno de los casos se introduce la rutina que se necesita para el funcionamiento de la máquina de impactos, en esta ocasión se necesita una estructura “case” con 5 subdiagramas: Inicio, Subir Péndulo, Calibración, Iniciar Prueba y Mantenimiento.

4. Ciclo While

Ejecuta el código que contiene hasta que ocurre una condición.

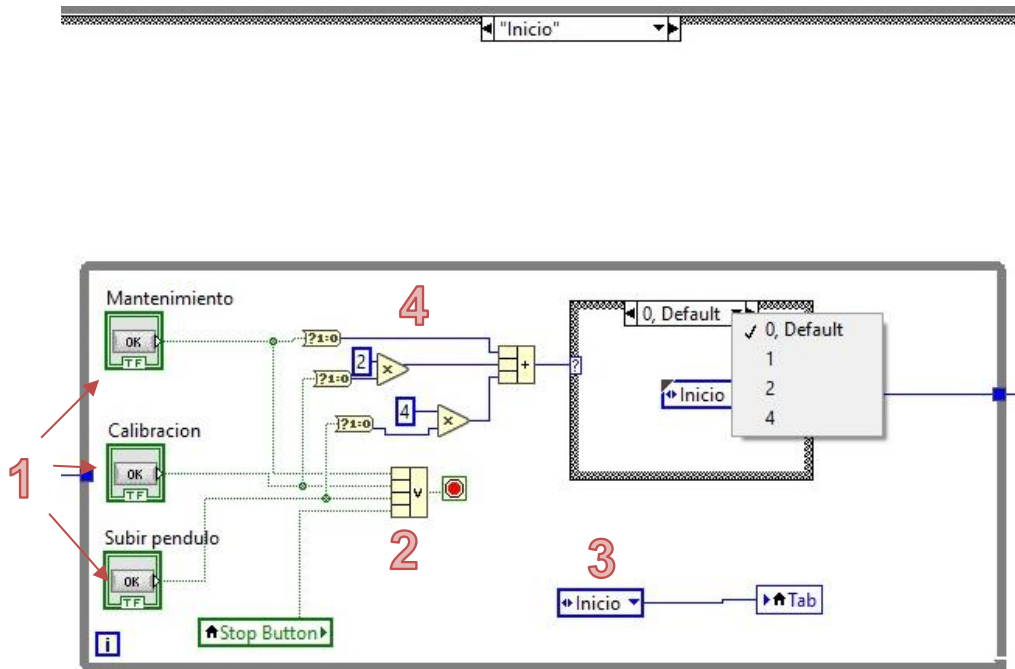
Para el caso del desarrollo del software los ciclos while son importantes, ya que se necesitan ejecutar rutinas varias veces, para el menú, el ciclo while se usa para que en

todo momento este leyendo si hay alguna interacción del usuario con el programa y quiere desplazarse entre las pestañas del tab control.

Rutina del case “Inicio”

El case más importante es el de “inicio” ya que este es el menú con el que vamos a poder desplazarnos dentro del programa. En la figura 2-43 se muestra la rutina que se programó.

Figura 2-43: Case “Inicio”



Nombre de la fuente: El autor.

A continuación, se identifican los números señalados en la figura anterior:

1. Controles

Los controles tienen dos estados, True o False, o bien se puede interpretar como un 1 o un 0, cada uno aparece en el menú como una caja independiente, y su función es llevarnos a la rutina seleccionada.

2. Compound arithmetic

Como la rutina de inicio se encuentra dentro de un ciclo while, este debe parar cuando se oprime alguno de los controles explicados anteriormente, para esto se usa la función “compound arithmetic” la cual permite introducir varios datos en este caso de tipo booleanos, para que el resultado sea parar el ciclo while e ir a la rutina seleccionada por el usuario.

3. Variable local del Tab Control

Como parte de la optimización del software se introdujo un bloqueo en la pestaña actual, para que el usuario no pueda cambiar la pestaña directamente dando clic sobre esta, sino al contrario, cuando se seleccione alguno de los botones del menú inicio, este haga el cambio de ventana, para lograrlo se introdujo una variable local del tab control con una constante de “inicio”.

4. Identificador del control pulsado

Para identificar que botón se presiona al momento de encontrarse en el menú inicio se convierten los datos booleanos (true/false) a binarios (0/1) con el objetivo de identificar que cuando se presione el botón “mantenimiento” se reconozca el case “0”, cuando se presione “calibración” se reconozca el case “2” y cuando se oprima “subir péndulo” reconozca el case “4”, dentro de cada case se encuentra la redirección a la rutina correspondiente.

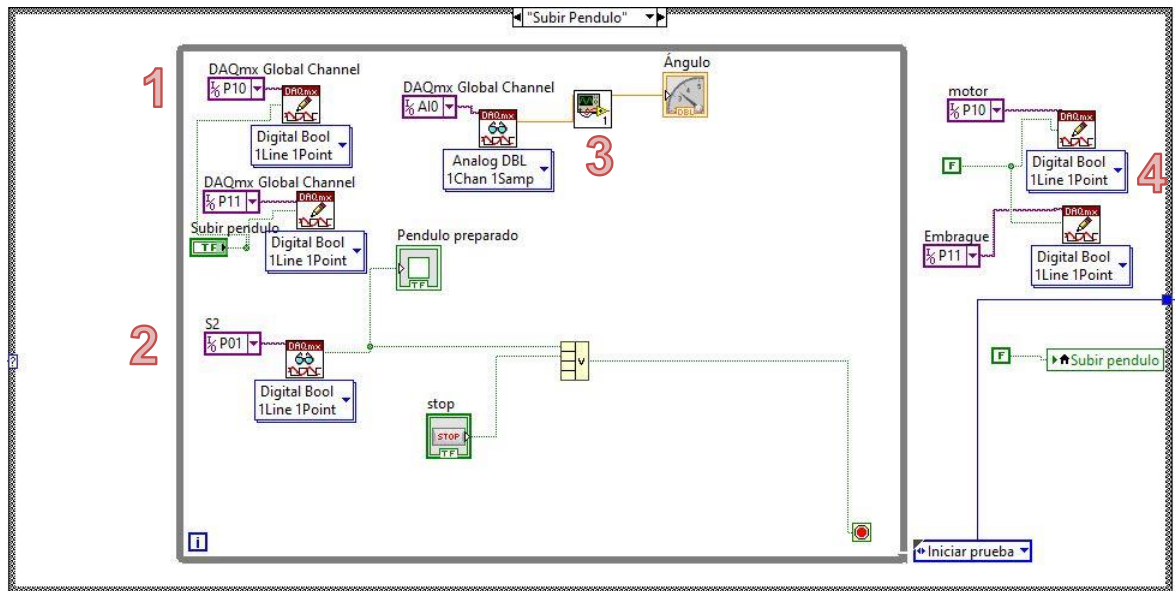
Rutina del case “Subir Péndulo”

El objetivo de la rutina es que al momento de presionar el botón de “subir péndulo” se prepare el péndulo a la posición de prueba la cual es de 140°, para esta rutina se programaron las siguientes entradas y salidas:

- P01: Sensor del péndulo preparado.
- AI1: Entrada del encoder.
- P10: Funcionamiento del motor.
- P11: Funcionamiento del trinquete.

En la figura 2-44 se puede observar la rutina programada para el case “subir péndulo”.

Figura 2-44: Case “Subir Péndulo”



Nombre de la fuente: El autor.

A continuación, se describen los números que se visualizan en la figura 2-44.

1. Escritura para las salidas digitales

Dentro de LabVIEW 2016 existe una herramienta llamada DAQmx, nos permite leer y escribir datos si poseemos una tarjeta de adquisición de datos, en esta ocasión por ser salidas digitales se usó el DAQmx write con el cual se puede escribir en las salidas P10 y P11 por medio de un control booleano como se muestra en la figura 2-42.

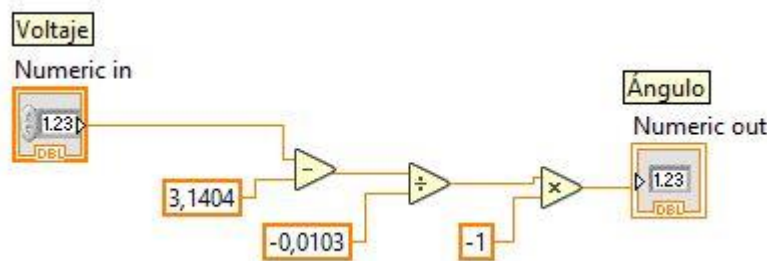
2. Lectura para las entradas digitales

Para leer las entradas digitales se usó la herramienta DAQmx read con para el puerto P01, cabe aclarar que cuando esta señal se activa, automáticamente se finaliza el ciclo while y por consecuente se redirecciona a la pestaña de “Iniciar prueba”.

3. Lectura de la entrada analógica y su visualización

Para poder leer la entrada del encoder se usó DAQmx read, pero configurado para leer de manera analógica, en esta rutina se pretende mostrar el ángulo por medio de una función para indicar llamada “gage”, como se muestra anteriormente el dato del encoder se obtiene en forma de voltaje, para poder mostrar el ángulo se introduce la fórmula de regresión lineal en un subVI (figura 2-45).

Figura 2-45: SubVi “Conversion.vi”



Nombre de la fuente: El autor.

4. Proceso al salir del ciclo while

Al momento que se cumplen las condiciones para parar el ciclo while y continúe con la siguiente secuencia del programa, se desactivan los puertos P10 y P11 correspondientes al motor y al embrague respectivamente, además se usa una variable local del botón el cual presiona para subir el péndulo, esto con el objetivo de cuando se vuelva a esta rutina todo este en estado OFF.

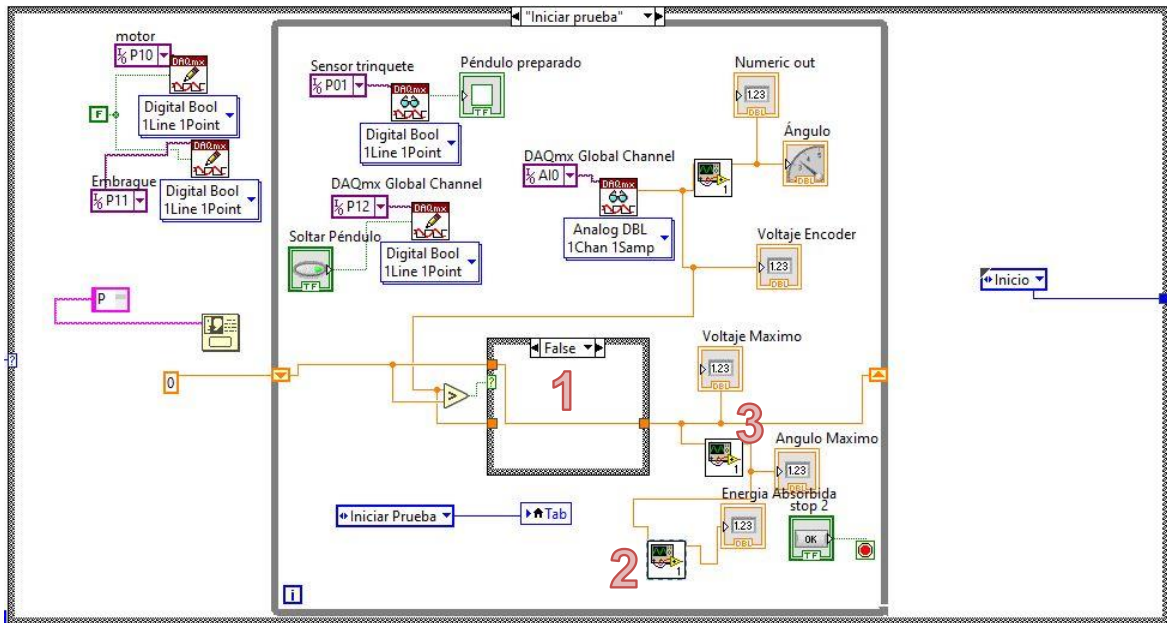
Rutina del case “Iniciar Prueba”

Esta rutina tiene el objetivo de hacer la prueba tipo Charpy y guardar sus datos, tales como el ángulo máximo, voltaje máximo y energía absorbida, para poder tomar estos datos se necesitan las siguientes entradas y salidas digitales:

- P01: Sensor del péndulo preparado.
- AI0: Entrada del encoder.
- P10: Funcionamiento del motor.
- P11: Funcionamiento del electro-embrague.
- P12: Funcionamiento del trinquete.

La rutina se puede observar en la siguiente imagen:

Figura 2-46: Case “Iniciar Prueba”



Nombre de la fuente: El autor.

Esta rutina solo se puede ejecutar cuando el péndulo se encuentra preparado, podría decirse que es una subrutina de “subir péndulo”, recién se entra en el case, se desactivan las salidas P10 y P11 las cuales corresponden al motor y al electro-embrague.

Los indicadores numéricos en la figura se describen a continuación:

1. Case para tomar el ángulo y el voltaje máximo

- **Shift register:** Use los registros de desplazamiento cuando quiera pasar valores de iteraciones anteriores a través del ciclo a la siguiente iteración. Un registro de desplazamiento aparece como un par de terminales directamente opuestas en las partes verticales del borde del ciclo.

El registro de desplazamiento es necesario en esta rutina ya que reinicia el valor del ángulo máximo una vez finalizada la prueba de impactos Charpy.

Se realiza una comparación con la función “mayor que” (>) en el cual se compara el 0 de la constante, la cual esta cableada al shift register, con la lectura del puerto AI0 la cual corresponde al voltaje, de esta manera se guarda el voltaje máximo que alcanza el péndulo, seguido a esto se utiliza el SubVI para la conversión de voltaje a grados para calcular el ángulo máximo y así poder visualizar las dos variables con indicadores numéricos.

Se utiliza un case con dos estados (true/false), cuando la máquina de estados se encuentra en true se almacena el dato del voltaje máximo, el cual se utiliza para obtener el ángulo máximo y la energía absorbida, estos datos se visualizan en el panel frontal, para el caso de false, se visualiza el 0 de la constante la cual reinicia los datos cada vez que se reinicia una prueba.

2. SubVI para la fórmula de energía absorbida

En este apartado es importante resaltar que para hallar la energía absorbida por la probeta se debe calcular el ángulo que se obtiene con el dato del encoder, para eso se usa la siguiente formula:

Para obtener la energía absorbida por la probeta, se utiliza la siguiente formula:

$$E_{pr} = E_i - E_f$$

E_{pr} : Energía absorbida por la probeta.

E_i : Energía inicial potencial de la máquina (258,84 Julios).

E_f : Energía final, se calcula con el ángulo máximo.

Ejemplo:

Angulo = 131°

$E_i = 258,84 \text{ J}$

$$E_{pr} = 258,84 \text{ J} - (146,563 * (1 - \cos(131^\circ)))$$

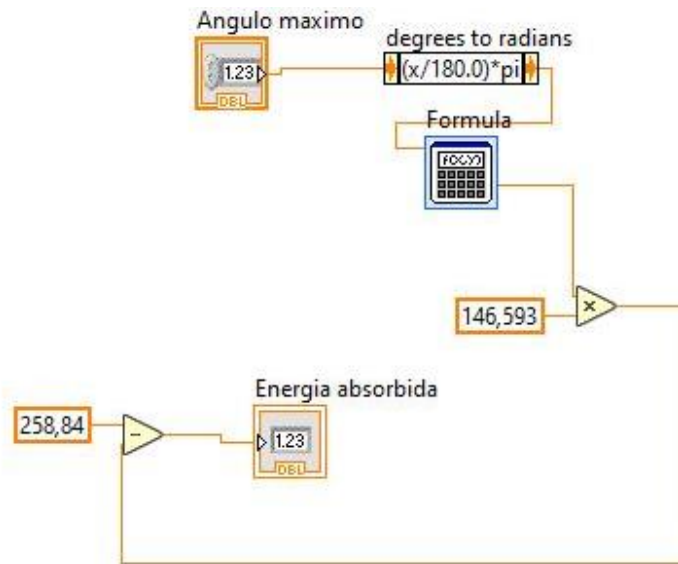
El resultado es el siguiente:

$$E_{pr} = 258,84 \text{ J} - 242,71 \text{ J}$$

$$E_{pr} = 16,13 \text{ J}$$

En la figura 2-47 se puede observar el SubVI en el cual se programa la anterior formula.

Figura 2-47: SubVI formula de energía absorbida.



Nombre de la fuente: El autor.

Para ingresar la formula se usó un SubVI para minimizar el código principal y organizarlo mejor, ya que la función de “cos” del programa LabVIEW funciona con radianes, se utilizó una fórmula de conversión de grados a radianes como se puede ver en la figura anterior.

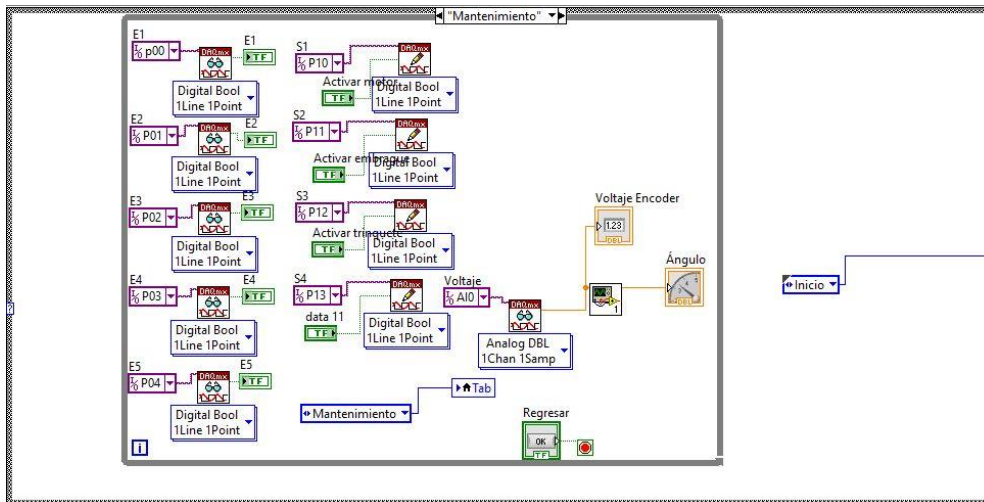
3. SubVI formula de regresión lineal

Para convertir el voltaje dado por la entrada analógica a la posición del péndulo se utiliza en SubVI con la fórmula de regresión lineal. (véase figura 2-47)

Rutina del case “Mantenimiento”

En la rutina de mantenimiento se presentan todas las entradas y salidas analógicas y digitales, en el panel frontal se puede observar el estado de los sensores, el ángulo, y se puede interactuar con las salidas digitales; en la figura 2-48 se puede ver como se definen las lecturas de los puertos y su respectiva visualización.

Figura 2-48: Case “Mantenimiento”

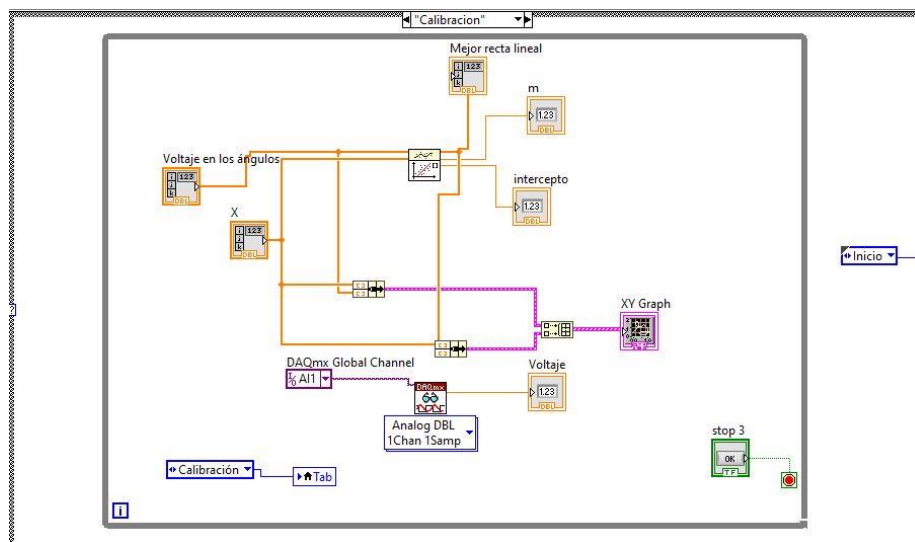


Nombre de la fuente: El autor.

Rutina de case “Calibración”

En esta rutina se programó la calibración del encoder el cual entrega el dato de la posición del péndulo, el objetivo de esta rutina es obtener la fórmula de regresión lineal con la cual se obtiene el dato del ángulo por medio de cuatro ángulos (-90°,0°,90° y 145°).

Figura 2-49: Case “Calibración”



Nombre de la fuente: El autor.

2.3.5 Programación de la parada de emergencia

Como se puede observar en el organigrama (véase figura 2-40) que se creó para estructurar el programa, hay un apartado llamado “parada de emergencia y guardas”, hace referencia a una parada en caso de que se retiren las guardas o se presione el botón de parada de emergencia, en el software que se creó aparece como una rutina activa en todo momento, esto por si se activa alguna de las dos entradas ya mencionadas.

En el momento en el que ocurre una parada de emergencia, ya sea en cualquiera de las pestañas, el programa debe lanzar una alerta con la entrada que se activó, luego de esto se debe hacer la respectiva revisión de la entrada, ya sea las guardas o el botón de emergencia, cuando se presione el botón de “ok” y el programa compruebe que todo se encuentra correctamente, se redirecciona al modo de mantenimiento para un caso en el que se necesite revisar las entradas y las salidas de la máquina.

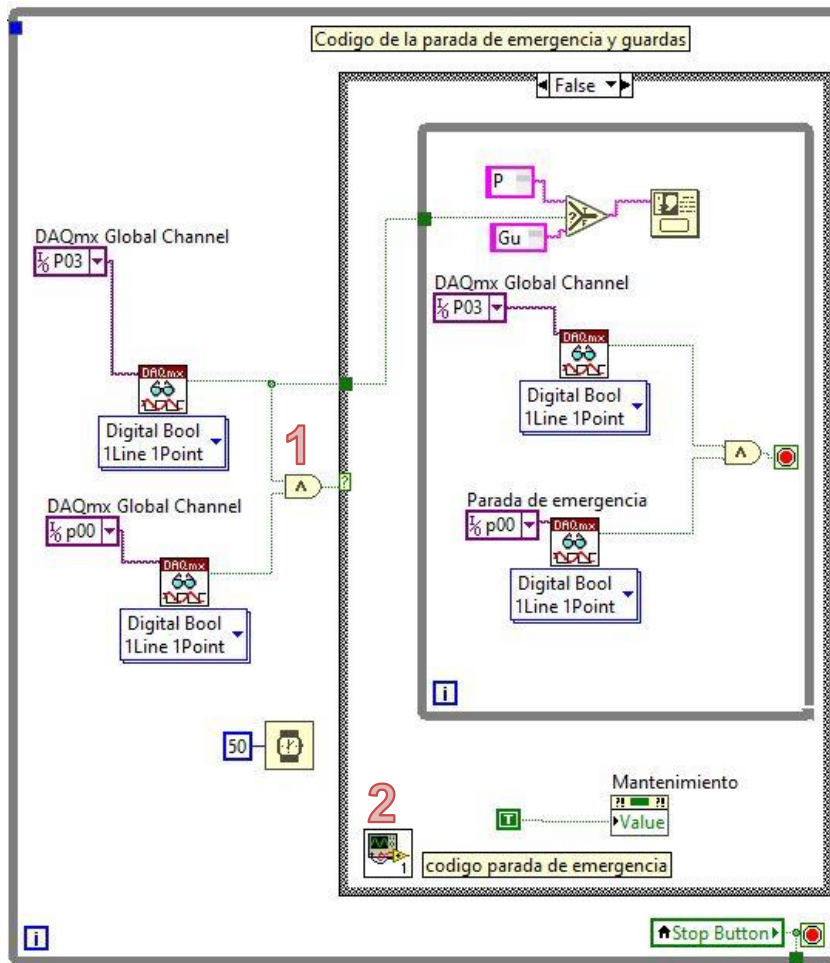
Además de esto, cuando se activa alguna de las dos entradas, automáticamente se cumplen las siguientes condiciones con el objetivo de prevenir daños en el operador de la máquina:

- P10 (funcionamiento del motor): OFF.
- P11 (funcionamiento del embrague): ON.
- P12 (funcionamiento del trinquete): OFF.

Los puertos de entrada que corresponden a la parada de emergencia y a las guardas de protección son el puerto P00 y P03 respectivamente, se definen con la ayuda de DAQmx dentro de la rutina.

En la siguiente imagen se puede ver la rutina de la parada de emergencia y las guardas.

Figura 2-50: Rutina para la parada de emergencia y retiro de guardas.



Nombre de la fuente: El autor.

A continuación, se describen cada uno de los números indicados en la figura anterior:

1. Condición AND

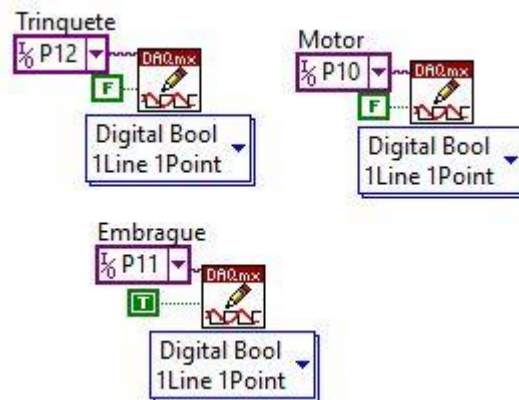
Si las entradas P00 y P03 están en “true” el programa se ejecuta normalmente, ya que significa que no se ha activado ninguna alarma, para el caso contrario de que la función AND lea que alguna de las entradas se encuentra en false, entra al case y se ejecuta el aviso de la entrada activada a la que corresponde, dentro de este case se vuelven a leer las entradas digitales para que cuando se revisen los sensores de la máquina y los dos

estados se encuentren en “true” se dirija a la pestaña de mantenimiento por medio de una variable local como se puede ver en la figura 2-50.

2. SubVI para la parada de emergencia y las guardas de protección

En este subVI (véase figura 2-51) se encuentran las condiciones anteriormente mencionadas.

Figura 2-51: SubVI parada de emergencia y retiro de guardas de protección.



Nombre de la fuente: El autor.

3. Análisis y resultados

En este capítulo se pretende poner en marcha la máquina de impactos Charpy y conectarla a la tarjeta de adquisición de datos para probar el funcionamiento del software que se desarrolló en este trabajo de grado y mostrar los resultados obtenidos.

3.1 Comparación con el software realizado anteriormente

Con la ayuda del trabajo de grado realizado por los compañeros que automatizaron la máquina y realizaron la primera versión del programa el cual no se encuentra actualmente se pretendió hacer una comparación entre el software que desarrollaron con el que se diseñó.

3.1.1 Definición de los puertos

Para la definición de los puertos es necesario aclarar que se necesita la mejor frecuencia al momento del muestreo, para definirlos necesariamente se debe hacer por medio de DAQmx, la diferencia es que existen distintas formas de definir los puertos.

Tabla 3-1: Comparación entre la definición de los puertos.

Software anterior	Software actualizado
Tarjeta NI USB 6008 de 12 bits para la adquisición de datos.	Tarjeta NI USB 6008 de 12 bits para la adquisición de datos. Se busco la misma tarjeta con el objetivo de obtener la mayor compatibilidad entre los dispositivos como sensores de medición, el hardware y el software de NI.
Para este caso se utilizó DAQ assistant, cual es una herramienta interactiva para	Al momento de diseñar el software, al principio se usó DAQ assistant, pero al

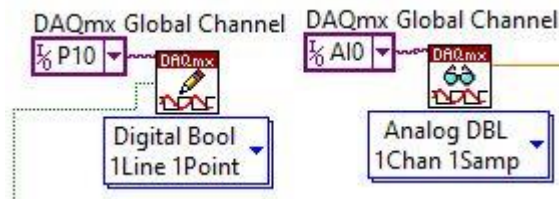
<p>definir puertos directamente desde el VI, es una manera rápida, pero ya que sus datos son más complejos hace un poco lenta la frecuencia de muestreo. (véase en figura 3-1)</p>	<p>investigar se encontró una herramienta (DAQmx) la cual define la entrada independientemente en el proyecto para luego agregarla al VI y poder leerla o escribirla, al hacer las pruebas del tiempo de muestreo que tardaba se encontró que esta herramienta era más rápida, por lo tanto, se optó por usarla en todo el programa. (véase figura 3-2)</p>
--	---

Figura 3-1: Herramienta DAQ assistant.



Nombre de la fuente: LabVIEW 2016.

Figura 3-2: Herramienta DAQmx read y write.



Nombre de la fuente: LabVIEW 2016.

3.1.2 Entorno gráfico

El entorno gráfico del anterior software contaba de 3 pestañas en las cuales se podía interactuar entre ellas, estaban definidas como “prueba Charpy”, “modo mantenimiento” y “subir péndulo” además había una sobrecarga de entradas y salidas la cual hacía que el programa se ejecutara lento.

Para el caso del nuevo software se optó por agregar dos pestañas más y organizar en un menú llamado “inicio”, el cual nos sirve para dirigirnos a las otras pestañas si se oprime

uno de estos botones del panel frontal, además de esto se bloquean las pestañas y se agregan botones para volver al menú inicio, esto con el objetivo de hacer el programa más intuitivo para el operador.

3.2 Puesta en marcha de la máquina

Se procedió a conectar la máquina de impactos Charpy, como se mencionó anteriormente se aisló la parte eléctrica de la electrónica, es decir que como resultado hay una clavija para la conexión de 220 v (alimentación del motor) y otra para la de 110 v (alimentación de la fuente), luego de conectar correctamente las clavijas se suben los breakers que se encuentran en el gabinete del control eléctrico y se prenden los switch del gabinete de control electrónico el cual nos entrega la alimentación de las tarjetas de las mismas, luego de conectar se midieron los voltajes para verificar que la máquina tenga la alimentación que se requiere, el nivel de tensión que deben tener los componentes eléctricos tanto los electrónicos se pueden apreciar la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Nivel de tensión de los componentes eléctricos y electrónicos

Componente	Tensión
Relés de 8 pines	24 v
Fuente de alimentación	110 v a 24 v
Tablero indicador	24 v
Tarjetas de acoplamiento	5 v
Tarjeta de adquisición de datos	5 v
Entradas digitales	12 v
Salidas digitales	24 v
Motor	220 v AC
Contacto	220 v AC
Electro-embrague	24 v DC
Trinquete	24V DC

Luego de verificar los anteriores voltajes se puede hacer uso de la máquina, en caso contrario de que alguno este fallando verifique los cables, clavijas, breakers y cada uno de los ítems señalados en la tabla hasta que aparezca el valor indicado de los voltajes,

en caso de que no funcione hay que realizar un mantenimiento eléctrico y revisar cada uno de sus componentes.

3.3 Conexión de la tarjeta DAQ NI USB-6008

En el capítulo anterior se definieron los puertos para las entradas y las salidas tanto analógicas como digitales, en la figura 3-3 se puede apreciar la conexión de la tarjeta en los respectivos puertos.

Figura 3-3: Conexión a los puertos de la tarjeta NI USB-6008



Nombre de la fuente: El autor.

3.4 Tablero indicado

En la figura 3-4 se muestra el tablero indicador, se pueden ver los testigos encendidos de las entradas y salidas digitales, y de la alimentación de 5 v, 12 v y 24 v.

Figura 3-4: Tablero indicador encendido.



Nombre de la fuente: El autor.

3.5 Prueba del software

Después de conectar las entradas y salidas a sus respectivos puertos de la tarjeta de adquisición de datos y de conectarla por USB al PC se procedió a correr el software, a continuación, se muestran los procesos desde la parte frontal del programa desarrollado.

3.5.1 Pestaña de Inicio

Al correr el programa se visualiza el menú inicio el cual da 4 opciones para seleccionar y dirigirse a las pestañas correspondientes, en el capítulo dos se describen específicamente cada una de las rutinas y como se programaron.

Figura 3-5: Menú inicio en panel frontal



Nombre de la fuente: El autor.

3.5.2 Pestaña para subir el péndulo

Para realizar una prueba primero se debe subir el péndulo a la posición de 145°, en este menú se visualiza un indicador del ángulo y un control para activar el embrague y el motor los cuales hacen que el péndulo se eleve a su posición de prueba, cuando el programa detecta que la entrada numero dos se activa (indicador de que el péndulo se encuentra en posición de prueba) automáticamente se desactiva el motor y el embrague

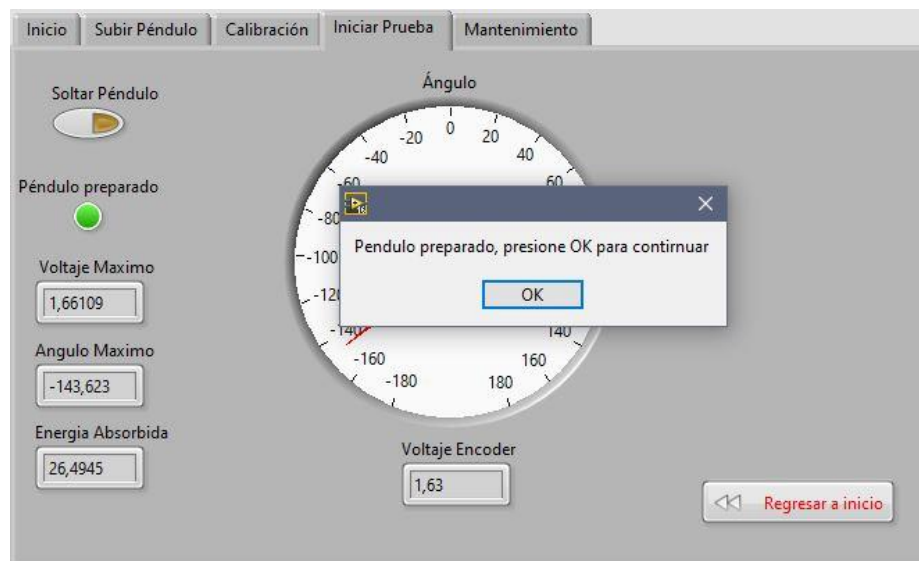
y se redirige a la pestaña “Iniciar Prueba” en las figuras 3-6 y 3-7 se puede observar lo anteriormente mencionado.

Figura 3-6: Menú “Subir Péndulo” en panel frontal



Nombre de la fuente: El autor.

Figura 3-7: Aviso indicador del péndulo.

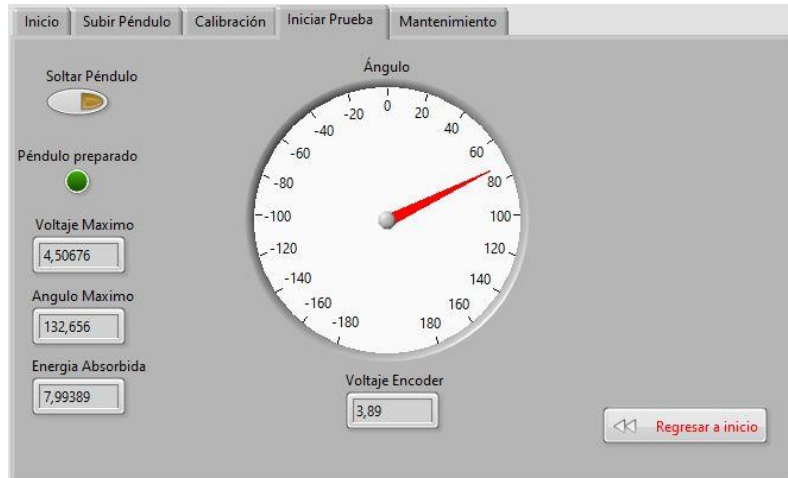


Nombre de la fuente: El autor.

3.5.3 Pestaña para Iniciar Prueba

Solo se puede ingresar a esta rutina cuando el sensor indica que el péndulo se encuentra preparado, en esta pestaña se realiza la prueba de impactos tipo Charpy, para realizar la prueba, se coloca la probeta en el soporte metálico de tal manera que quede ajustado para que el péndulo lo toque, luego de que la probeta se encuentre correctamente puesta en su lugar, se presiona el botón "soltar péndulo", al momento de soltar el péndulo, el software halla las variables que se necesitan para la prueba las cuales corresponden a la energía absorbida, ángulo máximo y voltaje máximo. En la figura 3-8 se puede observar el panel frontal de esta rutina.

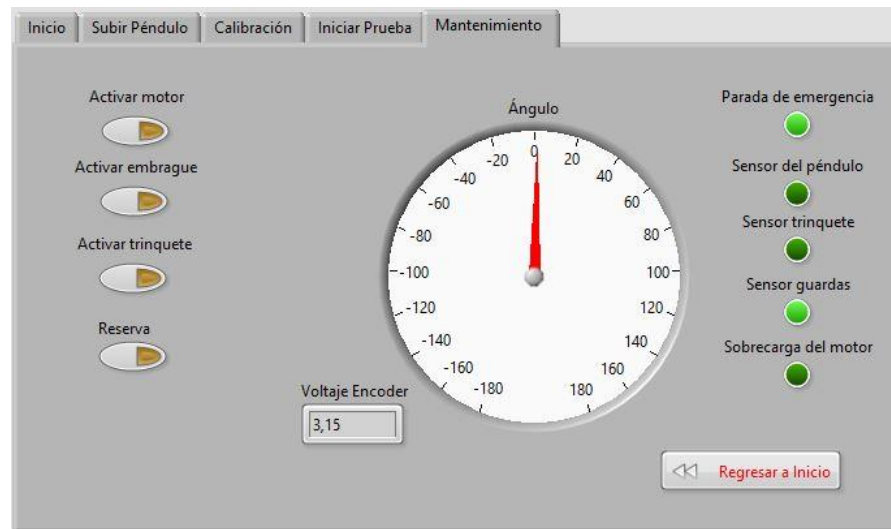
Figura 3-8: Menú para iniciar la prueba de impactos tipo Charpy.



Nombre de la fuente: El autor.

3.5.4 Pestaña de mantenimiento

En esta rutina se muestran todas la entradas y salidas digitales y analógicas, se creó esta pestaña con el fin de que el operador puede reconocer un error en la máquina de manera rápida, así mismo que se pueda verificar el funcionamiento de las salidas digitales, como por ejemplo el electro-embrague o el motor. En la figura 3-9 se puede observar el panel frontal de menú de mantenimiento:

Figura 3-9: Menú de mantenimiento.

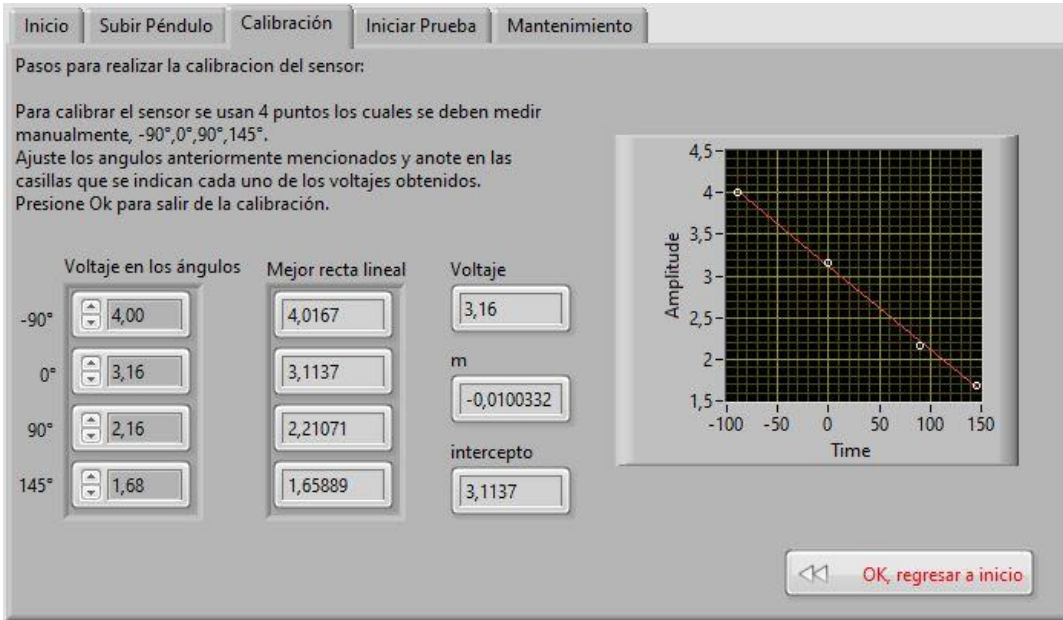
Nombre de la fuente: El autor.

En la figura anterior se puede observar que las entradas E1 y E4 correspondientes a la parada de emergencia y las guardas de protección se encuentran activas, para que el programa funcione correctamente estos indicadores deben permanecer activos.

3.5.5 Pestaña de Calibración

En esta pestaña se muestran los valores de los voltajes con los cuales esta calibrado el sensor, se indican los ángulos en los cuales se puede tomar el voltaje que corresponde a cada uno de los ángulos, para calibrar el péndulo se deben seguir las instrucciones que aparecen en la pestaña, además de esto se puede visualizar la recta con sus respectivos puntos en una gráfica incluida en la pestaña y los mejores puntos para graficarla. (Véase figura 3-10)

Figura 3-10: Pestaña de calibración.



Nombre de la fuente: El autor.

3.6 Pruebas al vacío

Debido al tiempo con el que se contó para la realización del proyecto y por lo complicado que es conseguir las probetas, según se pudo averiguar que las probetas adecuadas se pueden solicitar en la superintendencia de industria y comercio, con esto se puede realizar una prueba en la cual se halle el cálculo en el error de la medida; se realizaron pruebas de impacto al vacío para comprobar el funcionamiento de la máquina, en este caso se hicieron 20 pruebas, en la tabla 3-1 se puede observar los resultados obtenidos.

3.7 Pantalla de visualización del encoder

Como se mencionó en la metodología, el encoder cuenta con una pantalla de visualización en la cual se puede apreciar el voltaje dado por el mismo, en realidad no es un dato que tenga gran ayuda o que sea necesario mostrarlo ya que se puede realizar por medio de software, pero debido a que ya se encontraba en la máquina, se dejó tal cual. (véase figura 3-11)

Figura 3-11: Pantalla de visualización del voltaje del encoder.

Nombre de la fuente: El autor.

Tabla 3-2: Tabla de datos con los resultados de la prueba de impactos al vacío.

Numero de prueba	Voltaje máximo	Ángulo máximo	Energía absorbida
1	4,49	131,666	14,79
2	4,5	132,656	12,91
3	4,49	131,666	14,79
4	4,5	132,656	12,91
5	4,51	133,647	11,06
6	4,51	133,647	11,06
7	4,51	133,647	11,06
8	4,5	132,656	12,91
9	4,49	131,666	14,79
10	4,5	132,656	12,91
11	4,49	131,977	14,2
12	4,48	130,98	14,42
13	4,5	132,96	12,33
14	4,49	131,97	14,2
15	4,48	130,98	14,42
16	4,48	130,98	14,42
17	4,51	133,647	11,06
18	4,49	131,977	14,2
19	4,5	132,656	12,91
20	4,51	133,647	11,06
Promedio	4,4965	132,41685	13,1205

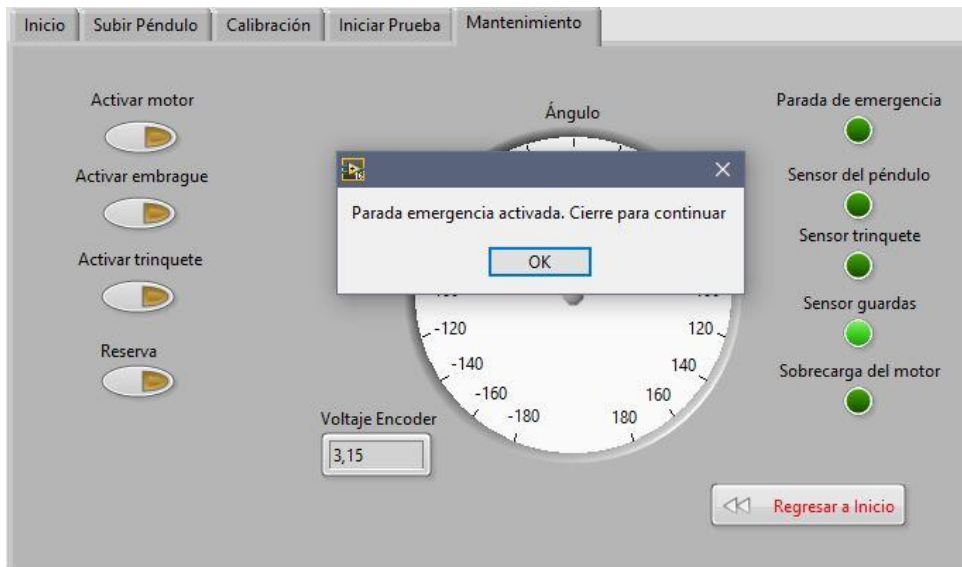
3.8 Prueba de la parada de emergencia y las guardas de protección

Cuando alguna de las entradas mencionadas se desactiva el aviso de alerta se queda en bucle hasta que no se cambie de estado la entrada, cuando el programa vuelve a leer que la entrada se encuentra activa se dirige automáticamente al modo de mantenimiento para revisar entradas y salidas.

3.8.1 Parada de emergencia

Si en algún momento se presiona el botón de parada de emergencia el programa automáticamente reconoce que se desactivo la entrada número uno y lanza el aviso que se puede ver en la siguiente imagen, consiguiente a volver a activar la parada de emergencia el programa se redirige a la pestaña de mantenimiento para revisar que las entradas y salidas estén correctas.

Figura 3-12: Alerta de parada de emergencia activa.



Nombre de la fuente: El autor.

3.8.2 Guardas liberadas

Cuando se retiran las guardas de protección ubicadas en el motor y en el embrague se lanza la alerta de que se retiraron las guardas, la entrada de las guardas corresponde a la numero cuatro. (véase figura 3-13)

Figura 3-13: Alerta de guardas liberadas.



Nombre de la fuente: El autor.

3.9 Mantenimiento del electro-embrague

En la caracterización de la máquina de impactos Charpy se evidenció que el electro-embrague y el sistema de poleas presenta una falla mecánica, se optó por diseñar el software para el control de la misma a pesar de este inconveniente, al intentar llevar el péndulo a la posición de prueba (145°) el electro-embrague probablemente internamente patine o puede que las correas hayan perdido tensión con el paso del tiempo, en caso de que se haga el mantenimiento necesario para que este sistema vuelva a funcionar no afectara con el software que se realizó, ya que para hacer las pruebas del programa que se realizó el procedimiento de subir el péndulo se hizo de manera manual.

3.10 Error en el sistema

3.10.1 Error en el convertidor analógico digital ADC

Estos errores son comunes al momento de leer los datos, ya que al convertir los datos existe una resolución para esta medida, además se puede generar un error, según la hoja de datos del ADC de la tarjeta de adquisición de datos el error es de 1,22 mv, con respecto a otras tarjetas, la NI USB 6008 tiene una buena resolución.

3.10.2 Error en el sensor Encoder

El encoder se encarga de obtener el dato más importante al momento de realizar una prueba, es el voltaje dado por el ángulo del péndulo, teniendo en cuenta que la resolución de la tarjeta es de 1,22 mv el transductor de marca Autonics se escala con un rango de 5 v/20 mA, quiere decir que en caso de entrarle 0 v lo convierte en 4 mA y si le llegan 5 v lo convierte en 20 mA. Para este caso el máximo voltaje que se obtiene del potenciómetro es de 2,4 v lo cual tendrá un spam de 9,6 mA, sin importar el rango. Como la entrada analógica de la tarjeta de adquisición de datos es solo de voltaje se pone una resistencia de 258,7 Ohmios para que el rango de voltaje sea de 1,034 v a 5 v queriendo decir que el spam del potenciómetro es aproximadamente de 2,4 v. [18]

3.10.3 Error en la calibración por software

Es importante que se realice que al momento de calibrar el péndulo se haga de manera correcta ya que, de no ser así, el error en la medida de la energía calculada puede ser mayor y causar problemas con las mediciones para realizar una prueba, es recomendable calibrar el péndulo con la ayuda del software cada vez que se vaya a utilizar.

3.11 Procedimiento para realizar una prueba de impactos Charpy

3.11.1 Encendido de la maquina

El primer paso para realizar una prueba es prender la máquina de impactos Charpy y medir los voltajes que se muestran en la tabla 3-2, luego de que se compruebe que los voltajes son correctos se puede continuar con el siguiente paso.

3.11.2 Ejecución del software

Se debe ejecutar el software cuando la maquina se encuentre encendida, ya que puede generar errores en las lecturas y directamente con la aplicación que se desarrolló, seguido a esto se realiza una revisión de los testigos que nos brindan los estados de los sensores para verificar su funcionamiento en la pestaña de mantenimiento.

3.11.3 Calibración del sensor (encoder)

Se recomienda calibrar el encoder cada vez que la maquina se prenda por primera vez, ya que así los resultados serán mas precisos, para hacer una calibración se debe accionar el botón de “calibración” y ubicar el péndulo a los grados que se detallan dentro de esta pestaña (-90°, 0°, 90°, 145°) y tomar los datos del voltaje en tiempo real para ingresarlos en las casillas correspondientes dentro de la pestaña, luego de que se realice la calibración de manera correcta se puede comprobar con la recta lineal que se muestra en la graficadora de la pestaña, a continuación se puede seguir con la prueba.

3.11.4 Preparación del péndulo

Dentro del menú inicio se encuentra el botón para subir el péndulo al ángulo de prueba (145°) en este paso se activa el motor y electro-embrague para subir el yunque a su posición, debido al estado del electro-embrague se debe ayudar manualmente a subir el péndulo a encajar con el trinquete, cuando el péndulo se encuentra preparado, automáticamente se pasa a la prueba de impactos Charpy.

3.11.5 Realización de la prueba

Cuando el péndulo se encuentra ubicado, se debe situar la probeta en la posición de prueba, seguido a esto se debe accionar el botón “soltar péndulo” para que el yunque caiga e impacte sobre la probeta la cual se debe romper, a partir de esto se pueden obtener los datos de la energía del impacto, el ángulo y voltaje máximo, cabe aclarar que las pruebas que se hicieron de momento en el laboratorio fueron sin probeta, es decir al vacío, al momento de utilizar una probeta las mediciones no tendrán afectación debido a que el software se realizó para medir la energía del impacto bajo cualquiera de las dos condiciones.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Inicialmente se realizó un levantamiento de los componentes de la máquina de impactos Charpy, en el cual se caracterizó detalladamente cada uno de los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos para verificar su funcionamiento y seguido de esto poder enfocarse en el sistema electrónico y programático.
- Se desarrolló el software y se realizó su prueba conectado a la máquina de impactos Charpy de la Universidad Antonio Nariño, ubicada en el laboratorio de materiales, como conclusión el software desarrollado durante este trabajo de grado funciono correctamente, cumpliendo con los requisitos necesarios para hacer pruebas, cabe aclarar que la tarjeta de adquisición de datos ahorro tiempo de trabajo, ya que existían otras alternativas para obtener los datos.
- Se comprobó el estado eléctrico de la máquina el cual aún se encuentra funcional, esto por medio de un multímetro digital, para no tener errores en las medidas dentro del software.
- Se pudieron realizar pruebas sin probetas ya que por el factor del tiempo y su complicada adquisición no permitieron conseguir las probetas necesarias, el software funciono con pruebas al vacío, con estas se pudo ver la calibración de la máquina, y se obtuvieron datos tales como, posición angular, energía del impacto y voltaje máximo.
- El software se desarrolló para hacerlo intuitivo para los operadores, se utilizaron herramientas del programa para que su uso sea sencillo.

4.2 Recomendaciones

- Para mejoras futuras en la máquina y para que su funcionamiento sea óptimo se debe realizar un mantenimiento mecánico completo, se recomienda realizar el cambio del electro-embrague y el sistema de transmisión de las poleas, se debe revisar el motor, el trinquete y la estructura general de la máquina.
- Para usar la máquina se debe tener un conocimiento previo en el campo, cuando se vaya a operares recomendable hacerlo con la ayuda de un tutor y tener presente el manual de operación.

5. Bibliografía

- [1] Ortega. (2015). *Prueba de impacto: ensayo Charpy*. Obtenido de http://rmf.fciencias.unam.mx/pdf/rmf-e/52/1/52_1_051.pdf
- [2] Barrios, C. (2018). Ensayo de tenacidad o impacto (prueba charpy). *ResearchGate*.
- [3] Ingenieria, E. C. (2011). *Mquina de impacto Protocolo curso de materiales*.
- [4] *El concepto de automatización*. (2017). Obtenido de <https://www.redhat.com/es/topics/automation>
- [5] *Automatización y robótica para la producción*. (9 de Abril de 2008). Obtenido de GestioPolis.
- [6] <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>. (2010). *AUTOMATIZACION*.
- [7] UPC. (2013). *PDF*. Obtenido de Sistemas de control: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- [8] Espacios. (7 de Junio de 2019). *AUTYCOM*. Obtenido de ¿Que es la instrumentación industrial?: <https://www.autycom.com/que-es-la-instrumentacion-industrial/>
- [9] Sites. (2012). *googlesites*. Obtenido de ¿que son los sensores?: <https://sites.google.com/site/654sensoresindustriales/home/-quee-son-los-sensores>

- [10] sites. (2012). *googlesites*. Obtenido de Tipos de sensores: <https://sites.google.com/site/654sensoresindustriales/tipos-de-sensores>
- [11] Ferrer. (26 de Marzo de 2019). *Fuentes de alimentación - Clasificación, Historia y tipos*. Obtenido de <https://vicentferrer.com/fuentes-de-alimentacion/>
- [12] *AreaTecnologia*. (2009). Obtenido de Motorelectrico: <https://www.areatecnologia.com/EL%20MOTOR%20ELECTRICO.htm>
- [13] sites. (2011). *googlesites*. Obtenido de MOTORDECORRIENTECONTINUA: <https://sites.google.com/site/alvarogarcianaranjo/mootor-de-corriente-continua>
- [14] sites. (2011). *googlesites*. Obtenido de MOTORDECORRIENTEALTERNA: <https://sites.google.com/site/alvarogarcianaranjo/motor-de-corriente-alterna>
- [15] NI. (s.f.). *¿Que es LabVIEW?* Obtenido de <https://www.ni.com/es-co/shop/labview.html>
- [16] Biología, E. d. (04 de 10 de 2019). *Energía cinética - ¿Qué es?, fórmula, ejemplos y más*. Obtenido de Energía cinética - ¿Qué es?: <https://enciclopediadebiologia.com/energia-cinetica/>
- [17] Corporation, N. I. (2010). *Labview Core 1 Manual de Curso*. National Instruments.
- [18] Reyes, W. R. (2014). *AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DE IMPACTO CHARPY DEL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA UAN SEDE TUNJA*. Tunja.

