

“AUTOMATIZACION DE LA MAQUINA UNIVERSAL DEL LABORATORIO DE
INGENIERIA CIVIL EN LA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA”

FABIO ANDRES FONSECA SANCHEZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2014

“AUTOMATIZACION DE LA MAQUINA UNIVERSAL DEL LABORATORIO DE
INGENIERIA CIVIL EN LA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA”

FABIO ANDRES FONSECA SANCHEZ

Director
MSc. Oscar Eduardo Umaña Méndez



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TUNJA

2014

*Únicamente el autor es Responsable de Las
Ideas Expuestas en El Presente Trabajo.*

Nota de aceptación:

Firma del Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, Noviembre de 2014

*Dedico este trabajo a Dios, quien es el ser que
me ha dado todo, a mis padres a quienes debo
Mi formación como persona y profesional, a mis
Hermanas, hermano, sobrina, compañera
Sentimental, compañeros de clase y a
Todas las personas que contribuyeron a la
Culminación de mis estudios.*

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	08
LISTA DE TABLAS.....	11
GLOSARIO.....	12
1. INTRODUCCION.....	17
2. JUSTIFICACION.....	20
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
3.1. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	22
3.2. DELIMITACION DEL PROBLEMA.....	22
4. OBJETIVOS.....	24
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	24
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
5. METODO.....	25
5.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	25
6. RECURSOS.....	26
7. MARCO TEORICO.....	27
8. ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE LA MÁQUINA Y ANÁLISIS DE LOS CORRESPONDIENTES CAMBIOS A IMPLEMENTAR.....	60
8.1. FUNCIONAMIENTO MAQUINA UNIVERSAL.....	63
8.2. ANALISIS VARIABLES E IMPLEMENTACION DEL CORRESPONDIENTE SENSADO.....	64
8.2.1. DESPLAZAMIENTO DEL CABEZAL SUPERIOR.....	64
8.2.1.1. SENSOR RESISTIVO DE DESPLAZAMIENTO.....	64
8.2.2. PRESIÓN EN LAS TUBERÍAS DE COBRE.....	66
8.2.2.1. VEGABAR 17.....	66
8.2.2.2. PRINCIPIO DE MEDICIÓN.....	67
8.2.2.3. ALIMENTACIÓN DE TENSIÓN Y SALIDA DE SEÑAL.....	67
8.2.3. FUERZA DE TRACCIÓN O COMPRESIÓN.....	68
8.2.3.1. CELDA DE CARGA MODELO 460.....	68
8.2.3.2. CARACTERÍSTICAS.....	68
8.2.3.3. ESPECIFICACIONES.....	69
9. ACONDICIONAMIENTO MECÁNICO DE LOS SENSORES.....	71
9.1. CELDA DE CARGA.....	72
10. ACONDICIONAMIENTO DE LAS SEÑALES.....	73
10.1. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL DE LA CELDA DE CARGA.....	74
10.2. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL SENSOR DE PRESIÓN.....	76
10.3. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL SENSOR DE DESPLAZAMIENTO.....	78
11. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN CONSOLA ELECTRÓNICA Y DE CONTROL.....	79
12. MONTAJE DE MOTOREDUCTOR EN LA MANDÍBULA INFERIOR.....	83
13. CIRCUITO DE POTENCIA PARA EL CONTROL DEL MOTOREDUCTOR (PUENTE H).....	85
14. PROTECCION ELECTRICA.....	87

15.	FUENTE DE ALIMENTACION DC.....	88
16.	ADQUISICIÓN DE DATOS.....	89
17.	OTROS APORTES DERIVADOS DEL TRABAJO.....	94
18.	CONCLUSIONES.....	95
19.	REFERENCIAS.....	96
19.1.	BIBLIOGRAFÍA.....	97
19.2.	INFOGRAFIA.....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Maquina Universal	27
Figura 2 Bucles Abiertos	29
Figura 3 Bucles Cerrados de Regulación	29
Figura 4 Dibujo esquemático de un bloque de carga típico con rótula	35
Figura 5 Esquemas de los Tipos de Falla	39
Figura 6 Curva de Deformación	40
Figura 7 Deformación.	45
Figura 8 Área de la sección transversal de la parte calibrada para diferentes tipos de probetas.	46
Figura 9 Dimensiones de las muestras para el ensayo de varillas	47
Figura 10 Muestras de alambre y torones para el ensayo de tensión	47
Figura 11 Límite de Elasticidad Convencional.	51
Figura 12 Método de la Subdivisión de la Longitud Inicial Entre Marcas	52
Figura 13 Método de la Subdivisión de la Longitud Inicial Entre Marcas	53
Figura 24 Soportes y Mandril	56
Figura 15 Matriz de Doblamiento	56
Figura 16 Prensa Para Alcanzar el Ángulo Especificado	58
Figura 37 Calza Para Mantener el Paralelismo	58
Figura 18 Consola de control maquina universal	60
Figura 19 Consola de control maquina universal	61
Figura 20 Arrancador y conexiones eléctricas.....	61
Figura 21 Tubería en cobre.....	62
Figura 22 Parte posterior consola	62
Figura 23 Consola interna	63
Figura 24 Pistón maquina universal	64
Figura 25 transductores de desplazamiento	65
Figura 26 Sensor De Presión Vega Bar 17	66
Figura 27 Esquema De Conexión Clavija Cilíndrica Coaxial M12 X 1.....	67

Figura 28 Esquema De Conexión Salida De Cable.....	67
Figura 29 Celda de carga.....	68
Figura 30 Conexión Celda Modelo 460.....	70
Figura 31 Ubicación celda de carga y barras de acero.....	71
Figura 32 Barras de acero macizo nuevas con maquinado y rozado.....	72
Figura 33 Simulacion acondicionador de señal.....	74
Figura 34 Simulacion 3D acondicionador de señal.....	74
Figura 35 Baquela acondicionador de señal.....	74
Figura 36 Prueba de acondicionador de señal.....	75
Figura 37 Señal de entrada circuito acondicionador de señal.....	75
Figura 38 Señal de salida circuito acondicionador de señal.....	76
Figura 39 circuito acondicionador de señal sensor de presion.....	76
Figura 40 Simulacion 3D acondicionador de señal sensor de presion.....	77
Figura 41 Prueba de acondicionador de señal sensor de presion.....	77
Figura 42 conexión electrica sensor de desplazamiento.....	78
Figura 43 conexión electrica sensor de desplazamiento con arduino.....	78
Figura 44 Modulo relay doble.....	79
Figura 45 circuito encendido lámparas y motor “gato”.....	79
Figura 46 circuito encendido lamparas y motor “gato” con prioridad del pc....	80
Figura 47 circuito encendido lamparas y motoreductor con prioridad del pc....	80
Figura 48 Nueva consola electrónica.....	81
Figura 49 Nueva consola electrónica.....	81
Figura 50 Nueva consola electrónica.....	82
Figura 51 Nueva consola electrónica.....	82
Figura 52 Mandíbula inferior con manivela.....	83
Figura 53 con manivela de la mandíbula inferior.....	83
Figura 54 Eje manivela mandíbula superior.....	83
Figura 55 Soporte moto reductor.....	84
Figura 56 moto reductor.....	84

Figura 57 moto reductor instalado.....	84
Figura 58 Diagrama Esquemático driver.....	85
Figura 59 Driver.....	85
Figura 60 Disipador de calor driver parte posterior.....	86
Figura 61 Diagrama Esquemático conexión eléctrica.....	87
Figura 62 Programa en plataforma arduino.....	91
Figura 63 Programa en plataforma arduino.....	92
Figura 64 Programa en plataforma arduino.....	92
Figura 65 Programa en plataforma arduino.....	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones de Diámetro de la Cara de Carga.....	33
Tabla 2 Tolerancias de Edad de Ensayo de los Especímenes.....	36
Tabla 3 Factores de Corrección que se Aplican a Concretos Livianos.....	38
Tabla 4 Condiciones Normales De Campo.....	39
Tabla 5 símbolos y terminologías.....	43
Tabla 6 Dimensiones de las muestras para el ensayo de varillas.....	47
Tabla 7 Simbología y terminología.....	55
Tabla 09 Características Celda De Carga.....	70
Tabla 10 Características fuente Dc.....	88
Tabla 11 Carga fuente Dc.....	88

GLOSARIO

Arduino: plataforma de hardware libre, basada en una placa con un micro controlador ATMEGA y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios ya sea en estudiantes o profesionales.

Automatización: Describe sistemas no destinados a la fabricación en los que dispositivos programados o automáticos pueden funcionar de forma independiente o semi-independiente del control humano.

Bachada: cantidad de mezcla asfáltica o de concreto que se prepara durante un ciclo del mezclador en las plantas de tipo discontinuo o por peso.

Bomba hidráulica: las bombas hidráulicas son máquinas generadoras de energía, por lo general transforman una energía mecánica que se asocia a la energía hidráulica del fluido que se mueve. Al aumentar la energía del fluido aumenta su presión o velocidad.

CBR: Es un método desarrollado por la división de carreteras del Estado de California (EE.UU.) y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante, sub-base y base de pavimentos. El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material chancado.

Circuito Impreso: es una superficie constituida por *caminos* o *pistas* de material conductor laminadas sobre un sustrato no conductor.

Encapsulado: Envoltura que protege a los semiconductores y permite que estos se puedan manipular cómodamente

Ensayo de tracción: consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta.

Ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.

Esclerometría: El esclerómetro es un aparato que mide la dureza superficial del hormigón en función del rebote causado por el impacto de una barra metálica que golpea sobre el elemento que se va a evaluar, por lo que para tener una respuesta adecuada es necesario que la superficie este completamente limpia y lisa, así que es necesario prepararla antes de realizar las pruebas. Otra de las razones para "pulir" la superficie de prueba es eliminar la carbonatación del hormigón, la misma que es probable que te de lecturas mayores. En todo caso, estas pruebas no destructivas deben usarse para confirmar la uniformidad más que para verificar la resistencia.

Estricción: Fenómeno que se produce en la probeta tras alcanzar el límite de carga. Representa el estrechamiento de la probeta (formación de un istmo, o garganta), que conduce a la rotura del material al no poder soportar las tensiones generadas.

Frecuencia: Número de veces que se repite una situación o ciclo en un tiempo determinado. La frecuencia es la inversa del periodo (tiempo de duración de un ciclo). Se mide en Hercios que equivale al número de veces que se repite la situación medida en un segundo. Cuanto mayor es la frecuencia, mayor es el número de veces que se repite en un segundo y menor es el tiempo disponible para realizar un ciclo. Las rpm es una medición de frecuencia pero la base del tiempo es un minuto, en vez de un segundo.

Hardware: Equipo utilizado para el funcionamiento de una computadora. El hardware se refiere a los componentes físicos de un sistema informático. La función de estos componentes suele dividirse en tres categorías principales: entrada, salida y almacenamiento.

Hidráulica: rama de la física que se encarga del comportamiento de los fluidos en cuanto a sus propiedades mecánicas.

Histéresis: Fenómeno en el cual el comportamiento actual depende de la historia del sistema. Comportamiento de retraso similar a la fricción mecánica.

ICSP: In Circuit Serial Programming El Programador puede programar microcontroladores que estén en un zócalo del tipo zif preparado para tal función, o bien instalados en un circuito de aplicación, mediante la utilización de la Programación Serial In-Circuit (ICSP).

Impedancia: Oposición que representa un componente o componentes al paso de la corriente alterna.

Impacto Charpy: El Impacto Charpy consiste en determinar el comportamiento de los materiales bajo impacto al golpear con una masa de valor conocido y una probeta previamente preparada y ubicada en el soporte de la máquina de ensayo. Este ensayo permite conocer cual podría ser el comportamiento de los materiales cuando están sometidos a condiciones extremas de servicio.

Instrumentación: Término utilizado para referirse a todas aquellas aplicaciones que exigen alta precisión, como telemetría, control de procesos, etc.

Interfaz: Se le denomina a cualquier medio que permita la interconexión de dos procesos diferenciados con un único propósito común.

Lenguaje de Programación: Cualquier lenguaje artificial que puede utilizarse para definir una secuencia de instrucciones para su procesamiento por un ordenador o computadora.

Maquina universal: las maquinas universales son sistemas semejantes a una prensa hidráulica con la cual se puede hallar las características de muchos materiales como lo son concretos o hierros a través de una compresión o tracción.

Módulo de Young: es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Este

comportamiento fue observado y estudiado por el científico inglés Thomas Young.

Motor eléctrico: Motor que convierte la energía eléctrica en mecánica. Está formado por un estator (permanece fijo a la carcasa) y un rotor (gira en el interior del estator). El motor funciona por la atracción y repulsión entre campos magnéticos creados en unas bobinas colocadas en el rotor y en el estator. Las bobinas son alimentadas con corriente eléctrica para crear los campos magnéticos. La alimentación del rotor se realiza por medio de un colector (que gira con el rotor) y de escobillas (que permanecen fijas en la carcasa). Los motores eléctricos pueden funcionar con corriente eléctrica continua o alterna siendo necesario estructuras internas diferentes.

Pachometría: Es un aparato capaz de detectar elementos metálicos ocultos; por ello se usa para la localización de las barras de acero de un elemento de hormigón. Hay varios modelos, los más sencillos nos informan sobre la posición de la barra y su dirección, y los más sofisticados que nos proporcionan una estimación del diámetro y del recubrimiento de la barra. El aparato está formado por varias sondas y un módulo de lectura y control. El funcionamiento se basa en la medida de resistencia al flujo magnético generado por la sonda, que cuanto más cerca está de un elemento metálico, más pequeña es la resistencia.

Probeta: Material que va a ser ensayado.

Probeta proporcional: En la cual se aplica una relación para normalizar la muestra.

Procesamiento Digital de Señales: Es una técnica que convierte señales de fuentes del mundo real (usualmente en forma analógica), en datos digitales que luego pueden ser analizados. Este análisis es realizado en forma digital pues una vez que una señal ha sido reducida a valores numéricos discretos, sus componentes pueden ser aislados, analizados y reordenados más fácilmente que en su primitiva forma analógica.

Proctor: En mecánica de suelos, el ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, condición que optimiza el inicio de la obra con relación al costo y el desarrollo estructural e hidráulico.

Refrentado: es la operación realizada en el torno mediante la cual se mecaniza el extremo de la pieza, en el plano perpendicular al eje de giro. Para poder efectuar esta operación, la herramienta se ha de colocar en un ángulo aproximado de 60° respecto a la porta herramientas. De lo contrario, debido a la excesiva superficie de contacto la punta de la herramienta correrá el riesgo de sobrecalentarse.

Sensor: Es un dispositivo que detecta, o sensa manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc. es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir, en otra, que facilita su medida.

Software: Programas de computadoras. Son las instrucciones responsables de que el hardware (la máquina) realice su tarea. Como concepto general, el software puede dividirse en varias categorías basadas en el tipo de trabajo realizado.

1. INTRODUCCION

En la actualidad el concepto “modernización” que está muy de moda, se aplica prácticamente en todos los ámbitos que conforman la sociedad, también puede tomarse como parte del concepto más amplio que es la innovación la cual ha surgido por la necesidad de lograr competitividad.

Dentro de este concepto surge la innovación como motor fundamental para generar competitividad, entendiéndose como la capacidad de generar cambios que se traduzcan en beneficios concretos. La innovación puede darse en diferentes áreas y en cualquier aspecto, por lo que cualquier empresa o industria es propensa a la mejora de procesos productivos mediante el uso de nuevas tecnologías, lo que obliga a actualizar equipos, procesos, funciones y otros.

Hoy en día la Universidad Santo Tomás de Tunja en la Facultad De Ingeniería Civil cuenta con el laboratorio de ensayos mecánicos cuya función es dar servicio a los estudiantes de ingenierías. Dicho laboratorio posee equipos de ensayo para la formación y prácticas de sus estudiantes. Este laboratorio cuenta con varias máquinas para este propósito entre las que se tienen:

Laboratorio de Materiales

En este laboratorio se miden las propiedades físicas de agregados para el hormigón, granulometría, materiales cementosos, tiempos de fraguado, dosificación de hormigones, moldeo de probetas, dosificación en obra, propiedades del hormigón en estado fresco, ensayo de asentamiento, contenido de aire, ensayo de principio y fin de frague, propiedades del hormigón endurecido, ensayo de compresión y tracción por compresión diametral. Ensayos de tracción en prensa universal, Ensayo de Impacto Charpy, Ensayo de compresión uniaxial de muestras de rocas.

Laboratorio de Hidráulica

Acá se hacen pruebas mecánicas del acero para hormigón armado, ensayo de esclerometría, pachometría, flexión de vigas de hormigón armado prototipos a escala real, ensayo de hormigón a compresión y flexión, ensayo de resistencia a flexión y compresión de mampuestos varios, ensayo de pilas y muretes, ensayo de flexión de maderas, ensayo de flexión de modelos de puentes de madera a escala reducida, determinación de características dinámicas de elementos estructurales tales como vigas metálicas y de hormigón armado, y de estructuras.

Laboratorio de Estructura

Determinación de diferencias de presión y caudales, determinación de caudales y Velocidades asociadas mediante aforos volumétricos, lecturas de presión en manómetro de bomba, determinación de pérdidas de energía general y local, medidas del flujo de líquidos, medición del caudal utilizando un venturi.

Laboratorio de Geotecnia y vías

Ensayos de granulometría para clasificación de suelos, determinación de límites de Atterberg, ensayo de permeabilidad, ensayo de resistencia la corte de suelos, ensayo de consolidación, $CBR = \frac{\text{Carga Unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria del Patron}} * 100$, ensayo de compresión simple y compresión triaxial, método de la arena para la determinación de densidad de suelos, ensayo hidrométrico, determinación de humedad óptima y densidad máxima de un suelo, Proctor estándar y modificado.

En 1995 y debido a la necesidad de implementar equipos que permitieran a los estudiantes de ingeniería civil el desarrollo práctico de sus actividades académicas, la universidad santo tomas de Tunja, adquiere la maquina universal, proveniente de la sede en la ciudad de Bogotá. Actualmente la maquina resulta ser obsoleta para las labores que se le tiene asignadas, en cuanto al proceso de manipulación, control e interpretación de datos.

La máquina universal representa una herramienta clave para los estudiantes pero existen procesos que desarrolla que son laboriosos, explícitamente la interpretación de los datos pues en el proceso, estos son reportados en una hoja milimétrica puesta en cilindro que gira a medida que aumenta la presión de la bomba y corresponden a los datos del comportamiento del ensayo, es decir, los datos son dibujados por un tambor XY al cual se le anexa una hoja milimetrada y con base a esto, se realizan los cálculos correspondientes para obtener los datos en unidades reales de trabajo; obviamente con este sistema los resultados están sujetos a posibles errores de cálculo. Además, al graficar los datos es necesario observar en qué condiciones se llevó a cabo el ensayo, anotando éstos es una hoja milimetrada la cual se anexa al tambor.

Con el paso del tiempo y el continuo avance tecnológico estos equipos se van deteriorando perdiendo su eficiencia y haciendo más difícil su manipulación. Para este proyecto se tiene como fin la automatización de estos equipos aplicando el uso de nuevas tecnologías.

Posteriormente al análisis realizado, se concluyó en la necesidad de industrializar la máquina en aspectos como el control, adquisición y procesamiento de datos. Esta investigación tiene como objetivo primordial la automatización de la Máquina Universal marca ICON mejorando con ello procesos como realizar un ensayo a través de un PC, controlar la velocidad y desplazamiento de las mandíbulas de la máquina, el descargue de la bomba hidráulica para así alcanzar ciertas condiciones al momento de realizar un ensayo. De igual manera implementar un sistema de adquisición y procesamiento de datos que muestren los resultados procesados en el ensayo realizado con la máquina universal. Por último los directamente beneficiados van a ser los estudiantes pues podrán aplicar sus conocimientos a procesos que se ajustan más con la realidad minimizando el margen de error en el cálculo y la obtención de datos.

2. JUSTIFICACION

La máquina ICON ubicada en el laboratorio de ingeniería civil de la universidad santo tomas Tunja, es vital para el desarrollo de las distintas prácticas que realizan los estudiantes de ingeniería civil, razón por la cual es necesario realizar las diferentes adecuaciones que se tienen planteadas con el fin de mejorar la calidad académica puesto que permitirá a estudiantes y docentes contar con esta herramienta para el desarrollo de prácticas de laboratorio, así como la propuesta y generación de nuevos proyectos de investigación y desarrollo de proyectos de grado.

Las funciones importantes de esta máquina son realizar movimientos como lo son TRACCION, FLEXION Y COMPRESION, por lo tanto la actualización y automatización de esta máquina permite al estudiante obtener un resultado más exacto, el cual se pueda manipular en un software como Excel y por lo tanto tener un porcentaje de error mínimo en los cálculos y conclusiones que se den.

Uno de los objetivos de este proyecto es realizar un plan que permita hacer un diagnóstico del funcionamiento de la máquina para así durante el proceso de actualización buscar los elementos más acordes para un correcto funcionamiento, de la misma manera en el proceso de actualización y automatización se busca aumentar la seguridad del operario en este caso el estudiante y/o docente puesto que se prestara mayor atención en la manipulación de la máquina, por lo cual al finalizar el proyecto la maquina actualizada proporcionara más ventajas tales como mejor disponibilidad y aumento de productividad, mayor precisión, reducción de pausas y tiempos de parada, así como obtener los datos de una manera ms confiable y con más capacidad de análisis.

Para lograr los objetivos se debe tener un completo apoyo de la universidad, por lo cual está a dispondrá de manera eficiente a la facultad de ingeniería mecánica para realizar asesora en los cambios correspondientes para no disminuir de capacidad la maquina pero si mejorar la prestación de servicio, por esta razón la facultad a puesto a disposición los laboratorios para realizar los trabajos de acondicionamiento mecánico que se deben hacer a la máquina, de la misma manera la facultad de ingeniería civil pondrá a disposición los laboratorios para realizar el trabajo correspondiente en la maquina ICON y asumirá los gastos correspondientes frente a la universidad, por esa razón es primordial realizar una excelente gestión con las empresas que suministran los elementos y realizar un estudio de cuál es la mejor

opción de compra para así sustentarla ante el comité administrativo y financiero por medio de la facultad de ingeniería electrónica.

Dado que la universidad en pro de mejorar la calidad en educación demuestra alto interés en la actualización de la máquina por lo tanto se hace a cargo del presupuesto correspondiente.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. DEFINICION DEL PROBLEMA

La Facultad de ingeniería Civil de la universidad Santo Tomas Tunja cuenta con un laboratorio el cual día a día debe mejorar para brindar una mejor calidad de educación a los estudiantes, por este motivo se requiere una actualización de la maquina universal la cual es muy importante para que los estudiantes puedan realizar las correspondientes practicas con mejores resultados y mayor facilidad, por esta razón la universidad piensa en el avance de la tecnología, por lo cual se va a actualizar y automatizar la maquina universal marca ICON para poder cumplir las expectativas de los estudiantes.

Para cumplir lograrlo es importante tener en cuenta que la maquina ICON situada en el laboratorio de ingeniería civil lleva mucho tiempo en función por esta razón lo que se quiere es actualizarla y automatizarla para que sea más fácil su aplicación con porcentaje más alto de seguridad y más mínimo de error.

La máquina universal ICON aparentemente lleva mucho tiempo sin tener mantenimiento, por lo cual se debe generar un manual tanto de mantenimiento como un manual de manipulación para que estos dos procedimientos se realicen de la mejor manera y la maquina siga prestando un servicio de calidad a los estudiantes de la universidad.

Debido al bajo porcentaje de mantenimiento que se le ha dado a la maquina ICON el sistema eléctrico está muy defectuoso por lo tanto el actual proyecto se enfocara en corregirlo y mejorarlo, para así obtener una mayor seguridad tanto en la toma de datos como en brindarle esta al estudiante o a la persona que este manipulando la máquina.

3.2. DELIMITACION DEL PROBLEMA

Al actualizar y automatizar la maquina ICON lo que se quiere es brindar una mayor seguridad al usuario o estudiante puesto que se activara el gato desde el computador por lo cual el estudiante no tendrá que acercarse a la maquina sino a colocar el elemento a prueba, de la misma manera se va a poner un botón de parada de emergencia por si llega a haber alguna novedad durante la prueba y se requiere detener el sistema de inmediato.

Para cumplir con los objetivos de debe utilizar sensores para medir las variables necesarias para obtener los datos de prueba, para ello las variables a medir son distancia, presión, fuerza.

Las variables más importantes a medir son fuerza y distancia puesto que de estas dos sale la gráfica que necesitan los estudiantes de ingeniería civil para realizar los correspondientes cálculos, la otra variable que se va a medir es la presión del aceite esta se mide para tener un control sobre la presión y saber si hay alguna fuga en algún lugar de la tubería o del gato.

Uno de los objetivos propuestos es controlar la posición de la mandíbula inferior de la maquina ICON, para esto la variable distancia vuelve a ser importante en el desarrollo del proyecto.

Las variables obtenidas serán enviadas a un computador por medio de un Arduino UNO R3, anteriormente se realiza un acondicionamiento de señal para así obtener un mejor resultado y aprovechar al máximo los elementos adquiridos.

Luego de esto las variables se observan en el software Labview para luego generar un reporte en Excel y ser enviado al correo del estudiante o usuario.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Desarrollar un plan de recuperación que permita realizar una actualización para mejorar el funcionamiento de la máquina universal acondicionando un nuevo sistema de medición para disminuir el porcentaje de error de esta manera mejorar la calidad académica puesto que permitirá a estudiantes y docentes herramienta para el desarrollo de prácticas de laboratorio, así como la propuesta y generación de nuevos proyectos de investigación y desarrollo de proyectos de grado.

4.2. Objetivos Específicos

- ◆ Implementar un sistema de adquisición de datos que permita obtener resultados con un mínimo margen de error, así mejorar los resultados en las prácticas de laboratorio de ingeniería civil.
- ◆ Adaptar un software en un lenguaje de programación gráfico (LABVIEW) que permita al docente o estudiante una mejor visualización de los datos para así obtener más y mejores conclusiones.
- ◆ Articular la facultad de ingeniería electrónica y la facultad de ingeniería mecánica para actualizar la maquina universal del laboratorio de ingeniería civil, de esta manera brindar confianza entre las tres facultades para trabajos futuros.
- ◆ Disminuir el riesgo a accidentes dentro del laboratorio de ingeniería civil proporcionando paradas de emergencia durante la práctica de laboratorio.
- ◆ Diseñar el sistema de protección a los sistemas eléctricos y electrónicos usando breakers eléctricos.
- ◆ Implementar una botonera de control con el fin de operar la maquina universal manualmente sin uso del computador.
- ◆ Generar un manual del usuario y un video tutorial que permitiría la operación de la máquina con los nuevos dispositivos y el software.

5. METODO

5.1. Metodología de la Investigación

Esta investigación es de tipo descriptiva y experimental, busca realizar un sistema de monitoreo a variables previamente identificadas, el monitoreo se realiza por medio de un sistema usando la tarjeta Arduino y el software labview de esta manera se ofrece un sistema seguro y confiable.

Las fases de la investigación son:

- a) Revisión el estado del arte, marco teórico, que permitan apropiar los conocimientos necesarios para el desarrollo del sistema. Para el desarrollo de esta fase se consultan bases de datos como *IEEE explore*, *Scopus*, *Elsevier*, *EBSCO*, *Science* y recursos educativos confiables.
- b) Definición y estructuración de las variables. Análisis de las variables y definición de los dispositivos de medición más adecuados para su sensado.
- c) Desarrollo de los correspondientes programas en arduino y labview, en donde se podrán visualizar los datos obtenidos por medio de gráficas, y el control de la máquina.
- d) Implementación de los sensores realizando los correspondientes cambios mecánicos.

6. RECURSOS

Como recursos institucionales se cuenta con la bibliografía presente en la biblioteca " Fray Francisco Mora Díaz, O. P." de la Universidad Santo Tomás con sede en Tunja, las bases de datos a las que se tiene acceso como; IEEE Xplore, principalmente, los laboratorios de ingeniería electrónica, ingeniería mecánica e ingeniería civil en los cuales se realizan las correspondientes prácticas y a su vez los diferentes instrumentos que están disponibles para el uso de los estudiantes como los son; osciloscopios, multímetros, computadores, entre otros. Con la combinación de los recursos institucionales, los del autor y la aplicación de los conocimientos adquiridos se podrá desarrollar de manera efectiva el sistema deseado.

La máquina Universal es vital para el desarrollo de las distintas prácticas que realizan los estudiantes de ingeniería civil, razón por la cual es necesario realizar las diferentes adecuaciones que se tienen planteadas con el fin de mejorar la calidad académica puesto que permitirá a estudiantes y docentes contar con esta herramienta para el desarrollo de prácticas de laboratorio, así como la propuesta y generación de nuevos proyectos de investigación y desarrollo de proyectos de grado, por esta razón la universidad santo tomas Tunja se hará responsable de los recursos financieros de la misma manera los recursos humanos como los son accesorias en la parte mecánica y electrónica la realizaran los docentes de las correspondientes facultades de dicha universidad.

7. MARCO TEORICO

Las Maquinas Universales o de ensayos son aparatos en donde un cilindro o “Gato” es accionado por medio de un sistema electro- hidráulico o electrónico como lo es con un motor y un tornillo sin fin. Estas máquinas se utilizan para hallar las propiedades de ciertos materiales sometiéndolos a una determinada presión, logrando así una compresión, elongación o flexión de cualquier tipo de material y poder caracterizarlos, esto se logra por medio de unas placas una estática y la otra móvil que se accionas por el sistema hidráulico. Dentro de este capítulo se detallara algunos conceptos de instrumentación y automatización al igual que cada una de las pruebas que se realiza la maquina universal como son las pruebas de elongación, tensión, compresión entre otras.



Figura 1 Maquina Universal

Tomado de: http://be.uji.es/equipamiento/maquina_universal.jpg

La instrumentación electrónica

En un concepto apropiado y amplio se puede decir que tanto la instrumentación, el control y la automatización son todo el conjunto de instrumentos y sistemas que estén asociados los cuales se utilizan para detectar señales además de observarlas, medirlas y comunicarlas, es decir la instrumentación ha tenido grandes avances a través del tiempo aprovechando también el desarrollo de otras áreas como el de la informática

Hoy en día existen muchos procesos industriales los cuales exigen la intervención de los diversos productos obtenidos, en el campo de la instrumentación existen diversos y variados procesos entre los que se encuentra desde los productos derivados del petróleo hasta las industrias papeleras y textiles. En cualquier proceso industrial se ve la necesidad de

mantener y supervisar algunas magnitudes de medida ya sean presión, desplazamiento peso, caudal, nivel, temperatura, velocidad etc.

Los transductores, sensores y en si los instrumentos de medición y control permiten el mantener cada una de estas constantes de medida en un estado apropiado para cualquier proceso y más idóneas que las que cualquier operador pueda realizar. En los primeros años de la industria, operarios llevaban a cabo el control de cada uno de estos instrumentos, trabajo que era bastante tedioso e inexacto debido a la cantidad de instrumentos como manómetros, válvulas manuales etc.

En la actualidad con los avances de la tecnología y la complejidad de estos procesos exigen una automatización creciente; evitando la mano de obra de muchos operarios y la supervisión, en la actualidad estas supervisiones también las realiza un operario per desde una sala aislada, centros de control situados dentro del mismo proceso lo cual aumento la seguridad de los trabajadores de las industrias, gracias a estos instrumentos el hombre a podido construir productos bastante complejos y de buena calidad que en condiciones de los operarios sería muy difícil obtenerlos realizando el control manual.

La mayoría de los procesos industriales a controlar pueden dividirse ampliamente en dos categorías: procesos continuos y procesos discontinuos. En ambos tipos, deben mantenerse en general las variables (presión, caudal, nivel, temperatura, etc.), bien en un valor deseado fijo, bien en un valor variable con el tiempo de acuerdo con una relación predeterminada, o bien guardando una relación determinada con otra variable. El sistema de control que permite este mantenimiento de las variables puede definirse como aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto.

El sistema de control exige pues, para que esta comparación y subsiguiente corrección sean posibles, que se incluya una unidad de medida, una unidad de control, un elemento final de control y el propio proceso. Este conjunto de unidades forman un bucle o lazo que recibe el nombre de bucle de control. El bucle puede ser abierto o bien cerrado.

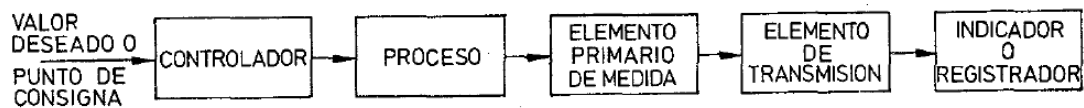


Figura 2 Bucles Abiertos

Tomado de: capítulo I generalidades, instrumentación electrónica Antonio Creus.

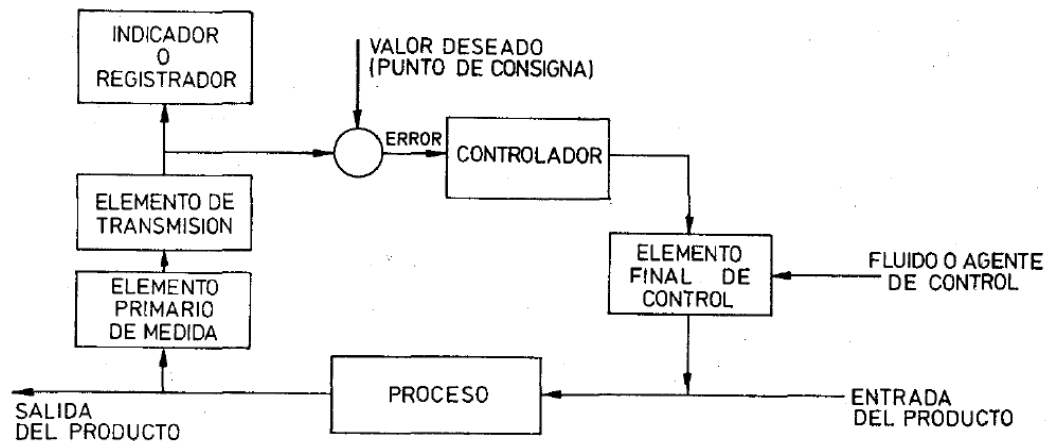


Figura 3 Bucles Cerrados de Regulación

Tomado de: capítulo I generalidades, instrumentación electrónica Antonio Creus.

Un ejemplo de bucle abierto es el calentamiento de agua en un tanque mediante una resistencia eléctrica sumergida. Un bucle cerrado representativo lo constituye la regulación de temperatura en un intercambiador de calor [2].

A continuación se mostrara la parte teórica con respecto a cada una de las pruebas de ensayos que se realizan en la maquina universal. Toda la teoría se tomó de las normas INV E-410-07, INV E-501-07, INV E-502-07 del laboratorio de Ingeniería Civil.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO I.N.V. E – 410 – 07

Este ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos, y se limita a concretos con un peso unitario superior a 800 kg/m³ (50 lb/pie³)

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste.

Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.

Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso, si los hay. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

Uso Y Significado:

Los resultados de este ensayo se pueden usar como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; para el cumplimiento de especificaciones y como control para evaluar la efectividad de aditivos y otros usos similares.

Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de la resistencia a la compresión mediante este método de ensayo, por cuanto la resistencia no es una propiedad intrínseca fundamental del concreto elaborado con determinados materiales. Los valores obtenidos dependen del tamaño y forma del espécimen, de la batchada, de los procedimientos de mezclado, de los métodos de muestreo, moldes y fabricación, así como de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado.

Máquina de Ensayo:

La máquina de ensayo debe ser de un tipo tal, que tenga suficiente capacidad de carga y que reúna las condiciones de velocidad.

Se hará una verificación de la calibración de la máquina de ensayo de acuerdo con la norma ASTM E-4. "Práctica para la verificación de la carga de las máquinas de Ensayo"; en las siguientes situaciones:

- a) Al menos anualmente y nunca excedido de trece (13) meses.
- b) En la instalación original o en la relocalización de la máquina.
- c) Inmediatamente después de hacer reparaciones o ajustes que puedan afectar de cualquier modo la operación del sistema de pesas o los valores mostrados, excepto para el ajuste a cero que compensa el peso propio del equipo o del espécimen, o ambos.
- d) Cuando quiera que haya una razón para dudar de la exactitud de los resultados, sin tener en cuenta el intervalo de tiempo desde la última verificación.

Diseño:

La máquina debe operar eléctricamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques. Si sólo tiene una velocidad de, deberá estar provista de medios suplementarios para cargar a una velocidad apropiada para la verificación. Estos medios suplementarios de carga se pueden operar manualmente o por medio de motor. El espacio disponible para los especímenes debe ser lo suficientemente grande para acomodar, en posición legible, un aparato de calibración elástica de suficiente capacidad para cubrir el intervalo potencial de carga de la máquina de ensayo y que cumpla con los requisitos de la norma ASTM E 74. Los aparatos de calibración elástica generalmente disponibles y más comúnmente usados para este propósito, son el anillo de carga circular de ensayo y las celdas de carga.

Precisión: La precisión de la máquina de ensayo debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) El porcentaje de error de las cargas dentro del rango propuesto para la máquina, no debe exceder del $\pm 1.0\%$ de la carga indicada.
- b) La precisión de la máquina de ensayo se debe verificar aplicando cinco (5) cargas de ensayo en cuatro (4) incrementos aproximadamente iguales en orden ascendente. La diferencia entre dos cargas de ensayo sucesivas cualesquiera no debe exceder en más de un tercio de la diferencia entre la máxima y la mínima carga de ensayo.
- c) La carga del ensayo tal y como se indica por la máquina de ensayo y la carga aplicada calculada a partir de las lecturas de los elementos de verificación, se deben registrar en cada punto de ensayo. Se debe calcular el error, E , y el porcentaje de error, Ep , para cada punto de estos datos como sigue:

$$E = A - B$$

$$EP = 100 \frac{A-B}{B} \%$$

Ecuación 1

Donde:

A = carga, kN (o lbf) indicada por la máquina que está siendo verificada, y B = carga aplicada, kN (o lbf) determinada por el elemento de calibración. En el informe sobre la verificación de una máquina de ensayo, se debe consignar dentro de qué intervalo de carga se encontró que se ajustaba a los requisitos de la especificación, en lugar de informar una aceptación o rechazo general. En ningún caso el intervalo de carga deberá incluir cargas por debajo del valor que sea 100 veces el cambio más pequeño de carga que pueda estimar el mecanismo indicador de carga de la máquina de ensayo o cargas dentro de aquella porción del intervalo por debajo del 10% de la máxima capacidad del mismo.

- d) En ningún caso se debe consignar el intervalo de carga incluyendo cargas por fuera del rango de las cargas aplicadas durante el ensayo verificación.
- e) La carga indicada por la máquina de ensayo no se debe corregir ni mediante cálculos, ni mediante el uso de diagramas de calibración para obtener valores dentro de la variación permisible requerida.

La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga, de acero con caras endurecidas, uno de los cuales es un bloque con rótula el cual descansa sobre la superficie superior de la muestra, y el otro un bloque sólido sobre el cual se colocará el espécimen. Las superficies de los bloques que estarán en contacto con el espécimen deben tener una dimensión al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen a ensayar. Excepto para los círculos concéntricos descritos a continuación, las caras de carga no se deben separar del plano en más de 0.02 mm ($0.001''$) en cualquiera de los 150 mm ($6''$) de los bloques de 150 mm ($6''$) de diámetro o mayores, o en más de 0.02 mm ($0.001''$) de cualquier bloque con diámetro más pequeño; los bloques nuevos se deben fabricar con la mitad de estas tolerancias. Cuando el diámetro de la cara de carga con rótula exceda el diámetro del espécimen en más de 13 mm ($0.5''$), se deben inscribir círculos concéntricos con una profundidad no mayor de 0.8 mm ($0.03''$) y un ancho no mayor a 1.0 mm ($0.04''$) para facilitar el centrado.

El bloque inferior de carga debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) Debe ser adecuado para proveer una superficie maquinada que cumpla con los requerimientos anteriormente indicados. Las superficies superiores e inferiores deben ser paralelas una a la otra. El bloque se

debe poder asegurar a la platina de la máquina de ensayo. Su dimensión horizontal menor debe ser al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen ensayado. Los círculos concéntricos son opcionales.

- b) Se hará un centrado final con respecto al bloque superior cuando se use el bloque inferior para ayudar al centrado del espécimen. El centro de los anillos concéntricos, cuando éstos existan, o el centro del bloque mismo debe estar directamente debajo del centro de la rótula.
- c) El bloque de carga inferior debe tener al menos 25 mm (1") de espesor cuando sea nuevo, y al menos 22.5 mm (0.9") después de cualquier operación de afinado de la superficie, excepto cuando esté en completo e íntimo contacto con la platina interior de la máquina de ensayo, caso en el cual el espesor podrá ser de sólo 10 mm (0.38").

El bloque de carga con rótula debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) El diámetro máximo de la cara de carga del bloque con rótula no debe exceder los valores (ver tabla 1)

Diámetro del espécimen de ensayo, mm (pulg)	Diámetro máximo de la cara de carga, mm (pulg)
50 (2)	105 (4)
75 (3)	130 (5)
100 (4)	165 (6.5)
150 (6)	255 (10)
200 (8)	280 (11)

Tabla 1 Especificaciones de Diámetro de la Cara de Carga
Tomado de: Norma INV E-407-07

- b) El centro de la rótula debe coincidir con el de la superficie de la cara de carga dentro de una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la rótula. El diámetro de la rótula debe ser, al menos, el 75% del diámetro de la muestra que se va a ensayar.
- c) La rótula debe ser diseñada de tal forma que el acero en el área de contacto no sufra deformaciones permanentes debido al uso, con cargas de hasta 82.7 MPa (12.000 psi) sobre el espécimen de prueba.

- d) Las superficies de la rótula se deben mantener limpias y lubricadas con aceite de motor convencional. Después de entrar en contacto con el espécimen y de aplicar una pequeña carga inicial, se debe evitar cualquier movimiento adicional del bloque con rótula.
- e) Si el radio de la rótula es más pequeño que el radio del espécimen más grande a ser ensayado, la porción de la superficie de carga que se extiende más allá de la rótula debe tener un espesor no menor que la diferencia entre el radio de la esfera y el radio del espécimen. La menor dimensión de la superficie de carga debe ser al menos igual que el diámetro de la rótula (Ver Figura 3).
- f) La porción móvil del bloque de carga se debe sostener lo más segura que sea posible, pero el diseño debe ser tal que la cara de carga pueda girar libremente e inclinarse al menos 4° en cualquier dirección.

Indicador de Carga:

Si la carga de una máquina de compresión usada en el ensayo de concreto se registra en un dial, éste debe tener una escala graduada que permita leer con una precisión del 0.1% de la carga total de la escala. El dial debe ser legible dentro del 1% de la carga indicada a cualquier nivel de carga dado dentro del intervalo de carga. En ningún caso se debe considerar el intervalo de carga de un dial que incluya cargas por debajo del valor que sea 100 veces el más pequeño cambio de carga que se pueda leer sobre la escala. La escala debe tener una línea y un número que indique el cero (0). El puntero debe tener una longitud tal, que alcance las marcas indicadoras. El espesor del extremo del puntero no debe exceder la distancia libre entre las graduaciones más pequeñas. Cada dial debe estar equipado con un dispositivo de ajuste al cero, accesible desde afuera, y con un indicador apropiado para que en todo momento y hasta cuando sea reiniciado indique, con una exactitud del 1% , la carga máxima aplicada al espécimen.

Si la máquina de ensayos indica la carga en forma digital, el número debe ser suficientemente grande para que sea legible, con un incremento numérico igual o menor al 0.05% de la carga total de la escala y dentro del 1.0% de la carga indicada en cualquier nivel dentro del rango de valores de carga dados. Se deben realizar los ajustes para que la aguja señale el cero verdadero cuando se encuentre con carga cero (0). Se debe proveer un indicador de carga máxima que, en todo momento, hasta cuando la máquina sea reiniciada, indique con una precisión del 1% , la carga máxima que fue aplicada al espécimen.

Muestras

Las muestras no se deben ensayar si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más de 2%

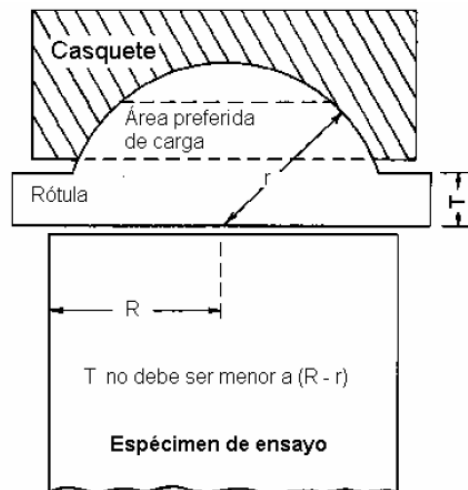


Figura 4 Dibujo esquemático de un bloque de carga típico con rótula
Tomado de: Norma INV E-407-07

Ninguna de las muestras ensayadas a compresión se debe separar de la perpendicularidad del eje en más de 0.5° (equivalentes a $3\text{ mm en }300\text{ mm}$ ($0.12''\text{ en }12''$) aproximadamente). El extremo de una muestra que no sea plana en 0.05 mm ($0.002''$) debe ser refrentado de acuerdo a lo indicado por la norma INV E-403. El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal de la muestra se debe determinar con una precisión de 0.25 mm ($0.01''$), promediando los dos diámetros medidos en ángulo recto uno con respecto al otro y en la mitad del espécimen.

El número individual de cilindros medidos para la determinación del diámetro promedio se puede reducir a uno por cada diez especímenes o tres especímenes por día, lo que sea mayor, si se sabe que todos los cilindros han sido hechos con un único lote de moldes reutilizables que consistentemente producen especímenes de diámetro promedio en una variación de 0.50 mm ($0.02''$). Cuando el diámetro promedio con un rango de variación de 0.50 mm o cuando los cilindros no están hechos con un único lote de moldes, cada cilindro ensayado se debe medir y el valor encontrado ser usado en los cálculos de la resistencia a la compresión de cada muestra. Cuando los diámetros son medidos con frecuencia reducida, el área de los cilindros ensayados en un determinado día se calculará como el promedio de la de los tres (3) o más cilindros que representan el grupo ensayado dicho día.

Si el cliente que requiere los servicios solicita la determinación de la densidad de la muestra, se debe determinar la masa de la muestra antes del refrentado. Se debe remover cualquier humedad de la superficie con una toalla y medir la masa de la muestra usando una balanza o báscula con una precisión del 0.3% de la masa que esté siendo medida. Se debe medir la longitud de la muestra con una aproximación de 1 mm ($0.05''$) en tres partes espaciadas regularmente alrededor de la circunferencia. Se debe sacar un promedio de la longitud con

una precisión de 1mm ($0.05''$). Alternativamente, se puede determinar la densidad del cilindro pesándolo en el aire y luego en el agua a $23^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$ ($73.5^{\circ} \pm 3.5^{\circ} \text{F}$), y calculando el volumen.

Cuando no se requiera determinar la densidad y la relación longitud/diámetro del cilindro sea menor de 1.8 ó mayor de 2.2, la longitud de éste se deberá medir con una aproximación de $0.05D$.

Procedimiento:

El ensayo de compresión de muestras curadas en agua se debe hacer inmediatamente después de que éstas han sido removidas del lugar de curado.

Las muestras se deben mantener húmedas utilizando cualquier método conveniente, durante el período transcurrido desde su remoción del lugar de curado hasta cuando son ensayadas. Se deberán ensayar en condición húmeda.

Todos los especímenes de una edad determinada, se deben romper dentro de las tolerancias indicadas a continuación:

Edad del Ensayo	Tolerancia Permisible
12 horas	0.25 horas ó 2.1%
24 horas	± 0.5 horas ó 2.1%
3 días	2 horas ó 2.8%
7 días	6 horas ó 3.6%
28 días	20 horas ó 3.0%
56 días	40 horas ó 3.0%
90 días	2 días ó 2.2%

Tabla 2 Tolerancias de Edad de Ensayo de los Especímenes
Tomado de: Norma INV E-407-07

Ubicación de la Muestra:

Se coloca el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque superior. Se limpian con un paño las superficies de los bloques superior e inferior y se coloca el espécimen sobre el bloque inferior. Se alinea cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de presión del bloque superior. El bloque con rótula se debe rotar

inmediatamente antes de proceder al ensayo, para asegurar la libertad de movimiento requerida. Antes de ensayar el espécimen se debe verificar que el indicador de carga esté ajustado en cero.

Velocidad de Carga:

Se aplica la carga continuamente sin golpes bruscos. La carga se deberá aplicar a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de $0.25 \pm 0.05 \text{ MPa/s}$ ($35 \pm 7 \text{ psi/s}$). La velocidad escogida se debe mantener, al menos, durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista. Sin embargo, no se deberá ajustar la velocidad de movimiento a medida que se está alcanzando la carga última y la tasa de aplicación de carga decrece debido al agrietamiento del cilindro. Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor, siempre que ésta se controle para evitar cargas por impacto.

Se aplica la carga hasta que el indicador señale que ella comienza a decrecer de manera continua y el cilindro muestra un patrón de falla bien definido (Figura 4). Si se usa una máquina equipada con un detector de rotura del espécimen no se permitirá su reconexión hasta que la carga haya caído a un valor menor de 95% de la máxima. Cuando se ensayan cilindros sin refrentar, puede ocurrir una fractura de esquina antes de alcanzar la carga última; en tal caso se debe continuar la compresión hasta que se tenga la certeza de haber alcanzado la carga última. Se registra la carga máxima soportada por el cilindro durante el ensayo y se anota el patrón de falla de acuerdo con los modelos de la (Figura 4). “, si se ajusta a alguno de ellos. En caso contrario se harán un dibujo y una descripción del tipo de falla producido. Si la resistencia medida es muy inferior a la esperada, se examina el cilindro para detectar zonas con vacíos o con evidencias de segregación o si la fractura atraviesa partículas del agregado grueso y se verifican, también, las condiciones del refrentado.

Cálculos:

Se calcula la resistencia a la compresión, dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, por el promedio del área de la sección transversal, y expresando el resultado con una aproximación de 0.1 MPa (10 psi).

Si la relación entre la longitud del espécimen y su diámetro es 1.75 o menor, se corrige el resultado obtenido, multiplicándolo por el factor apropiado de los que se indican a continuación:

L/D	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor	0.98	0.96	0.93	0.87

Tabla 3 Factores de Corrección que se Aplican a Concretos Livianos
Tomado de: Norma INV E-407-07

Cuando se requiera, se calculará la densidad de la muestra con una precisión de 10 kg/m³ (1lb/pie³), de la siguiente manera:

$$DENSIDAD = \frac{W}{V}$$

Ecuación 1

Donde:

W = masa de la muestra, kg (lb), y

V = volumen de la muestra calculado con el diámetro promedio y la longitud Promedio o pesando el cilindro en el aire y sumergido en agua, m³ (pie³)
Cuando el volumen es calculado sumergiendo la muestra, se determina de la siguiente manera:

$$V = \frac{W - W_s}{\gamma_w}$$

Ecuación 2

Donde:

W_s = masa aparente de la muestra sumergida, kg (lb), y

γ_w = densidad del agua a 23° C (73.5° F) = 997.5 kg/m³ (62.27lbs/pie³).

Precisión Y Tolerancias

Precisión:

La precisión de los ensayos efectuados por un solo operador sobre cilindros individuales de 150 mm por 300 mm (6" x 12") elaborados de una buena muestra de concreto, para cilindros hechos en el laboratorio y bajo condiciones normales de campo, está dada en la tabla 4:

Un solo operador	Coeficiente de Variación	Rango aceptable de	
		Dos resultados	Tres resultados
Condiciones de laboratorio	2.37%	6.6%	7.8%
Condiciones de campo	2.87%	8.0%	9.5%

Tabla 4 Condiciones Normales De Campo
Tomado de: Norma INV E-407-07

Los valores dados son aplicables a cilindros de 150 mm por 300 mm (6" x 12") con resistencia a la compresión entre 15 MPa y 55 MPa (2000 psi y 8000 psi).

Tolerancias:

Como no existe un material de referencia aceptado para la determinación de las tolerancias, no se hace ninguna declaración sobre el particular.

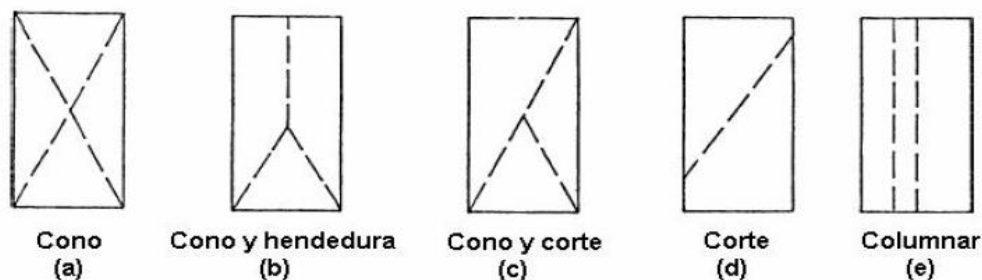


Figura 5 Esquemas de los Tipos de Falla
Tomado de: Norma INV E-407-07

ENSAYO DE Tensión DE BARRAS Y ALAMBRES DE ACERO I.N.V. E – 501 – 07

En las pruebas de tensión y también llamadas ensayos de tracción el cual consiste en someter un material a una fuerza que va aumentando hasta producir el fallo del material causando una deformación en un intervalo de tiempo y velocidad muy pequeños. Esta es una de las pruebas más utilizadas para hallar las propiedades de los materiales midiendo su resistencia con una fuerza estática y que se aplica lentamente.

En un ensayo de tracción pueden determinarse diversas características de los materiales elásticos: Módulo de elasticidad, Coeficiente de Poisson, Límite de proporcionalidad, Límite de fluencia o límite elástico aparente, Límite elástico (límite elástico convencional o práctico), Carga de rotura o resistencia a tracción, Alargamiento de rotura, Estricción.

Por lo general, el límite de proporcionalidad no se determina, Tampoco se calcula el Módulo de Young, ya que éste es característico del material; así, todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad aunque sus resistencias puedan ser muy diferentes.

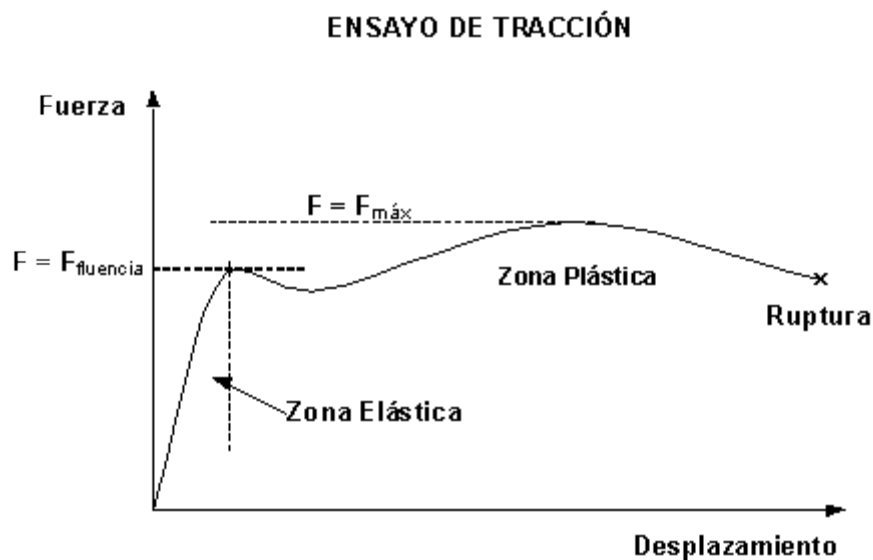


Figura 6 Curva de Deformación

Tomado de: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/31/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>

El objeto del ensayo de tracción es medir la deformación o alargamiento de la probeta a medida que se incrementa el peso aplicado, y se representa gráficamente en función de la tensión. Al iniciarse la prueba de tensión, el material se deforma elásticamente; si la carga se elimina, la muestra recupera su longitud original y se dice que el material sobrepasó su límite elástico cuando la carga es de magnitud suficiente para iniciar una deformación plástica, esto es, no recuperable; en otras palabras, el material no recupera su longitud original si se elimina la carga aplicada. A medida que la muestra continúa alargándose, el esfuerzo aumenta y se dice que el material ha sufrido un endurecimiento por trabajo o deformación. En si, la curva tensión-deformación así obtenida presenta cuatro zonas diferenciadas:

Objeto

Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la tensión de barras y alambres de acero.

El ensayo de tensión consiste en someter un espécimen prismático a fuerzas de tracción capaces de llevarlo a la rotura con el fin de determinar algunas propiedades mecánicas del espécimen.

Los valores establecidos en unidades *SI* (*Sistema Internacional*) deben ser considerados como la norma.

Esta norma no pretende dar directrices sobre aspectos de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, establecer las medidas de seguridad y salubridad apropiadas y determinar la aplicación de las limitaciones regulatorias antes de su empleo.

Definiciones

Longitud entre marcas: Es la longitud de la parte cilíndrica de la muestra en cualquier momento del ensayo, sobre la cual se mide el alargamiento. Se deben distinguir las siguientes longitudes:

- a) **Longitud inicial entre marcas (L_0)** – Distancia entre marcas antes de la aplicación de la carga.
- b) **Longitud final entre marcas (L_u)** – Distancia entre marcas después de la rotura, al juntar y ajustar cuidadosamente los dos fragmentos de manera que el uno sea la continuación del otro.

Porcentaje de alargamiento permanente: Es la variación de la longitud entre marcas de la muestra de ensayo, cuando se somete a un proceso de carga y descarga durante el cual se alcanza un esfuerzo prescrito de tracción. Esta variación se expresa en porcentaje de la longitud inicial entre marcas. El símbolo de este alargamiento se complementa con un subíndice que indica el esfuerzo prescrito.

Porcentaje de alargamiento después de la rotura (A): Es el alargamiento permanente ($L_u - L_o$) de la longitud entre marcas después de la rotura, expresado como porcentaje de la longitud inicial entre marcas, L_o .

Porcentaje de reducción del área por constricción (Z): Es la máxima disminución del área de la sección transversal, que se produce durante el ensayo ($S_o - S_u$), expresada como porcentaje del área de la sección transversal inicial, S_o .

Carga máxima (F_m): Es la mayor carga soportada por el elemento durante el ensayo.

Carga final o última (F_u): Es la carga que soporta la probeta en el momento de la rotura.

Carga en el límite de fluencia (F_f): Es la carga para la cual se produce un alargamiento en la probeta, sin que se presente variación de la carga.

Esfuerzo de tracción (T): Es el cociente, en cualquier instante del ensayo, entre la carga y el área de la sección transversal inicial de la muestra.

Esfuerzo máximo de tracción (T_m): Es el cociente entre la carga máxima y el área de la sección transversal inicial de la muestra.

Límite de fluencia (T_f): Si durante el ensayo se observa una caída o estabilización de la carga, el esfuerzo correspondiente al valor más alto de dicha carga, se denomina "límite superior de fluencia" y el esfuerzo correspondiente a la mayor carga subsiguiente observada se denomina "límite inferior de fluencia".

Límite de elasticidad convencional (T_e): Esfuerzo al cual corresponde el alargamiento permanente prescrito, expresado en porcentaje de la longitud entre marcas.

Símbolos y terminología – En la Tabla 6 se incluyen los símbolos y terminología aplicables.

Equipos

Sistema de carga: Existen dos tipos generales de sistemas de carga: el mecánico (con tornillo) y el hidráulico. Estos difieren principalmente en la variabilidad de la relación de aplicación de carga-cabeza transversal. Las máquinas modernas tanto de tornillo como hidráulicas permiten una variación ilimitada a lo largo del rango de velocidades.

Máquina de Ensayo: La máquina para el ensayo de tensión debe mantenerse en excelentes condiciones de operación y utilizarse solamente en el rango de carga apropiado. Debe, además, calibrarse periódicamente para asegurar en todo momento la exactitud especificada, con un error máximo permisible del 1% de la carga indicada en la máquina.

Símbolo	Designación	Unidad
d	Diámetro de la sección de barra	mm
a	Espesor de la probeta	mm
b	Ancho de la probeta	mm
Lo	Longitud inicial entre marcas	mm
Lc	Longitud de la parte paralela o calibrada de la probeta	mm
Lt	Longitud total de la probeta	mm
Lu	Longitud final entre marcas	mm
So	Área de la sección transversal de la parte calibrada	mm ²
mm²	de la probeta	mm ²
Su	Área de la sección transversal mínima después de la	kgf
Ff	rotura	kgf
Fu	Carga en el límite de fluencia	kgf
Fm	Carga final o carga en el momento de la rotura.	kgf/mm ²
Tm	Carga máxima	kgf/mm ²
Tf	Esfuerzo máximo de tracción	kgf/mm ²
Te	Límite de fluencia	mm
Lu -Lo	Límite de elasticidad convencional	
	Alargamiento permanente después de la rotura	
	Porcentaje de alargamiento después de la rotura	%
A		
	$\frac{Lu-Lo}{Lo} * 100 \square$	
Z	Porcentaje de reducción del área por constricción	%
	$\frac{So-Su}{So} * 100 \square$	

Tabla 5 símbolos y terminologías
Fuente: Norma INV E-501-07

Las máquinas que vienen equipadas con registradores gráficos de esfuerzo-deformación, tienen un componente medidor de carga, el cual debe ser calibrado separadamente del calibrador de la máquina de ensayo.

Sistema de agarre del espécimen:

La función del elemento de soporte o de agarre de la máquina de ensayo, es transmitir la carga de las cabezas de la máquina, al espécimen que se está ensayando. El requerimiento esencial, es que la carga sea transmitida axialmente. Esto implica que los centros de acción de las abrazaderas estén alineados con el eje del espécimen durante todo el ensayo de manera que sean minimizados los doblamientos o giros en el elemento. El agarre del espécimen se restringirá a la longitud entre mordazas.

Velocidad del ensayo:

La velocidad del ensayo no debe ser mayor de aquélla a la cual las lecturas de carga y deformación puedan realizarse con exactitud. En los ensayos de producción, la velocidad de ensayo comúnmente se expresa como:

(1) En términos de velocidad libre de recorrido de la cabeza transversal (rata de movimiento de la cabeza de la máquina de ensayo, cuando no está bajo carga); (2) En términos de la rata de separación de las dos cabezas de la máquina de ensayo bajo carga; o (3) en términos de la rata de esfuerzo del espécimen. La velocidad del ensayo se puede también expresar en términos de la rata de deformación del espécimen. Sin embargo, no es práctico controlar la rata de deformación en las máquinas que actualmente se utilizan.

Las siguientes limitaciones de la velocidad del ensayo son las más adecuadas para la mayoría de los productos de acero:

- a) Cualquier velocidad de ensayo se puede usar hasta la mitad del límite elástico o de resistencia a la deformación. Cuando se alcance este punto, la rata de separación de las cabezas bajo carga se debe ajustar, para que no exceda de *1.6 mm* por minuto para *25.4 mm* de longitud entre marcas, o la distancia entre las abrazaderas de los especímenes de ensayo que no tengan sección reducida. Esta velocidad se debe mantener hasta el límite elástico o de resistencia a la deformación. En la determinación de la resistencia a la tensión, la rata de separación en las cabezas bajo carga, no debe exceder de *12.7 mm* por minuto para *25.4 mm* de longitud entre marcas. En ningún caso, la velocidad del ensayo será menor a *1/10* de la rata máxima especificada para determinar el límite elástico o la resistencia a la deformación y la resistencia a la tracción.

- b) Se permite fijar la velocidad de la máquina de ensayo, ajustando la velocidad libre de las cabezas a los valores antes especificados, ya que la rata de separación de las cabezas bajo carga en estas colocaciones de la máquina, es menor que los valores especificados de velocidad de movimiento libre de las cabezas.
- c) Como alternativa, si la máquina está equipada con un elemento que indica la rata de carga, la velocidad de la máquina entre el valor medio y el valor máximo del límite elástico o resistencia a la deformación, se puede ajustar para que la rata de esfuerzo no exceda de 690 MPa/min (100.000 si/min). Sin embargo la rata mínima de esfuerzo no debe ser menor de 70 MPa/min (10.000 psi/min).

Muestreo:

Zona calibrada:

- a) La sección de la probeta debe ser preferiblemente circular.
- b) El diámetro de la probeta es el diámetro de la sección circular medido en la zona calibrada.
- c) Las probetas extraídas de cuerpos cilíndricos no se deben enderezar a golpes o por calentamiento.

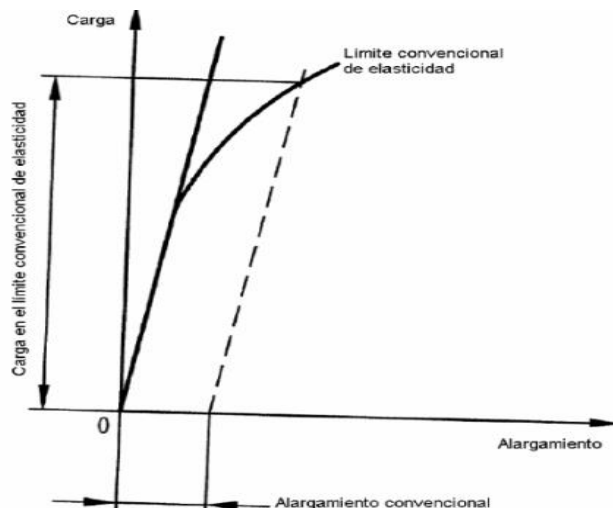


Figura 7 Deformación.
Tomado de: Norma INV E-501-07

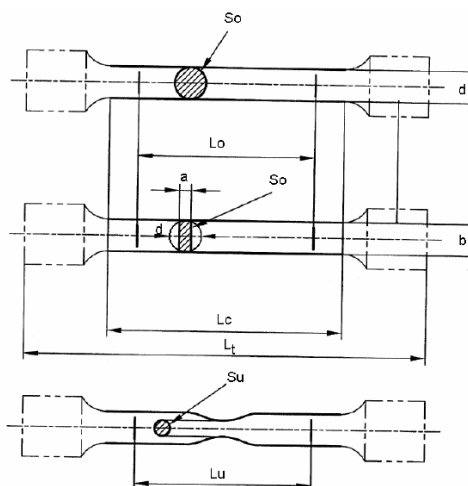


Figura 8 Área de la sección transversal de la parte calibrada para diferentes tipos de probetas.
Tomado de: Norma INV E-501-07

- d) Las probetas de alambre se deben enderezar a mano. Si esto no fuere posible, se hará mediante un martillo de madera o de material similar a la probeta, siempre y cuando se coloque el alambre sobre una superficie plana de madera o de un material similar al alambre.
- e) La longitud de la parte calibrada (L_c), será igual a $L_o + 2d$. Si no es posible obtener esta longitud, se pueden usar otras siempre que ellas no sean inferiores a $L_o + d/2$.
- f) Las probetas de alambre se marcarán a través de la longitud entre mordazas, dejando sin marcar, a partir de cada mordaza, una distancia por lo menos igual a $2d$ (d = diámetro del alambre), con marcas a intervalos iguales a la mitad de la longitud de calibración con una aproximación de 1%.
- g) Las marcas que se hagan en la muestra para la determinación del alargamiento deben ser superficiales.

Cabezas de la muestra: La parte calibrada se debe unir con una superficie curva suave y continua a las cabezas de la muestra, para permitir una distribución uniforme de tensiones. Las cabezas tendrán forma adaptable a los dispositivos de fijación de la máquina de ensayo.

Longitud inicial entre marcas

- a) **Probeta proporcional normal:** Es una probeta para la cual la relación $L_o / (S_o)^{1/2}$ es igual a 5.65.
- b) **Probetas normales:** En muchos casos se emplean probetas proporcionales para las cuales la relación $L_o / (S_o)^{1/2}$ es diferente de 5.65 (tales como 4, 8, 16 y 11.3) o probetas con longitud inicial entre marcas independientes de la sección.

- c) **Tolerancias de maquinado y forma:** Las tolerancias admisibles en la preparación de las probetas estarán indicadas en la figura 8 y 9. Y la tabla 7 que aparecen a continuación.

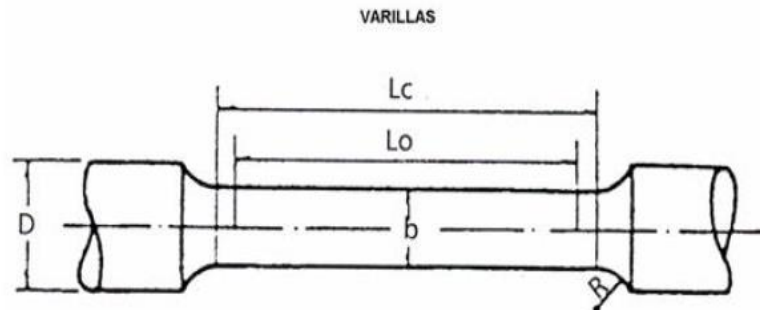


Figura 9 Dimensiones de las muestras para el ensayo de varillas
Tomado de: Norma INV E-501-07

	Probeta normal	Probetas pequeñas proporcionales a la normal	
Lo	50 ± 0.2 35	35 ± 0.2	25 ± 0.2
b	12 ± 0.4	9 ± 0.4	6 ± 0.4
Lc	Mín 57	Mín 45	Mín 32
D	20; 2.5 (3/4", 10)*	12; 1.75 (1/2", 13)*	10; 1.5 (3/8", 16)*
R	Min 10	Min 10	Min 7

Tabla 6 Dimensiones de las muestras para el ensayo de varillas
Tomado de: Norma INV E-501-07

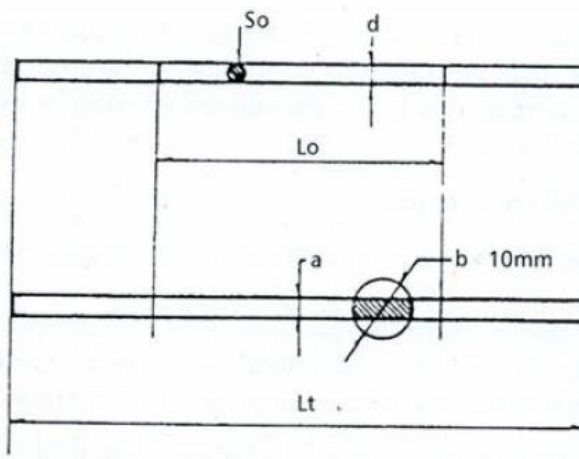


Figura 10 Muestras de alambre y torones para el ensayo de tensión
Tomado de: Norma INV E-501-07

- a) La muestra será un trozo de alambre de sección original, con una longitud tal, que la distancia entre las mordazas de la máquina no sea menor de 150 mm.
- b) Cuando se usan muestras diferentes a las probetas proporcionales ($L_0=11.3 (S_0)^{1/2}$), la longitud de calibración será igual a 100 mm. Sin embargo, para aceros que tengan pequeños alargamientos (menores de 5%) se pueden emplear una longitud de calibración de 200 mm.

Ensayo sin elaboración de muestra: El ensayo de tracción se podrá realizar sin elaboración de muestras en los siguientes casos:

- a) Por especificación.
- b) Para productos de sección circular o poligonal cuando el diámetro (del círculo circunscrito en el segundo caso) es inferior a 10 mm.

Selección: La selección de las muestras se hará de acuerdo con las especificaciones correspondientes de cada material.

Tamaños y tolerancias: Los especímenes de ensayo deben tener un espesor completo, o pueden ser maquinados para obtener la forma y dimensiones que se muestran en las Figuras 3 y 4. La selección del tamaño y tipo del espécimen la señalan las especificaciones aplicables del producto ensayado. Los especímenes de sección completa se deben ensayar en una máquina de 200 mm (8") de longitud, a menos que se especifique algo diferente.

Obtención de los especímenes de ensayo: Los especímenes se deben cortar con segueta, cortarse con oxígeno directamente de la porción del material. Generalmente se maquina para tener una sección transversal reducida en la mitad de la longitud, obtener una distribución de los esfuerzos sobre la sección transversal y localizar la zona de fractura. Cuando se hayan obtenido las muestras para el ensayo se debe tener cuidado de remover por medio de maquinado toda distorsión, áreas afectadas por el trabajo en frío o por el calor de los bordes de la sección usada en el ensayo de evaluación.

Añejamiento de los especímenes de ensayo: A menos que se especifique lo contrario, se permite el añejamiento de los especímenes para el ensayo de tensión. El ciclo tiempo-temperatura empleado debe ser tal que los efectos de los procesos previos no se cambien materialmente. Esto se puede lograr por un añejamiento a temperatura ambiente durante 24 a 48 horas, o durante un tiempo más corto a una temperatura moderadamente elevada mediante ebullición en agua, calentamiento en aceite o dentro de un horno.

Medida de las dimensiones de los especímenes de ensayo: Para la determinación del área de la sección transversal en especímenes circulares, normalizados para el ensayo a tensión como se muestra en la Figura 3, el

diámetro se debe medir en el centro de la longitud de la muestra con una precisión de 0.0254 mm ($0.001''$).

Generalidades: El ensayo de los especímenes se debe realizar en la forma señalada en las especificaciones del producto que está siendo ensayado. Especímenes preparados en forma inapropiada frecuentemente causan resultados insatisfactorios. Es importante, por lo tanto, tener extremo cuidado en la preparación de los especímenes, particularmente en el maquinado. Es deseable que el área de la sección transversal del espécimen sea más pequeña en el centro de éste para asegurar la fractura en dicho sector.

Especímenes redondos: Se usan, generalmente, especímenes redondos normalizados, con diámetro de 12.5 mm en el ensayo de tensión de materiales metálicos, tanto fundidos como forjados. La forma de los extremos del espécimen fuera de la longitud del medidor debe ser apropiada para el material de manera que se adapten a las abrazaderas de la máquina de ensayo permitiendo una aplicación axial de la carga.

Marcas del espécimen: Los especímenes se deben marcar con un sello, marcador, o con tinta. El propósito de esta marca es determinar el porcentaje de elongación. Las marcas deben ser ligeramente angostas y exactamente espaciadas. La localización de esfuerzos en las marcas hace que un espécimen duro, sea susceptible de iniciar una fractura en el lugar de la marca. La marca de la muestra para la medición de la elongación después de la fractura se debe hacer en la parte plana o en el borde del espécimen plano y dentro de la sección paralela. Para especímenes con una longitud de 200 mm , se puede usar uno o más juegos de marcas. Marcas intermedias dentro de la longitud de la muestra son opcionales.

Los especímenes de 50 mm de longitud y los redondos, se marcan con una doble perforación centrada a una marca contorneada. En ambos casos, los puntos deberán estar aproximadamente equidistantes del centro de la longitud de la sección reducida. Se deben observar las mismas precauciones cuando los especímenes de ensayo tengan sección completa.

Procedimiento

Calibración de la muestra: Antes de colocar la muestra en la máquina, se determina su longitud con una precisión mínima de 0.1 mm y, las dimensiones de la sección con una precisión mínima de 0.025 mm .

Posición del deformímetro: El deformímetro se fija en la muestra dentro de la zona calibrada. Previamente a su colocación, se debe efectuar una precarga inferior al 1% previsible del límite elástico, valor que es suficiente para el correcto ajuste del deformímetro.

Velocidad de la máquina:

- a) Para alambres, la velocidad de aplicación de carga, en ningún caso será mayor de 10 kgf/mm^2 por segundo.
- b) Cuando se determina el límite elástico o límite de elasticidad convencional, la velocidad de aplicación de la carga no deberá producir un incremento de esfuerzo mayor de 1 kgf/mm^2 por segundo, desde el comienzo del ensayo hasta que alcance el límite de elasticidad. En el caso de muestras de alambre; y para los demás tipos de muestras, la velocidad de aplicación de la carga no deberá producir un incremento de esfuerzo mayor de 1 kgf/mm^2 por segundo a partir de 5 kgf/mm^2 por segundo hasta que alcance el límite de elasticidad.
- c) **Zona plástica:** En esta zona, la velocidad de la máquina no debe ser superior al 40% de la longitud entre marcas, por minuto. Cuando se ensayan aceros de resistencia nominal inferior a 110 kgf/mm^2 y no se intenta determinar su límite elástico, la velocidad puede alcanzar, en la zona elástica, el límite que se ha fijado para la zona plástica.
- d) En ambas zonas, la velocidad se debe mantener lo más constante posible.

Determinación del límite de fluencia:

La tracción en el límite de fluencia se determina de la siguiente forma: Para materiales que presente n este límite en forma notoria, el valor escogido es aquel en que la aguja indicadora de las cargas retrocede o permanece quieta después de iniciado el ensayo, sin importar que la muestra sigue alargándose. En el caso de máquinas de contrapeso deslizante, este valor vendrá dado por la carga correspondiente a la primera caída del brazo de palanca, a pesar de que continúa la deformación de la probeta. Este método corresponde con el de la detención del puntero indicador del dial.

Existen, además, los métodos del diagrama autográfico, cuando se dispone de un dispositivo de este tipo, y el de extensión total bajo carga cuando el material no puede exhibir una deformación bien definida.

Determinación del límite de elasticidad convencional:

Es necesario obtener datos (gráficos o numéricos) con los cuales se pueda dibujar un diagrama esfuerzo-deformación. Luego, sobre este diagrama se dibuja una línea "Om" igual al valor especificado del desplazamiento, se traza una paralela a OA, y se localiza, punto dado como la intersección de "mn" con la curva esfuerzo-deformación correspondiente a la carga R, la cual es la carga de resistencia a la fluencia.

En el reporte de los valores de la resistencia a la fluencia obtenidos por este método, se especifica el valor de "desplazamiento" usado en el paréntesis después del término resistencia a la fluencia.

Determinación del alargamiento en muestras proporcionales:

Después de la rotura, los dos fragmentos de la muestra se deben ajustar procurando que sus ejes de simetría estén uno en prolongación del otro. El aumento de longitud se debe medir con una aproximación de 0.25 mm . Este tipo de determinación no es válido en principio, si la distancia de la sección de rotura a la marca más cercana es inferior a $1/3$ de la longitud entre marcas después de la rotura para probetas en que $L_0 = 5.65(S_0)^{1/2}$; $1/4$ de la longitud entre marcas después de la rotura para probetas en que $L_0 = 8.15(S_0)^{1/2}$ y $1/5$ de la longitud entre marcas después de la rotura para probetas en que $L_0 = 11.3(S_0)^{1/2}$. La determinación de alargamiento para probetas de alambre es válida solamente si la distancia entre la fractura y la mordaza más cercana es mayor de $5d$. Para las demás probetas es válida para cualquier posición de la sección de rotura, si el alargamiento alcanza el valor mínimo indicado en la especificación del material.

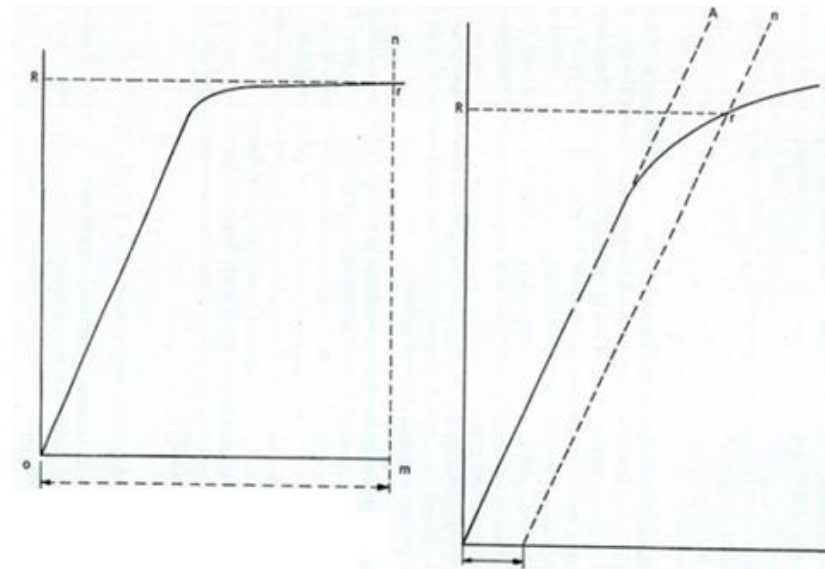


Figura 11 Límite de Elasticidad Convencional.
Tomado de: Norma INV E-501-07

Determinación del alargamiento en el caso general:

Después de la rotura los dos fragmentos de la probeta se deben juntar procurando que sus ejes de simetría se ajusten uno en prolongación del otro. El aumento de longitud se debe medir con una aproximación de 0.25 mm . Este

tipo de determinación no es válido en principio, si la distancia de la sección de rotura a la marca más cercana es inferior a $1/3$ de la longitud entre marcas después de la rotura, para probetas en que la distancia entre marcas es de 50 mm ; $1/4$ de la longitud entre marcas después de la rotura, para probetas en que la distancia entre marcas es mayor de 50 mm . Sin embargo, el ensayo es válido, cualquiera que sea la posición de la sección de rotura, si el alargamiento alcanza el valor mínimo indicado en la especificación del material.

Método de la subdivisión de la longitud inicial entre marcas:

Para evitar el rechazo de las probetas, se puede utilizar el siguiente procedimiento que consiste en dividir la longitud entre marcas en N partes iguales y después del ensayo se designa con la letra A la marca extrema del fragmento más corto.

A partir de la rotura en el fragmento más largo se mide una distancia igual a la dada entre A y la rotura, siendo B la marca más cercana. Si “ n ” es el número de intervalo entre A y B , el alargamiento de rotura se determina como sigue:

- Si $N - n$ es un número par, se miden las distancias entre A y B y la distancia de B a la división C , situada a $(N-n)/2$ intervalos de B . El alargamiento de rotura resulta aplicando la fórmula:

$$A = \frac{AB + 2BC - L_0}{L_0} * 100$$

Ecuación 3

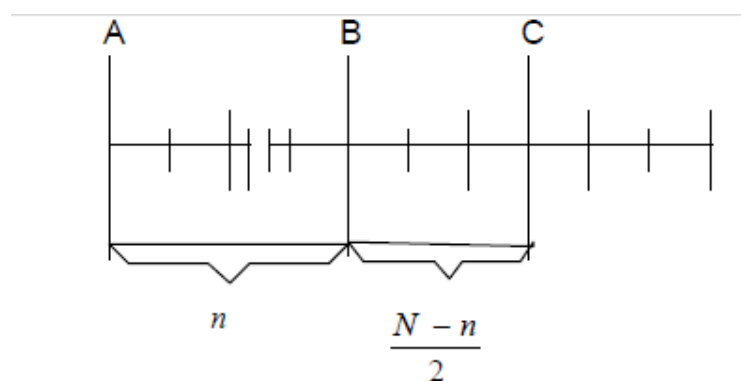


Figura 12 Método de la Subdivisión de la Longitud Inicial Entre Marcas
Tomado de: Norma INV E-501-07

Si $N - n$ es un número impar, se mide la distancia entre A y B y la distancia de B a las divisiones C y D , situadas a $(N-n-1)/2$ y $(N-n+1)/2$ intervalos de B respectivamente. El alargamiento de rotura resulta aplicando la fórmula:

$$A = \frac{AB + 2BC - L_0}{L_0} * 100$$

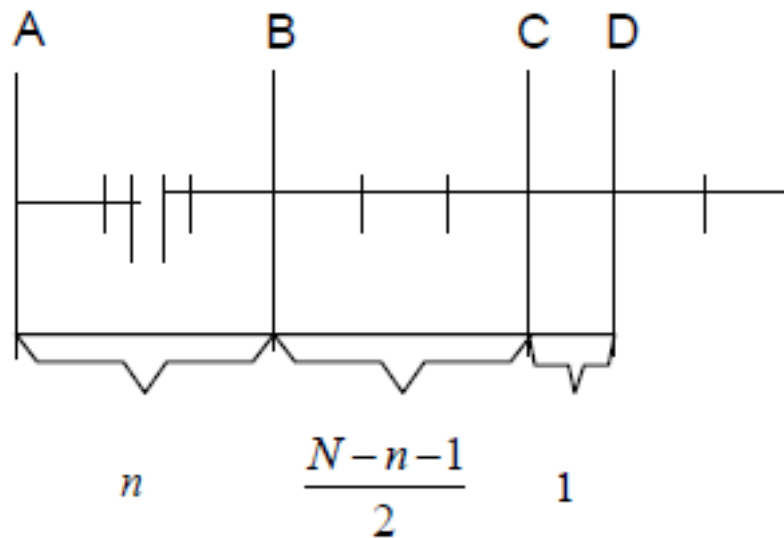


Figura 43 Método de la Subdivisión de la Longitud Inicial Entre Marcas
Tomado de: Norma INV E-501-07

Medida de la carga: La carga se debe medir con una precisión compatible con la especificación del material que se ensaye.

Reducción de área: Se unen los extremos del espécimen fracturado y se mide el diámetro promedio con la misma precisión de las medidas originales. La diferencia entre el área así encontrada y el de la sección transversal original, expresado como porcentaje de esta última, es la reducción de área.

Probetas Utilizadas En Una Máquina De Ensayos Mecánicos

Las probetas usadas para evaluar estructuras de materiales comerciales son de tamaño y forma definidos por un método de prueba estándar. Se han realizado pruebas de productos manufacturados de formas variadas como hojas, platos, pipas y productos tubulares, vigas, barandillas, láminas y alambres. La descripción del material de prueba es útil para entender sus propiedades y determinar si el material mantiene una microestructura estable aceptable bajo condiciones de aplicación. El tamaño de una probeta puede afectar la propiedad de ductilidad en un ensayo de tensión.

La orientación y localización de la probeta puede influir en las mediciones de la prueba, la orientación es importante para estandarizar los resultados relativos a la direccionalidad de sus propiedades que frecuentemente se desarrollan en la microestructura del material durante el proceso. La parte que se toma para realizar la prueba es importante ya que influye en la uniformidad de la microestructura a lo largo de la muestra y de su espesor.

ENSAYO DE DOBLAMIENTO I.N.V. E – 502 – 07

Objeto

Esta norma tiene por objeto establecer mediante doblado, la ductilidad y tenacidad, a temperatura ambiente, de productos metálicos en el estado de entrega o en el estado señalado.

El ensayo de doblamiento se usa para evaluar la ductilidad, pero no puede considerarse como un medio cuantitativo para predecir el comportamiento en operaciones de doblamiento.

La severidad del ensayo de doblamiento es principalmente una función del ángulo de doblamiento, del diámetro interno al cual el espécimen es doblado, y de la sección transversal del espécimen.

Estas condiciones varían de acuerdo con la localización y orientación del espécimen, con su composición química, con sus propiedades a tensión y dureza, y con el tipo y calidad del acero especificado.

Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.

Esta norma no pretende dar directrices sobre aspectos de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, establecer las medidas de seguridad y salubridad apropiadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su empleo.

Definiciones

Eje de doblamiento: Es el eje paralelo a las generatrices de los apoyos y del mandril alrededor del cual se dobla la probeta.

Angulo de doblamiento – Es el que forma una de las ramas de la muestra, bajo carga, con la prolongación de la otra.

Símbolo	Designación	Unidad
R	Radio de Curvatura de las Superficies de Apoyo	mm
D	Diámetro del Mandril (macho)	mm
a	Espesor o Diámetro de la Probeta	mm
b	Ancho de la Probeta	mm
a	Angulo de doblamiento	grados
r	Radio de curvatura interior de la probeta después de doblada	mm

Tabla 7 Simbología y terminología
Tomado de: Norma INV E-501-07

Equipo

Dispositivo para la aplicación de la carga: Debe permitir la aplicación de la carga, en forma lenta y uniforme, sin choques ni vibraciones. En la especificación del producto se debe indicar la velocidad de carga.

Soportes y mandril – Deben ser paralelos entre sí y tener una longitud superior al ancho de la muestra. Los medios de curvatura del mandril y de los rodillos de apoyo deben ser establecidos por la especificación del producto. La misma observación es válida para la distancia entre los rodillos del apoyo. Cuando ésta no se indique, se toma igual a $(D + 3a)$ (ver Figura 13). Cuando no se especifique el radio de los rodillos, este será de 25 mm para $a \leq 12\text{ mm}$ y 50 mm para $a > 12\text{ mm}$.

Matriz de doblamiento (Figura 14) – Consiste en un bloque con perfil en forma de V. Las caras oblicuas de la matriz deben formar entre sí un ángulo de $60^\circ \pm 10^\circ$ y su abertura puede ser por lo menos igual a 125 mm . Los bordes internos de apoyo deben ser redondeados, con un radio máximo de 10 mm y pueden ser tratados térmicamente para aumentar su dureza.

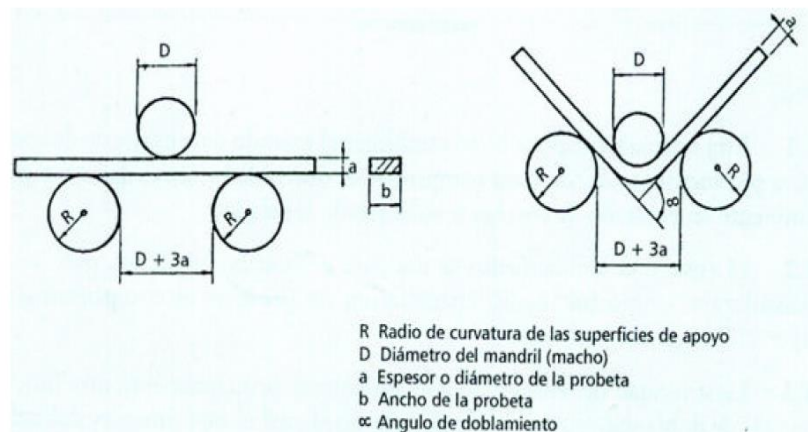


Figura 54 Soportes y Mandril
Tomado de: Norma INV E-501-07

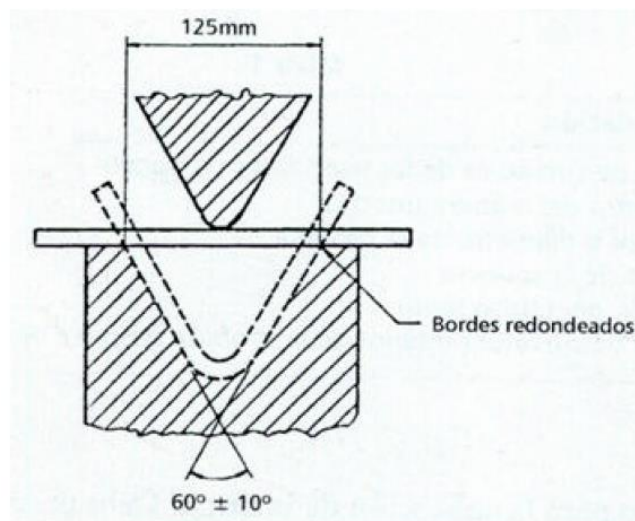


Figura 15 Matriz de Doblamiento
Tomado de: Norma INV E-501-07

Sección: En general, las muestras deben ser de sección rectangular con aristas levemente redondeadas. El radio de curvatura no debe ser menor de 1/10 del espesor de la probeta. Si embargo, se considera válido un ensayo realizado sobre probetas con aristas no redondeadas, siempre que los resultados obtenidos sean satisfactorios.

Ancho: Se fija en general, en un valor comprendido entre 25 mm y 50 mm.
Espesor

- a) **Productos planos y perfiles:** El espesor de la muestra será el del material a ensayar, cuando no se especifique otra cosa. Si el espesor es mayor de 25 mm se puede reducir por maquinado de una de las caras, pero sin que resulte menor de 25 mm. La cara no maquinada debe ser siempre la parte exterior del doblamiento.
- b) **Barras:** Para barras de acero de sección circular o poligonal, el ensayo se puede efectuar sobre un tramo de barra, si el diámetro (sección circular) o el diámetro del círculo inscrito (sección poligonal) no excede de 50 mm. Cuando dicho diámetro sobrepasa este valor se debe reducir siempre que no sea inferior a 20 mm.

Longitud: En el ensayo de doblamiento con matriz; la longitud de la muestra debe ser como mínimo de 250 mm.

Procedimiento

Principio del método: Consiste en someter a deformación plástica una muestra de las características establecidas, por medio de un doblamiento hecho sin invertir el sentido de flexión al ejecutarlo. La muestra se dobla hasta que una de sus ramas forme bajo carga un ángulo especificado, con la prolongación de la obra. El eje de la muestra debe permanecer en un plano perpendicular al eje de doblamiento.

En el caso de doblamiento a 180°, las dos ramas pueden, según lo especificado, aplicarse la una sobre la otra o quedar paralelas a una distancia determinada. Se puede hacer uso de una calza para fijar esta distancia a un valor deseado.

Procedimiento: Se debe proceder aplicando la carga en forma lenta y uniforme para no obstaculizar el deslizamiento del material, cuidando también que el eje de la muestra se mantenga perpendicular al doblamiento. El ensayo se puede efectuar de dos maneras:

- a) La muestra se coloca sobre los rodillos de apoyo y se dobla hasta el ángulo especificado. Si el doblamiento es mayor que el que se puede alcanzar por doblamiento sobre apoyos, se debe completar el ensayo.
- b) El doblamiento de la muestra se efectúa sobre una matriz con perfil en forma de V (Figura 15). Si el ángulo especificado es mayor que el que se puede alcanzar por doblamiento sobre matriz, se debe completar el ensayo.

Prensa: Si con los métodos anteriores no es posible alcanzar el ángulo especificado, se debe completar el ensayo actuando directamente sobre las extremidades de la probeta mediante una prensa (Figura 16). Si es necesario mantener el paralelismo, a una distancia determinada, se puede usar una calza (Figura 17).

Resultados

Interpretación de resultados: La cara externa de la parte doblada se debe examinar después del doblamiento. La interpretación que se dé al aspecto de ésta parte, se fija en la especificación del producto.

Presentación de resultados

- a) Indicaciones relativas a la forma y dimensiones, en mm, de la sección de la muestra.
- b) Naturaleza del maquinado, eventualmente ejecutado.
- c) Número de etapas en que se realizó el ensayo.

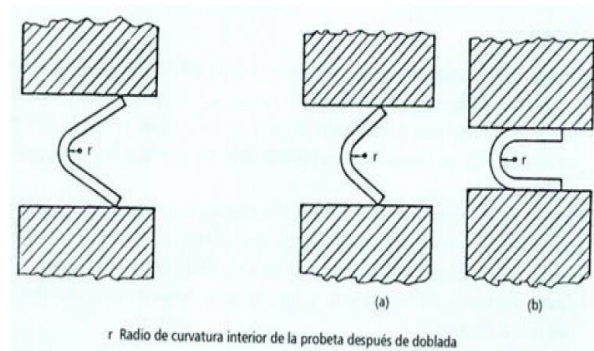


Figura 16 Prensa Para Alcanzar el Ángulo Especificado
Tomado de: Norma INV E-501-07

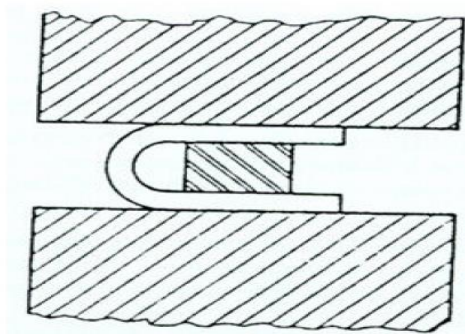


Figura 67 Calza Para Mantener el Paralelismo
Tomado de: Norma INV E-501-07

- d) El diámetro del mandril o el espesor de la calza utilizada en cada etapa.
- e) El ángulo de doblamiento y el radio de curvatura (si está especificado), alcanzadas por la muestra.
- f) Indicaciones relativas al hecho de haberse producido o no, rotura o figuración.
- g) Datos de identificación del material del cual fue extraída la muestra.
- h) Temperatura del ensayo.
- i) Velocidad del ensayo.

8. ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE LA MÁQUINA Y ANÁLISIS DE LOS CORRESPONDIENTES CAMBIOS A IMPLEMENTAR

La Máquina de Ensayos Universales marca ICON, con capacidad máxima de 20 toneladas consiste de un marco de carga compuesto de dos cabezales, uno móvil que actúa con el movimiento de un pistón, y el otro estático que se encuentra en la parte inferior, pero este está compuesto por una manivela y un tornillo sin fin el cual le da un movimiento vertical ascendente o descendente dependiendo el movimiento de la manivela, la maquina universal cuenta con una consola de control en ella se encuentra la válvula de paso la cual al momento de realizar cualquier ensayo se debe verificar que se encuentre cerrada para que permita el paso del aceite hacia el pistón, igualmente se encuentra la válvula de regulación con la que se puede graduar la velocidad con la que desee mover el cabezal superior. (Ver figura 18)



Figura 18 Consola de control maquina universal
Tomado de: Autor

Realizando el estudio de las condiciones de la máquina universal se observó que hay varias deficiencias en la parte de seguridad, en general la maquina en el momento daba buena prestación pero en conclusión era importante corregir los inconvenientes que tenía en el momento y realizar las mejoras propuestas. Principalmente se observó que el botón de control de la máquina ON-OFF estaba en condiciones críticas el cual se necesitaba reemplazar lo más rápido posible. (Ver figura 19)



Figura 19 Consola de control maquina universal
Tomado de: Autor

En la consola de control se encuentra el arrancador del motor, el cual tiene deficiencias en el cableado lo cual provoca un riesgo de corto circuito lo cual puede generar algún accidente con los estudiantes, laboratoristas o usuario que esté realizando las correspondiente prueba. (Ver figura 20)



Figura 20 Arrancador y conexiones eléctricas
Tomado de: Autor

La tubería se encuentra en estado aceptable, no tiene fugas de aceite en ningún punto. (Ver figura 21)



Figura 21 Tubería en cobre
Tomado de: Autor

La consola cuenta con un sistema por contrapesos en la parte de atrás que tiene un péndulo y en su parte extrema se sitúa una masa que dependiendo de la carga aplicada a la máquina o la probeta se alarga o acorta según sea la medida para generar mayor o menor inercia, al interior también se ve el sistema de cremallera la cual mueva la agujas del reloj generando una visualización de la carga aplicada y que a su vez hace girar la graficadora. (Ver figura 22)



Figura 22 Parte posterior consola
Tomado de: Autor

8.1. Funcionamiento Maquina Universal.

La máquina de ensayos funciona por medio de un sistema hidráulico que está ubicado en la parte interna de la consola de control el cual cuando se activa hace mover una bomba que envía aceite hacia una serie de tuberías que llegan hacia un pistón de simple efecto parecido a un “gato”. (Ver figura 23)

Este se basa en el principio de Pascal que dice que toda sobrepresión aplicada a un fluido confinado y en reposo se transmite íntegramente a todos los puntos del sistema y a las paredes del recipiente que lo contiene con la misma intensidad. Entonces, como presión, por definición, es igual al cociente entre la fuerza aplicada y la superficie sobre la cual se aplica, si tienes una fuerza pequeña aplicada sobre una superficie pequeña, ese cociente puede dar el mismo resultado que una fuerza grande aplicada sobre una superficie grande.



Figura 23 Consola interna
Tomado de: Autor

En la prensa hidráulica la bomba y el motor empujan una columna de aceite, que se encuentra en un tubo de diámetro bastante pequeño. Ese aceite circula por el tubo hasta llegar a otro recipiente que tiene un diámetro mayor y se encuentra en contacto con un émbolo que empuja una superficie muy grande. Si la presión se transmite con la misma intensidad, a superficie grande, para mantener la misma presión.

Este sistema hidráulico posee un cilindro de simple efecto, que al accionarlo con la bomba haciendo circular el aceite por las tuberías y generando una presión en el pistón hace que la mordaza superior empiece a ascender generando una acción de compresión y de tensión con la carcasa del pistón y una operación de tensión con la mordaza fija.



Figura 24 Pistón maquina universal
Tomado de: Autor

8.2. ANALISIS VARIABLES E IMPLEMENTACION DEL CORRESPONDIENTE SENSADO.

Como objetivo del proyecto además de la actualización y calibración de la máquina, se quiere obtener la curva fuerza – desplazamiento de los ensayos para la máquina universal de forma automatizada. Es por ello que se tienen que establecer dos variables dentro de un ensayo de tracción la máquina:

8.2.1. Desplazamiento del cabezal superior: conociendo esta variable mediante la cual se puede conocer la distancia de desplazamiento que ha existido entre los dos cabezales y con ello la deformación que ha sufrido el material de prueba durante el ensayo ya sean varillas, bigas o cilindros aplica para los tres tipos de pruebas.

8.2.1.1. Sensor Resistivo De Desplazamiento: Los sensores de desplazamiento miden la magnitud que se desplaza un objeto, estos determinan la posición de dicho objeto con respecto a un punto de referencia. Los sensores de proximidad son una modalidad de sensor de posición y determinan en que momento un objeto se mueve dentro de una distancia critica del sensor.

El desplazamiento de este eje se monitorea mediante un sensor, su movimiento se aprovecha para provocar cambios de voltaje eléctrico, capacitancia, resistencia o inductancia mutua. En el caso de los desplazamientos angulares, en los que se utiliza una conexión mecánica mediante la rotación de un eje, la rotación del elemento transductor se activa directamente mediante engranajes.

En los sensores que no hay contacto se recurre al objeto medido en la proximidades de dichos sensores, lo que provoca cambios en la presión de aire del sensor o si no cambios en la capacitancia inductancia. Estos sensores potenciómétricos incorporan un cursor

arrastrado por un vástago sobre una pista resistiva, que provoca una variación de resistencia en los terminales de salida al deslizar el vástago desde su posición inicial hasta el tope o viceversa.

Los potenciómetros lineales de la serie PL los se encuentran en diferentes rangos desde los 50mm hasta los 1000mm, También según las series, se dispone de modelos tipo palpado o doble rótula, así como accesorios de acoplamiento flexible, punta palpadora o rótula. Los valores resistivos son diferentes, aunque los valores estandarizados son de 5k y 10k, así como los grados de protección son diversos, pudiendo llegar a IP65, en diferentes modelos.

Características principales:

- a)** Alta precisión
- b)** Máxima resolución
- c)** Excelente repetibilidad
- d)** Larga vida
- e)** Bajo coste.
- f)** Linealidad: Según rangos, desde 0.1%
- g)** Grado de protección: IP50

El transductor de desplazamiento es una parte integral del actuador. Es un transductor diferencial con variación lineal que provee una señal de retroalimentación de corriente alterna, la cual es proporcional a la posición del pistón del actuador y tiene una linealidad de 50% de su intervalo de operación. (Ver figura 25).



Figura 25 transductor de desplazamiento
Fuente: ficha técnica

El sensor que más se adapta a este proyecto es un sensor de posición, debido a que por ser de resolución infinita va a permitir llegar a trabajar con centésimas de milímetro que es suficiente para las gráficas Fuerza-Deformación y su rango de desplazamiento es superior al alargamiento máximo que sufre una probeta que es de 15 cm., determinado en ensayos. Para esto se utilizará un transductores lineales de posición serie PL son potenciómetros para aplicaciones industriales. Su precisión y su linealidad, juntas con su estructura compacta y robusta, hacen que estén particularmente adaptados para su uso en máquinas de termoplástico, madera, mármol, laminación y todas aplicaciones de medidas de posición. Su montaje es muy fácil y presentan una sencilla intercambiabilidad con modelos de otros fabricantes

8.2.2. Presión en las tuberías de cobre: esta variable ayuda a supervisar y controlar la presión que circula por cada una de sus tuberías al momento de realizar un ensayo, además de esto puede detectar posibles fugas y así la pérdida de la presión y el aceite de la bomba.

8.2.2.1. VEGABAR 17 es un convertidor de medición de presión para la medición de sobrepresión, presión absoluta o vacía. Medios de medición son gases, vapores y líquidos. Las versiones rasantes también son adecuadas para el empleo en medios viscosos o contaminados.



Figura 26 Sensor De Presión Vega Bar 17
Fuente. Ficha técnica

8.2.2.2. Principio De Medición

El corazón del transmisor de presión es la celda de medida, que transforma la presión aplicada en una señal eléctrica valorable. Esa señal en función de la presión es analizada por la electrónica integrada y convertida en una señal de salida normalizada. Para la detección de la presión se emplean diferentes sensores. Las celdas cerámicas brindan la ventaja de la excelente estabilidad a largo plazo y elevada resistencia a la sobrecarga. Las celdas metálicas cubren también gamas altas de medición, empleando acero inoxidable como material de la membrana.

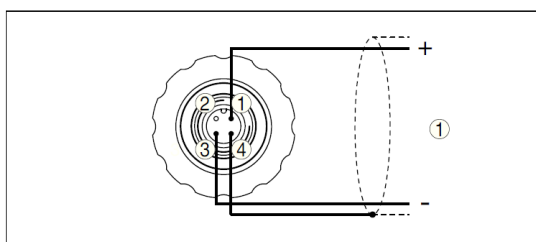


Figura 27 Esquema De Conexión Clavija Cilíndrica Coaxial M12 X 1
Fuente: ficha técnica

8.2.2.3. Alimentación de tensión y salida de señal

Conexión a través de cable con zócalo de 4 polos M12 x 1
(Accesorios)

Color de los conductores	Zócalo
Pardo	1
Blanco	2
azul	3
negro	4

Tabla 8: Números Y Colores De Los Cables Del Sensor De Presion
Fuente: Ficha Técnica

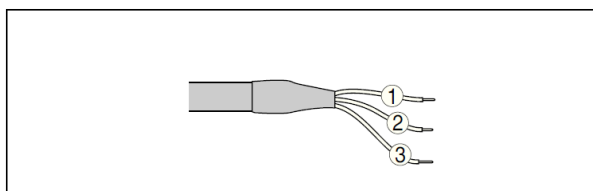


Figura 28 Esquema De Conexión Salida De Cable
Fuente: Ficha Técnica

1. pardo (+) alimentación de tensión y salida de señal
2. verde (-) alimentación de tensión y salida de señal
3. Azul = Blindaje del cable

8.2.3. Fuerza de tracción o compresión: mediante este parámetro se determinar la fuerza a la que está sometida la probeta o el tipo de material en prueba durante el ensayo. Esta fuerza se haya con el fin de obtener valores importantes para el desarrollo de los cálculos y obtener conclusiones de dichas pruebas.

8.2.3.1. Celda de carga Modelo 460



Figura 29 Celda de carga
Fuente: Ficha Técnica

8.2.3.2. Características

- a) Célula de carga de doble cizalladora
- b) 3000divisiones O.I.M.L. R60 Clase C
- c) Soporte elástico de acero inoxidable
- d) Sellado hermético, completamente soldada
- e) Protección IP 68 (EN 60529)
- f) Disponible en versión ATEX (opcional). Zona 0-1-2 (gas) y 20-21-22 (polvo).
- g) Fácil montaje
- h) Aplicaciones: Sistemas de pesaje de tanques y silos con requerimientos de alta linealidad y bajo perfil

La celda de carga posee además 2 hilos adicionales, para mantener constante la alimentación en la célula, con una instrumentación adecuada. Utilizar especialmente para cables largos y amplio margen de temperatura.

8.2.3.3. Especificaciones

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Sensibilidad Nominal (Sn)	2	mV / V
Tensión de Alimentación Nominal	10	V
Tensión de Alimentación Máxima	15	V
Resistencia de Entrada	400 ± 20 800 ± 40	Ω Ω
Resistencia de Salida	300 ± 3 700 ± 3	Ω Ω
Desequilibrio Inicial	< ± 2	% Sn
Resistencia de Aislamiento	> 5000	M Ω
Error Combinado	< ± 0.017	% Sn (1)
Error de Respetabilidad	< ± 0.015	% Sn
Error de Fluencia (30 minutos)	< ± 0.016	% Sn
Efecto de la Temperatura:		
- En el Cero	< ± 0.02	% Sn / 5° K
- En la Sensibilidad	< ± 0.006	% Sn / 5° K
Compensación de la Temperatura	- 10 ... + 40	°C

Límites de la Temperatura	- 20 ... + 50	°C
Carga de Servicio (sin perder sus características)	150	% Ln
Máxima Sobrecarga sin Rotura	200	% Ln

Tabla 09 Características Celda De Carga
Fuente: Ficha Técnica

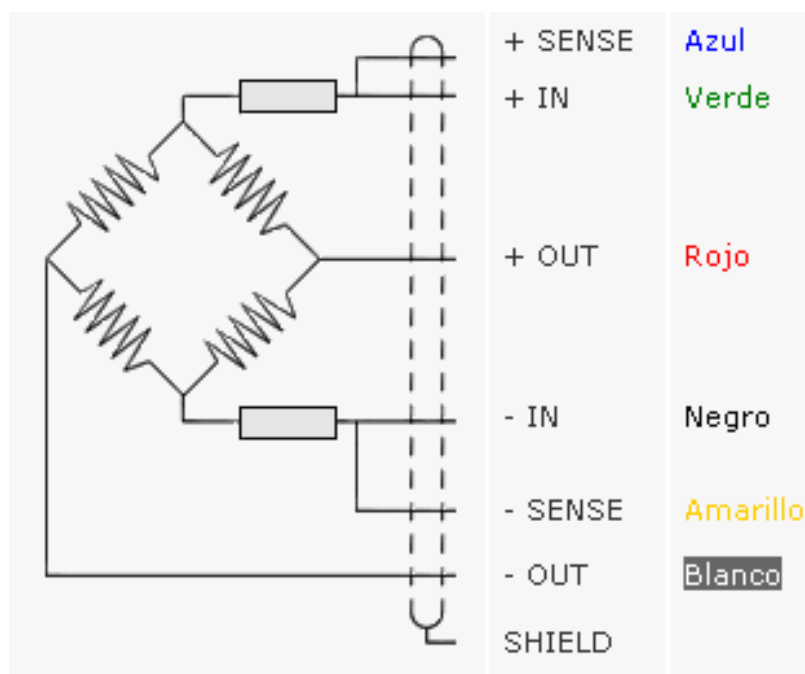


Figura 30 Conexión Celda Modelo 460
Tomado de: <http://www.utilcell.es/>

9. Acondicionamiento mecánico de los sensores:

- 9.1. Celda de carga:** Para ubicar la celda de carga se debe adecuar la maquina universal realizando unos cambios en su estructura, debido a que la posición ideal para la celda de carga es entre el pistón y el cabezal superior puesto que en este punto se concentra la fuerza que ejerce la máquina para realizar la correspondiente prueba, de esta manera se requiere realizar varios cambios en la estructura de la maquina puesto que la celda de carga posee un tamaño mayor que el espacio que se podía dedicar para esta, por lo tanto en la solución que se planteó se debe cambiar las barras de acero que soportan el cabezal superior y la mandíbula superior(ver figura 30,).



Figura 31 Ubicación celda de carga y barras de acero.
Tomado de: AUTOR

Para realizar estos cambios la universidad santo tomas Tunja se a encargado de la parte económica, por lo cual fue necesario comprar 3 metros de acero macizo 4148 de diámetro $2\frac{3}{4}$, dividido en dos tramos de 1.5 metros pero las barras originales de la maquina tienen un diámetro de $2\frac{9}{16}$ por lo tanto fue necesario hacerles un maquinado a las barras para dejarlas del diámetro correcto, de la misma manera se realizó el roscado en los cuatro extremos de las barras para introducir las tuercas que trae la maquina universal y no se realice algún cambio adicional(ver figura 28).



Figura 32 Barras de acero macizo nuevas con maquinado y roscado.
Tomado de: AUTOR

10. ACONDICIONAMIENTO DE LAS SEÑALES

Durante el acondicionamiento y el siguiente paso del proceso de la señal pueden haber ciertos tipos de problemas como acoples de impedancias o un alto nivel de ruido ya sea por medio de la red o picos de voltaje generados por algún motor cercano, teniendo en cuenta que estos factores que afectan la siguiente etapa del proceso y por consiguiente los valores entregados no son los verdaderos, se necesita acondicionar muy bien las señales de los sensores para que su envío al sistema de procesamiento de los datos sea el adecuado.

Este procesamiento es conocido como acondicionamiento de señal, incluye funciones como amplificación, filtrado, aislamiento eléctrico, multiplexado además de protecciones contra sobre corrientes y caídas de tensión. A todas estas modificaciones se les llama acondicionamiento de señal. Ejemplo: la salida de un termopar es un pequeño voltaje de unos cuantos milivoltios, por lo tanto es necesario utilizar un módulo acondicionador de señal para modificar dicha salida y convertirla en una señal de corriente adecuada y contar con un medio para rechazar ruido.

La señal de salida de un sensor no puede ser efectiva para su procesado, porque se requiere de una amplificación para adaptar sus niveles a los del resto del circuito, es decir llevarlos como en este caso a que varíen entre los 0 y 5v. No solo hay que adaptar niveles, también que la salida del sensor no sea lineal o incluso que esta depende las condiciones de funcionamiento (temperatura ambiente, tensión de alimentación o sensor de proximidad), por lo que hay que linealizar el sensor y comenzar sus variaciones, la compensación las puede realizar ya sea desde hardware o software.

Para esto fue necesario realizar unos cálculos para obtener la ganancia adecuada, con el fin que las señales provenientes de los sensores puedan ser ingresadas al microcontrolador para su posterior proceso.

$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1}$$

Ecuación 4

10.1. Acondicionamiento de señal de la celda de carga:

Teniendo en cuenta que la celda de carga entrega una señal de voltaje muy baja se hizo necesario construir un sistema basado en amplificadores operacionales, para darle mayor ganancia y que al ingresarla al sistema de procesamiento entregue un valor verdadero.

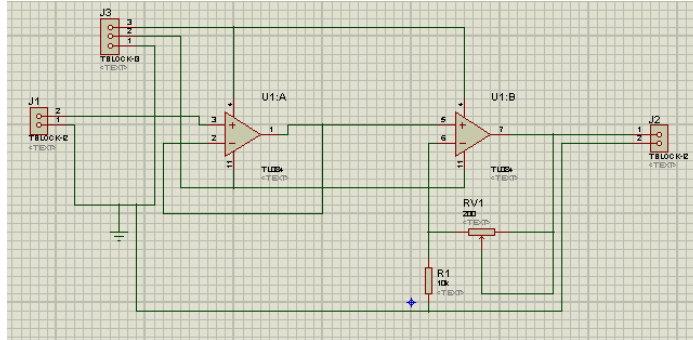


Figura 33 Simulacion acondicionador de señal
Tomado de: AUTOR

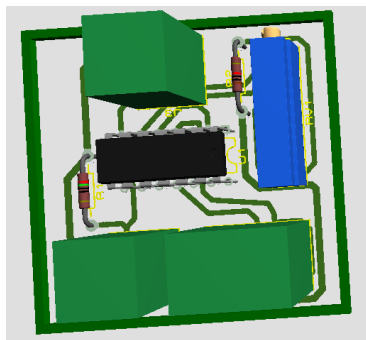


Figura 34 Simulacion 3D acondicionador de señal
Tomado de: AUTOR



Figura 35 Baquela acondicionador de señal
Tomado de: AUTOR

Para comprobar el funcionamiento del circuito se utilizó un generador de señal y un osciloscopio, el generador de señal se conecta directamente a la entrada del circuito, este se alimenta a 5voltios y se observa con el osciloscopio a la salida. (Ver figura 32)

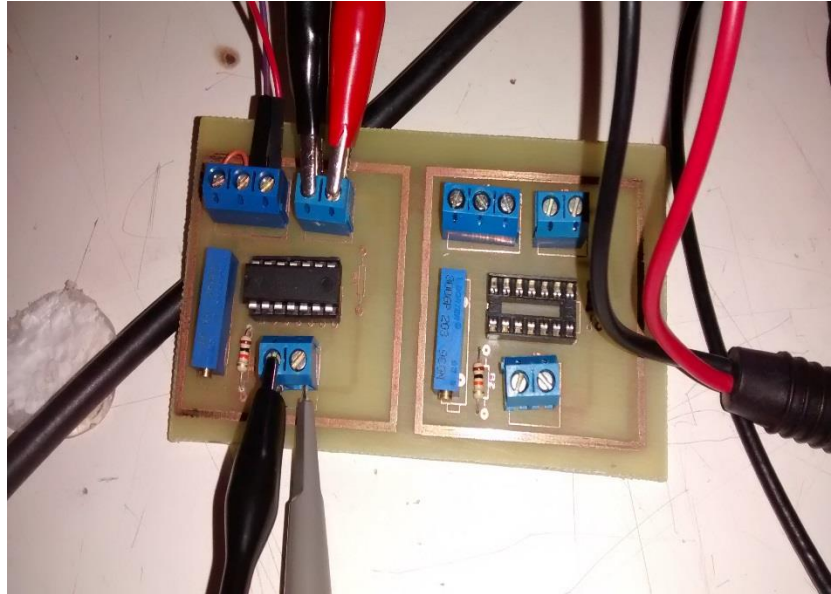


Figura 36 Prueba de acondicionador de señal
Tomado de: AUTOR

La seña de entrada puede ser de cualquier frecuencia para la prueba se configuro el generador de señales a una frecuencia de 1 kHz y se puso una amplitud de 100mv calculando que no se fuera a saturar el amplificador y dañara la señal de salida (ver figura 33)

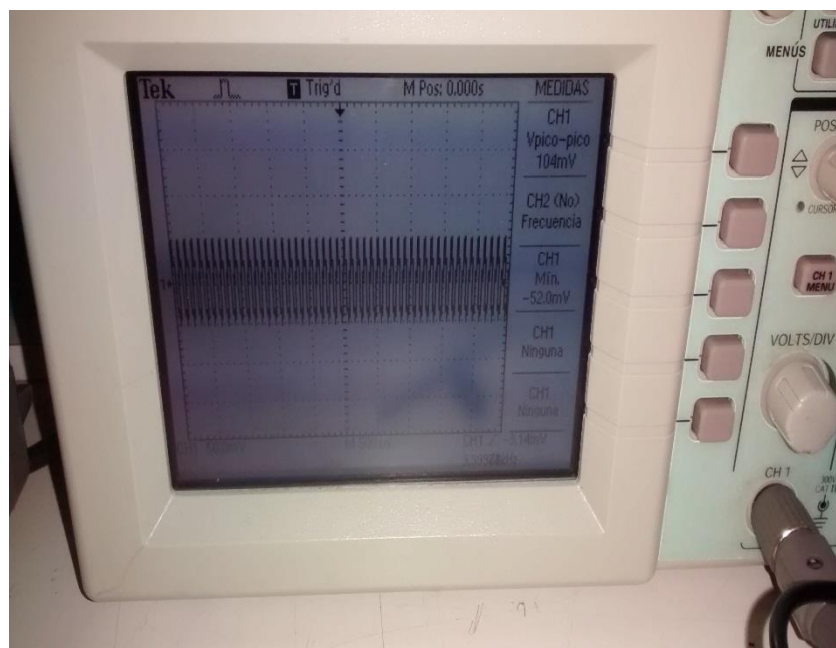


Figura 37 Señal de entrada circuito acondicionador de señal
Tomado de: AUTOR

La señal de salida que se obtuvo se amplificó al doble dando así como conclusión que el acondicionador está en óptimas condiciones para el funcionamiento de la celda de carga. (Ver figura 33)

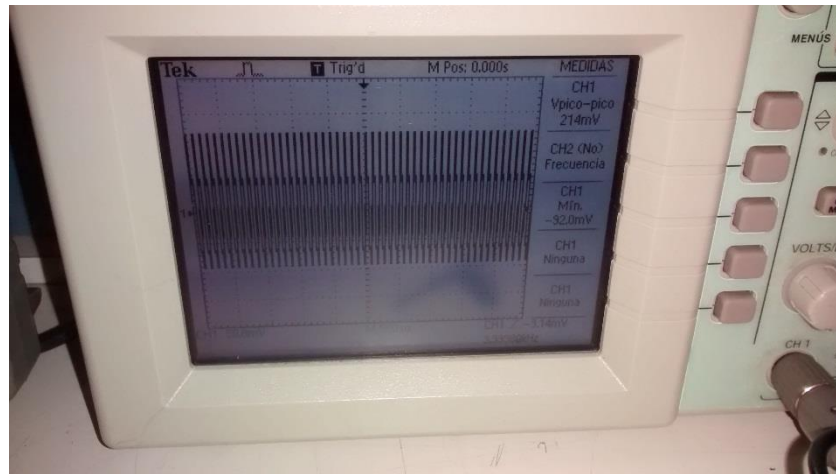


Figura 38 Señal de salida circuito acondicionador de señal
Tomado de: AUTOR

10.2. Acondicionamiento de señal sensor de presión:

El circuito de acondicionamiento de la señal del sensor de presión básicamente es el mismo circuito de la celda de carga con ciertas adiciones como una resistencia de 220 ohmios para convertir los datos de corriente que nos envía el sensor a voltaje, teniendo estos datos se calcula la ganancia correspondiente y de esta manera se tiene el circuito completo.

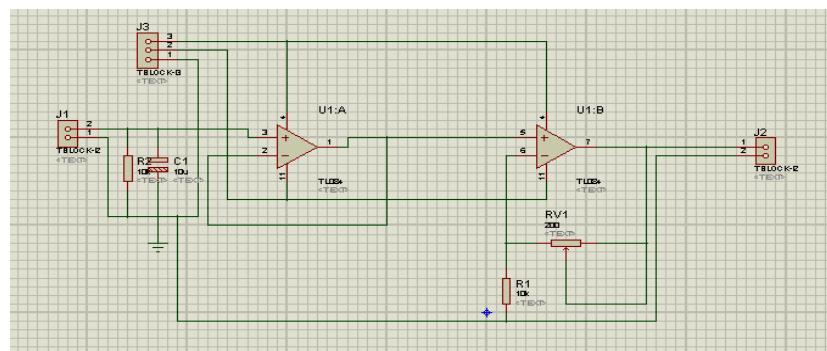


Figura 39 circuito acondicionador de señal sensor de presión
Tomado de: AUTOR

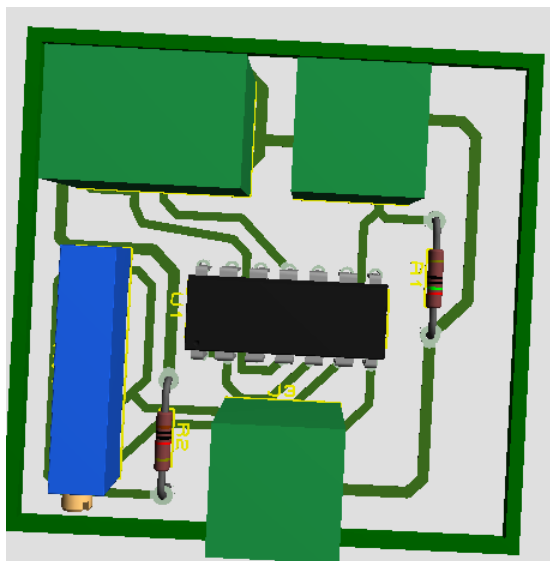


Figura 40 Simulacion 3D acondicionador de señal sensor de presion
Tomado de: AUTOR

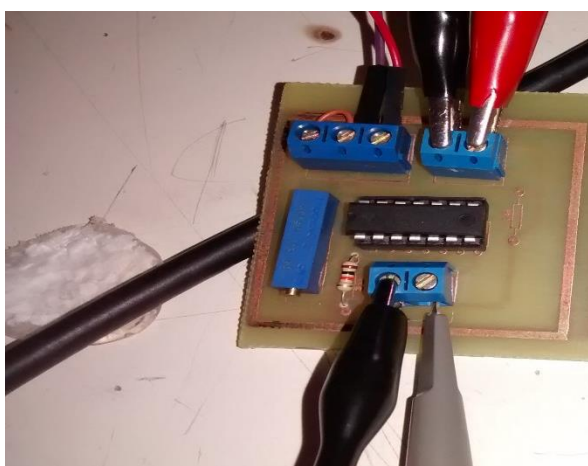


Figura 41 Prueba de acondicionador de señal sensor de presion
Tomado de: AUTOR

El sensor de desplazamiento básicamente es un potenciómetro el cual varia el voltaje dependiendo su desplazamiento, por ello este varia de 0 a 5 voltios por lo tanto lo único que se debe adicionar es una resistencia para evitar que cuando el sensor este en la posición 0 no se presente algún corto.

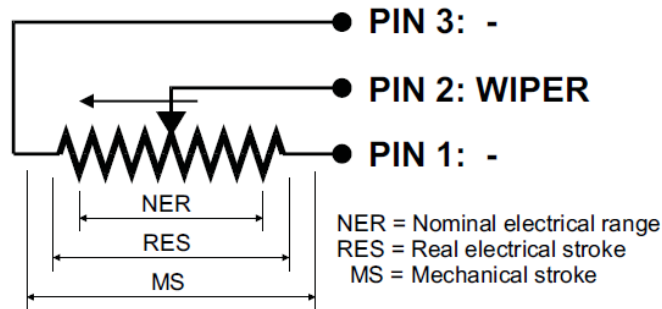


Figura 42 conexión eléctrica sensor de desplazamiento
Tomado de: Hoja técnica.

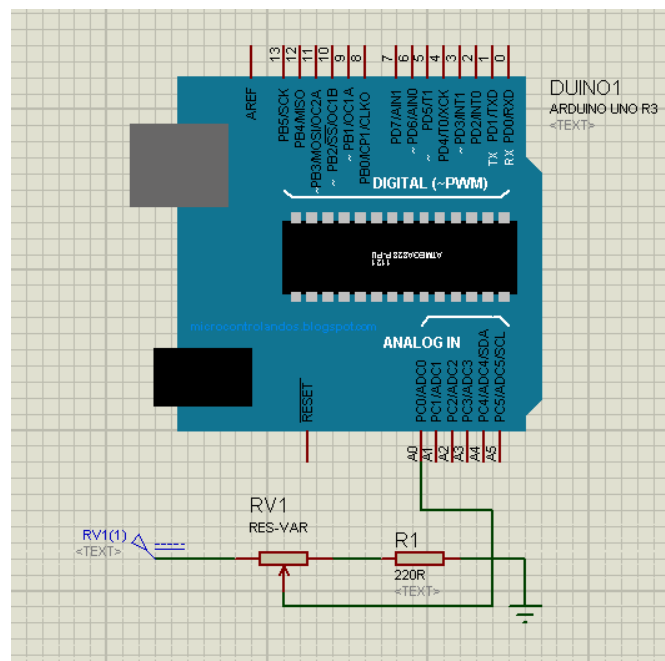


Figura 43 conexión electrica sensor de desplazamiento con arduino
Tomado de: AUTOR

11. Diseño e implementación Consola electrónica y de control.

En el estudio realizado a la maquina universal marca Icon se determinó que era necesario implementar una consola electrónica desde la cual se pudiera controlar la maquina desde allí, de la misma forma que contara con todos los elementos eléctricos y electrónicos nuevos para así organizar la máquina, dar una nueva imagen y prestar facilidad para realizar mantenimiento ya sea preventivo como correctivo.

Para ello se adquirió una caja de paso de 32cm*32 cm luego se acondiciono para ubicar los botones de control e indicación.

La lógica cableada que se diseñó para controlar la maquina universal tuvo en cuenta varias condiciones, para iniciar de requiere tener dos lámparas una roja y una verde para indicar que el “gato” esta encendido o apagado para ello se utilizó el módulo relay doble. (ver figura 38,39)



Figura 44 Modulo relay doble
Tomado de: AUTOR

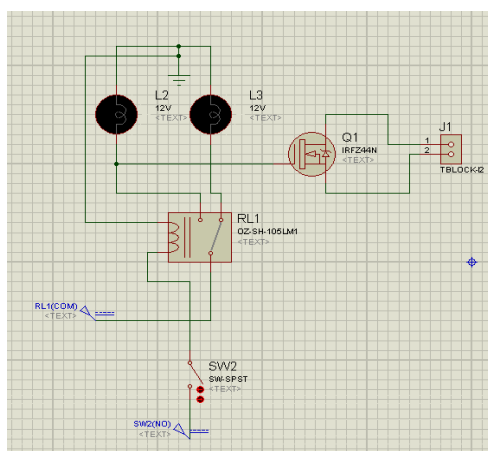


Figura 45 circuito encendido lamparas y motor “gato”
Tomado de: AUTOR

En la figura 39 se observa el circuito para controlar la activación del arrancador y el control de encendido de los indicadores, ahora se debe tener en cuenta que se va a controlar desde dos punto ya sea desde el pc o desde los interruptores instalados en la consola, para ello se realizó una lógica aprovechando el otro relay en el módulo dándole prioridad a las órdenes del pc.

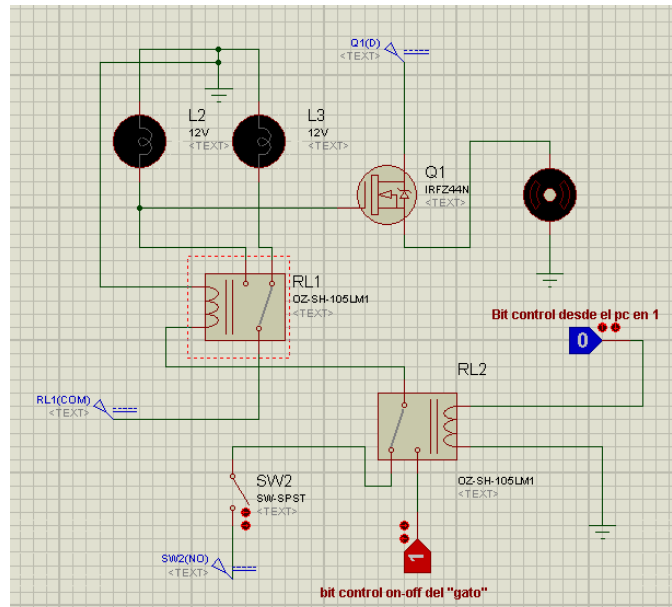


Figura 46 circuito encendido lamparas y motor “gato” con prioridad del pc
Tomado de: AUTOR

De la misma manera para el control de giro del motor que reemplazara la manivela se realizara lo mismo pues para esto si es importante darle prioridad al pc puesto que el pc activa el motor hacia un lado y manualmente se activa el interruptor hacia el otro se generara un corto.

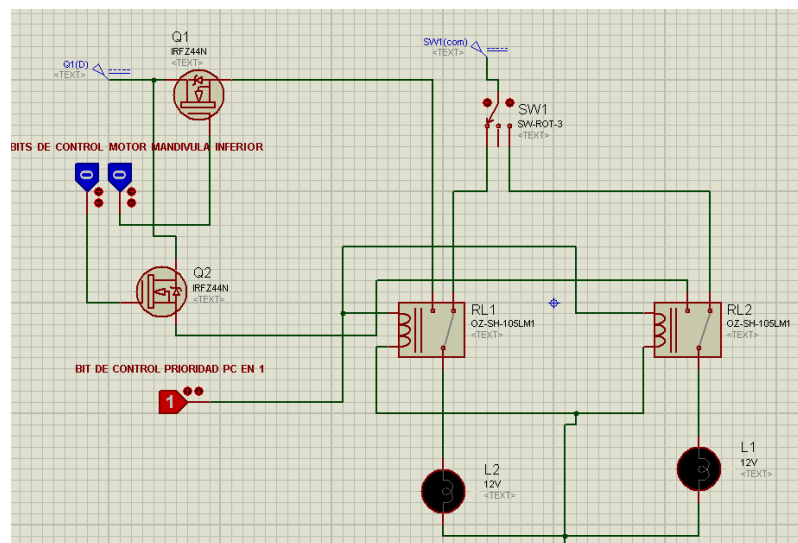


Figura 47 circuito encendido lamparas y motoreductor con prioridad del pc
Tomado de: AUTOR

Después de haber realizado el correspondiente diseño se dispone a hacer el montaje en la consola para ello se inicia a abrir los correspondientes huecos para insertar los botones e indicadores (ver figura 42).



Figura 48 Nueva consola electrónica
Tomado de: AUTOR

Luego se procede a colocar los botones e indicadores en el lugar correspondiente, para ello el botón se divide y entra el cabezal por la parte frontal, luego tiene una rosca que lo presiona contra la caja y lo deja fijo y posteriormente se ubica el interruptor para que se active mecánicamente de la misma manera el bombillo. (Ver figura 49,50,51).



Figura 49: Nueva consola electrónica
Tomado de: AUTOR



Figura 50 Nueva consola electrónica
Tomado de: AUTOR



Figura 51 Nueva consola electrónica
Tomado de: AUTOR

12. Montaje de motoreductor en la mandíbula inferior

Un objetivo propuesto es controlar el movimiento de la mandíbula inferior para ello se requiere cambiar la manivela que genera el movimiento, para ello se debe diseñar un soporte y acople (ver figura 52).



Figura 52 Mandíbula inferior con manivela.
Tomado de: AUTOR



Figura 53 con manivela de la mandíbula inferior
Tomado de: AUTOR

Luego de observar el mecanismo de para subir y bajar la manivela se concluyó que se debe diseñar un soporte y un acople tipo manzana para el motor y el eje. (Ver figura 54)



Figura 54 Eje manivela mandíbula superior
Tomado de: AUTO



Figura 55 Soporte moto reductor
Tomado de: AUTOR

Características del motoreductor:

- a) Motor reductor de 12 voltios a 60 rpm
- b) Este motor es de alto torque te soporta hasta 100 kg de peso.
- c) Medidas: 28 cm de largo, 7 cm diámetro motor, 12 cm ancho en el reductor, 2 cm diámetro eje, 12.5 cm largo eje.(ver figura 56)



Figura 56 moto reductor
Tomado de: AUTOR



Figura 57 moto reductor instalado
Tomado de: AUTOR

13. CIRCUITO DE POTENCIA PARA EL CONTROL DEL MOTOREDUCTOR (PUENTE H)

El motoreductor que se adquirió para realizar el ascenso y el descenso de la mandíbula inferior tiene como característica una alimentación a 12 voltios dc y 7 amperios aproximadamente, para ello se adquirió un driver motor dc suministrado por la empresa Didácticas electrónica ubicada en la ciudad de Medellín, este driver cuenta con las siguientes características:

Este controlador de motor para corriente continua se puede utilizar en plataformas móviles 4WD robot, robots de combate, la competencia de coche inteligente, para conducir las bombas, ventiladores eléctricos, transportadores, etc. Este módulo utiliza 4 chips BTS7960 de alto rendimiento y de alta corriente, cuenta con la función de corta corriente, sobre temperatura, y protección contra sobretensiones. Puede controlar 2 motores con sólo 4 entradas digitales al mismo tiempo. Corriente de salida máxima 15A, 13.8V por canal, buena capacidad de respuesta y el rendimiento de frenado.

Especificaciones:

- Voltaje de entrada: 4.8-35V
- Corriente de salida máxima: 15A, 13.8V por canal
- Capacidad de PWM: hasta 25 kHz
- Interfaces: 4 digitales IO (salida PWM incluye 2)
- El modo de conducir: de alta potencia de doble controlador de puente H
- Otras especificaciones:
- Aislamiento galvánico para proteger el micro controlador
- Funciones de diagnóstico de detección de corriente dual
- Corto circuito, sobrecalentamiento, protección de la sobretensión
- Tamaño: 73x68x14mm
- Para aplicaciones de más de 15A por canal

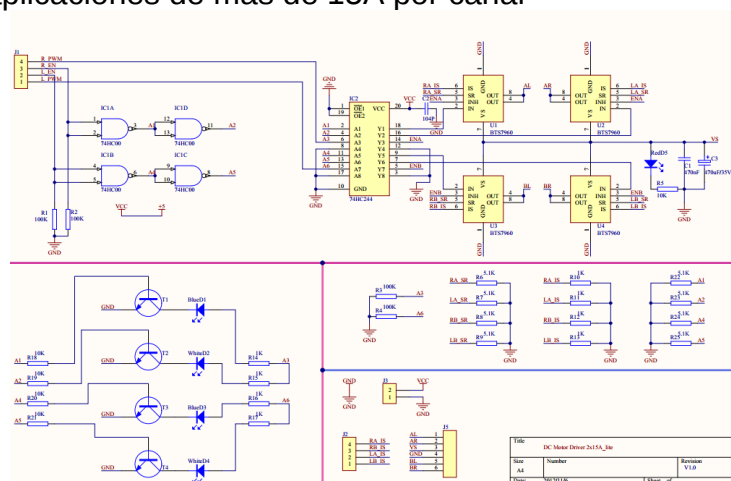


Figura 58 Diagrama Esquemático driver

Tomado de:

http://www.dfrobot.com/image/data/DRI0018/DC%20Motor%20Driver%202x15A_lite%20SCH.p

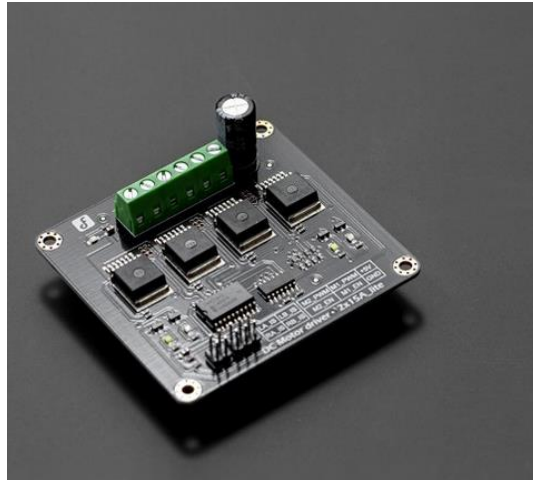


Figura 59 Driver.

Tomado de:

http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&filter_name=DRI0018&product_id=796#.UNtZM6x16Sp%20



Figura 60 Disipador de calor driver parte posterior.

Tomado de:

http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&filter_name=DRI0018&product_id=796#.UNtZM6x16Sp%20

14. PROTECCION ELECTRICA

La proteger eléctricamente los equipos nuevos, y los que tenía la maquina universal se utilizó breakers marca SASSIN de 3*16 amperios y uno 1*16 para el neutro, el cálculo del breaker se realizo sumando el consumo nominal de todos los equipos a conectar:

Consumo fuente dc= 6 amperios

Consumo motor trifásico=7 amperios

Para un total de 13 amperios y se dio un rango de 3 amperios para que no se desactiven los breakers por si el consumo se extralimite.

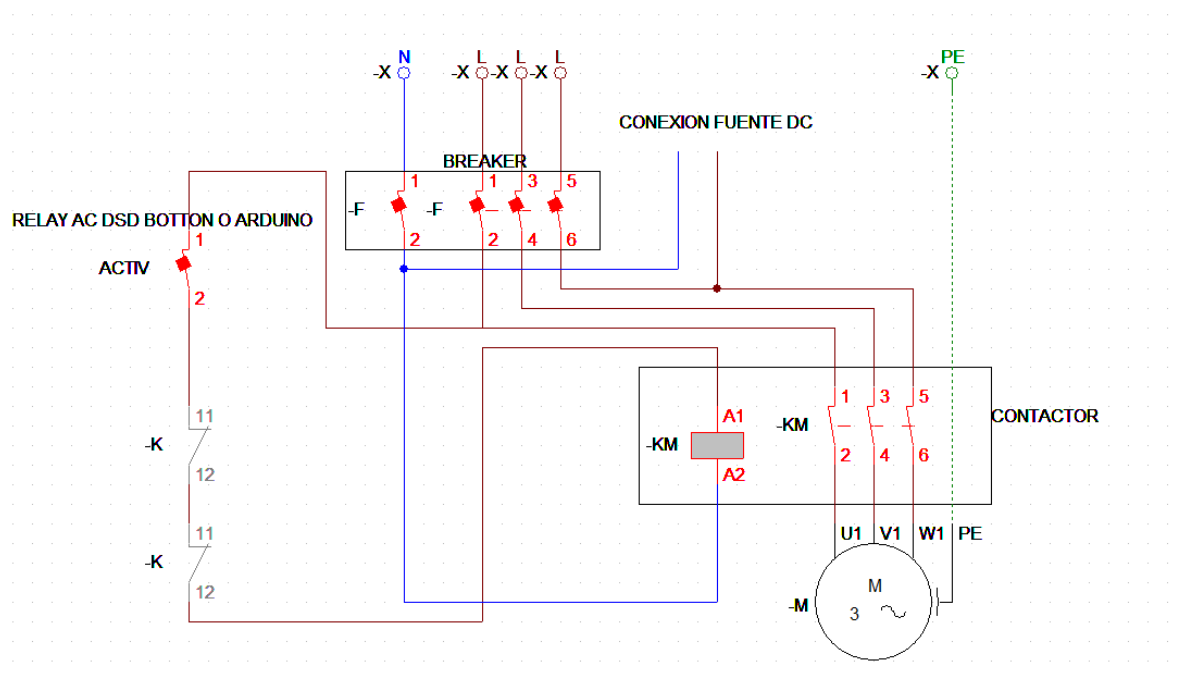


Figura 61 Diagrama Esquemático conexión eléctrica
Tomado de: AUTOR

15. FUENTE DE ALIMENTACION DC

La fuente de alimentación dc seleccionada para alimentar los circuitos de acondicionamiento de señal, sensores, motoreductor, indicadores es una fuente de computador atx la cual tiene como características una salida máxima de 250 watts, la fuente elegida es marca Solar Power modelo E—250T

AC INPUT: 110-120/220-240 Vac 60/50 Hz				
DC OUTPUTS: 250W				
MODELO	+.5V	+.12V	-.5V	-.12V
E-250T	25A	10A	5A	0,5A
Total Regulación	./- 4%	./-5%	./-7%	./-10%

Tabla 10 Características fuente Dc
Fuente: Ficha Técnica

La protección para la fuente de alimentación se acondiciono un fusible el cual se calculó para que diera capacidad de alimentación de corriente a todos los equipos para ello se elaboró una tabla la cual incluyo todos los equipos a alimentas en Dc.

Equipo	Voltaje	Corriente(amperios)	Resistencia(ohmios)
Motoreductor	12	7	1,714285714
Sensor de desplazamiento	5	0,022727273	220
indicador 1	12	0,02	600
indicador 2	12	0,02	600
indicador 3	12	0,02	600
indicador 4	12	0,02	600
indicador 5	12	0,02	600
Total		7,122727273	

Tabla 11 Carga fuente Dc
Fuente: Ficha Técnica

Con estos datos se calculó el fusible a implementar para ello teniendo el consumo total de todos los elementos se calcula el 5% y se adiciona al total.

$$Fusible = (7,2 * 5\%) + 7,2A$$

$$Fusible = 0,36 + 7,2 A$$

$$Fusible = 7.6A$$

Debido a que el fusible de 7.6 A no es comercial se adquirió uno de 10^a para completar asi la protección de la fuente Dc.

16. ADQUISICIÓN DE DATOS

ARDUINO

Luego de haber acondicionado las señales para obtener una variación de cero a cinco voltios DC que son los rangos que leen las entradas análogas de la plataforma de Arduino la cual va a utilizar para el desarrollo de este proyecto y con la que realizará la adquisición de datos.

Arduino es una plataforma libre (open-Source) basada en una tarjeta I/O programada en un ambiente similar al de C++, este puede ser utilizado para desarrollar objetos autónomos e interactivos, dada su rápido aprendizaje y bajo costo es una herramienta ideal para el desarrollo de cualquier tipo de proyectos en estudiantes, docentes, diseñadores y cualquier interesado en electrónica y robótica, el software para su aplicación y programación es totalmente gratis y puede ser descargado para Mac, Windows y Linux.

Arduino Uno es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteo. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, basta conectarla a un ordenador con un cable USB o a la corriente eléctrica a través de un transformador.

Con esta placa, Arduino conmemoraba el lanzamiento de Arduino 1.0., convirtiéndose en la versión de referencia de Arduino.

Características técnicas de Arduino Uno r3

- a) Microcontrolador: ATmega328
- b) Voltaje: 5V
- c) Voltaje entrada (recomendado): 7-12V
- d) Voltaje entrada (limites): 6-20V
- e) Digital I/O Pins: 14 (de los cuales 6 son salida PWM)
- f) Entradas Analógicas: 6
- g) DC Current per I/O Pin: 40 mA
- h) DC Current parar 3.3V Pin: 50 mA
- i) Flash Memory: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados para el arranque
- j) SRAM: 2 KB (ATmega328)
- k) EEPROM: 1 KB (ATmega328)

l) Clock Speed: 16 MHz

Funciones Básicas Y Operadores

Arduino está basado en C y soporta todas las funciones del estándar C y algunas de C++. A continuación se muestra un resumen con toda la estructura del lenguaje Arduino:

Sintaxis Básica

Delimitadores: `;`, `{}`

Comentarios: `//`, `/* */`

Cabeceras: `#define`, `#include`

Operadores aritméticos: `+`, `-`, `*`, `/`, `%`

Asignación: `=`

Operadores de comparación: `==`, `!=`, `<`, `>`, `<=`, `>=`

Operadores Booleanos: `&&`, `||`, `!`

Operadores de acceso a punteros: `*`, `&`

Operadores de bits: `&`, `|`, `^`, `~`, `<<`, `>>`

Operadores compuestos:

Incremento/decremento de variables: `++`, `--`

Asignación y operación: `+=`, `-=`, `*=`, `/=`, `&=`, `|=`

Estructuras de control

Condicionales: `if`, `if...else`, `switch case`

Bucles: `for`, `while`, `do... while`

Bifurcaciones y saltos: `break`, `continue`, `return`, `goto`

Variables: En cuanto al tratamiento de las variables también comparte un gran parecido con el lenguaje C.

Constantes: HIGH / LOW: niveles alto y bajo en pines. Los niveles altos son aquellos de 3 voltios o más.

INPUT / OUTPUT: entrada o salida.

Tipos de datos: `void`, `Boolean`, `char`, `unsigned char`, `byte`, `int`, `unsigned int`, `word`, `long`, `unsigned long`, `float`, `double`, `string`, `array`.

Funciones Básicas:

En cuanto a las funciones básicas del lenguaje encontramos con las siguientes: E/S Digital, E/S Analógica, E/S Avanzada, Tiempo, Matemáticas, Trigonometría, Números aleatorios, Interrupciones.

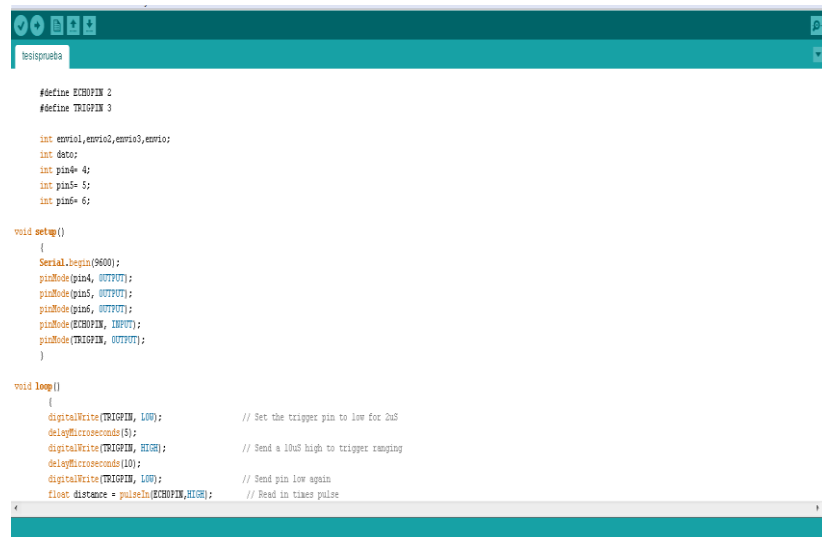
Comunicación Por Puerto Serie

Las funciones de manejo del puerto serie deben ir precedidas de "Serial." aunque no necesitan ninguna declaración en la cabecera del programa. Por esto se consideran funciones base del lenguaje.

begin(), available(), read(), flush(), print(), println(), write()

El objetivo de la tarjeta de adquisición arduino es tomar los datos de todos los sensores ya sea sensor de desplazamiento, celda de carga, y sensor de presión, también él debe recibir los datos enviados desde el pc y hacer ciertas comparaciones para activar los motores etc.

En la primera parte del programa se encuentra la configuración del sensor de distancia ultrasonido, también la configuración de los pines y la velocidad de transmisión hacia el computador.



```
#define ECHO_PIN 2
#define TRIG_PIN 3

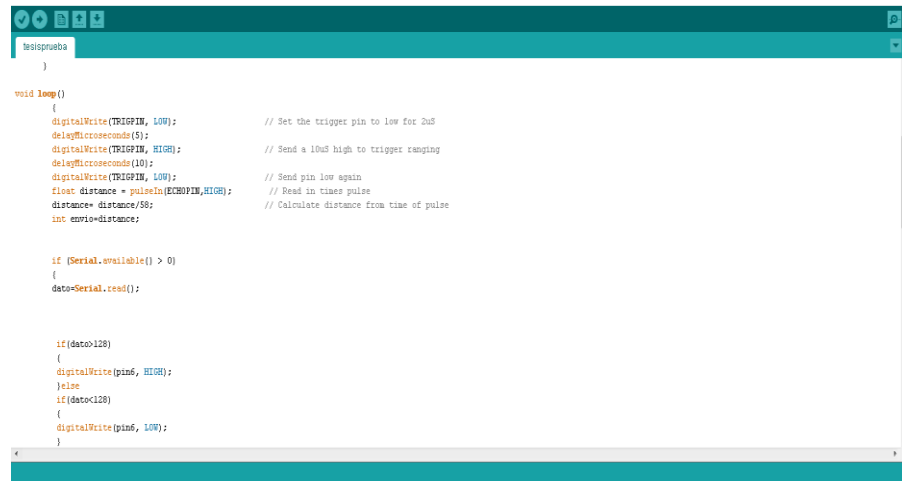
int echoPin, trigPin, duration;
int data;
int pinA= 4;
int pinB= 5;
int pinC= 6;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pinA, OUTPUT);
  pinMode(pinB, OUTPUT);
  pinMode(pinC, OUTPUT);
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
  pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
}

void loop()
{
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);          // Set the trigger pin to low for 2µs
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);         // Send a 10µs high to trigger ranging
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);          // Send pin low again
  float distance = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH); // Read in times pulse
```

Figura 62 Programa en plataforma arduino
Tomado de: AUTOR

A continuación está el programa principal el cual primero recibe los datos del sensor ultrasonido, continua recibiendo los datos del computador y realiza las correspondientes comparaciones y dependiendo el dato recibido se activa o desactiva los pines.



```

testisprueba
)

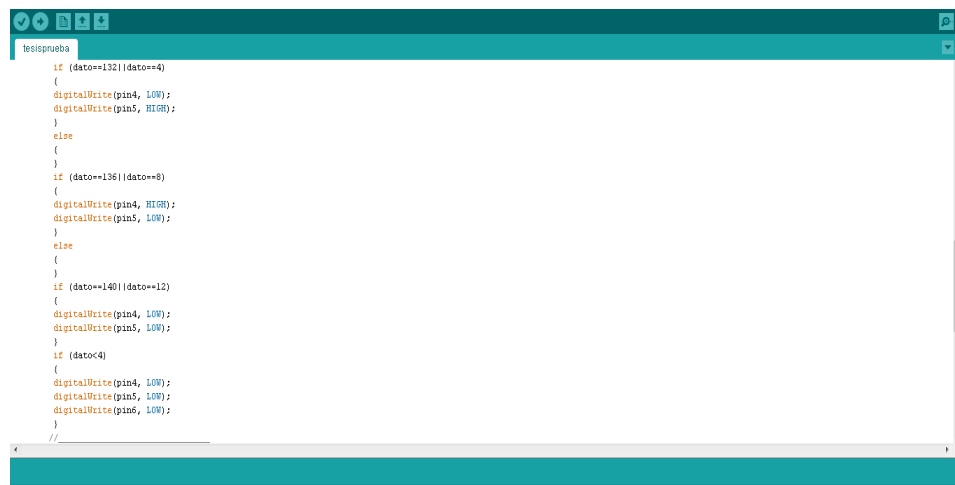
void loop()
{
  digitalWrite(TRIGPIN, LOW);           // Set the trigger pin to low for 2uS
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(TRIGPIN, HIGH);          // Send a 10uS high to trigger ranging
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIGPIN, LOW);           // Send pin low again
  float distance = pulseIn(ECHOPIN, HIGH); // Read in times pulse
  distance= distance/58;                 // Calculate distance from time of pulse
  inc envio=distance;

  if (Serial.available() > 0)
  {
    dato=Serial.read();

    if(dato>128)
    {
      digitalWrite(pin6, HIGH);
    }else
    if(dato<128)
    {
      digitalWrite(pin6, LOW);
    }
  }
}

```

Figura 63 Programa en plataforma arduino
Tomado de: AUTOR



```

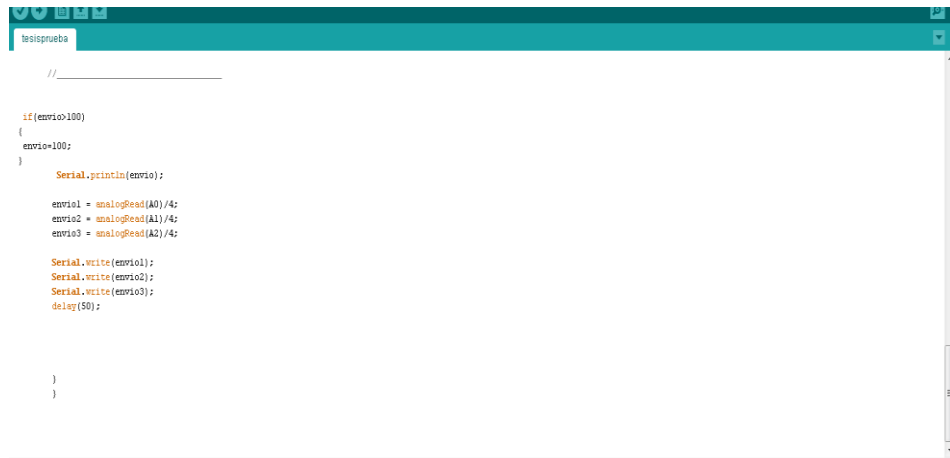
testisprueba

if (dato==132 || dato==4)
{
  digitalWrite(pin4, LOW);
  digitalWrite(pin5, HIGH);
}
else
{
}
if (dato==136 || dato==8)
{
  digitalWrite(pin4, HIGH);
  digitalWrite(pin5, LOW);
}
else
{
}
if (dato==140 || dato==12)
{
  digitalWrite(pin4, LOW);
  digitalWrite(pin5, LOW);
}
if (dato<4)
{
  digitalWrite(pin4, LOW);
  digitalWrite(pin5, LOW);
  digitalWrite(pin6, LOW);
}
//

```

Figura 64 Programa en plataforma arduino
Tomado de: AUTOR

Para terminar el programa se envía los datos recibidos de los sensores para que el computador se pueda graficar y generar un archivo en Excel.



```
//  
  
if(envio>100)  
{  
  envio=100;  
}  
  Serial.println(envio);  
  
  envio1 = analogRead(A0)/4;  
  envio2 = analogRead(A1)/4;  
  envio3 = analogRead(A2)/4;  
  
  Serial.write(envio1);  
  Serial.write(envio2);  
  Serial.write(envio3);  
  delay(50);  
  
}  
}
```

Figura 65 Programa en plataforma arduino
Tomado de: AUTOR

17. OTROS APORTES DERIVADOS DEL TRABAJO

Para la realización de este trabajo fue necesario crear un plan de desarrollo en el cual estaba propuesto que los recursos financieros los acarrearba la universidad por lo tanto fue necesario realizar una propuesta explicando al comité de presupuesto las razones por las cuales se debía actualizar la máquina universal y su correspondiente costo, para ello fue necesario contactarse con tres empresas distintas proveedoras del mismo material que se necesitaba, de la misma manera se realizó con todos los componentes útiles para la realización dicha intervención, luego de esto se realizó un estudio de los materiales y componentes que ofrecían todas las empresas teniendo en cuenta prestaciones que daban y lógicamente el valor, después de tener seleccionados se procedió a realizar la propuesta incluyendo los componentes opcionados y los seleccionados.

Este trabajo busca enlazar tres de las facultades de la universidad Santo Tomás Tunja, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Civil e Ingeniería Mecánica, esto es una muestra de los valores que la universidad inculca en el proceso de enseñanza como lo son el trabajo en grupo de esta manera se abonan puntos a algo tan importante que se está buscando como lo es la acreditación.

18. CONCLUSIONES

- Con este proceso la máquina tendrá la opción de cambiar a modo manual cuando se considere oportuno o en caso de algún fallo en el sistema de automatización.
- Al ser este un sistema automatizado liberará de algunas tareas a los estudiantes y laboratoristas, ya que si antes tenían que estar bastante pendientes del desplazamiento de la máquina y del reloj que muestra el peso, estas variables ya se mostrar de forma automática a través de un software gráfico. Además que no hay la necesidad de poner hojas milimetradas en la graficadora XY.
- El sistema automatizado garantizará aún más la seguridad tanto de los laboratoristas como de los estudiantes que la estén manipulando ya que antes de esta intervención existía el riesgo de un choque eléctrico debido a que su sistema eléctrico estaba defectuoso.
- El estudio y selección de los instrumentos de medida adecuados permiten tener precisión y un buen funcionamiento de la máquina universal. Con el estudio de las señales eléctricas de los sensores y la toma de datos se reconoce que existen diferentes tipos de errores, que no se pueden corregir en vez de eso se podrían disminuir, utilizando amplificadores operacionales como el TL084 y condensadores para aumentar el nivel de la señal de entrada y filtrarla para igualar el rango del convertidor análogo digital (ADC), y de esta manera aumentar la resolución y sensibilidad de las medidas. Además al hacer el acondicionamiento de señales, mejora la relación de señal-a-ruido elevando el nivel de señal antes de se vea afectada por el ruido ambiental.
- Se consideraron importantes los sensores en las mediciones de magnitudes que permitan controlar los procesos y toda el área que de alguna u otra forma estén automatizadas y deban tener algún tipo de control.
- Hoy en día se pueden encontrar en la industria gran cantidad de sensores. Que de alguna manera son indispensables ya que por las condiciones del medioambiente o del propio trabajo y necesitaran características diferentes para soportar las exigencias a las cuales están sometidos se encuentran en diferentes diseños y contruidos con tecnologías de bajo costo.

19. REFERENCIAS

A continuación presentan las referencias tanto bibliográficas como infografías las cuales fueron necesarias para poder investigar y adquirir los conocimientos necesarios sobre determinados temas y así poder desarrollar dicho proyecto, estas referencias fueron de soporte para el desarrollo de este libro y del proyecto.

19.1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] CEMBRANOS, Florencio AUTOMATISMOS ELÉCTRICOS, NEUMÁTICOS E HIDRÁULICOS
- [2] CREUS, Antonio INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
- [3] GARCÍA, Emilio AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES
- [4] FESTO HYDRAULICS, ELECTROHYDRAULICS – BASIC AND ADVANCED LEVEL
- [5] SINCLAIR, IAN SENSORS AND TRANSDUCERS
- [6] ARNEDO, J.M. FABRICACIÓN INTEGRADA POR COMPUTADOR
- [7] WILLIAN D, Cooper. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA MODERNA Y TÉCNICAS DE MEDICIÓN
- [8] BOLTON, W. SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO EN INGENIERIA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
- [9] CREUS, Antonio. “INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL”, 6A EDICIÓN, MÉXICO DF: ALFA OMEGA GRUPO EDITOR S.A. 1998.
- [10] MARTÍNEZ SÁNCHEZ, Victoriano Ángel. “AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MODERNA”, MÉXICO DF: ALFA OMEGA GRUPO EDITOR, S.A., 2001 [6] ARNEDO, J.M. FABRICACIÓN INTEGRADA POR COMPUTADOR
- [11] SOTELO. “HIDRÁULICA GENERAL”, VOL. 1, FUNDAMENTOS, MÉXICO D.F, EDITORIAL LIMUSA S.A. 2000.
- [12] T MALONEY. “ELECTRONICA INSDUSTRILA MODERNA”. MCGRAW HILL. 2003
- [13] MILLER, Albert. “METROLOGIA”. BARCELONA, IDEAS BOOKS, 1992
- [14] MUHAMMAD H. RASHID. ELECTRÓNICA DE POTENCIA CIRCUITOS, DISPOSITIVOS Y APLICACIONES

19.2. INFOGRAFIA

- [1] <http://www.metrotec.es>
- [2] <http://www.metroinstruments.com>
- [3] <http://newsindustria.siemens.com.ar>
- [4] <http://www.zwick.com>
- [5] <http://www.techlabsystems.com>
- [6] <http://www.sensing.es>
- [7] <http://www.entran.com>
- [8] <http://www.micropik.com>
- [9] <http://www.seac.es>
- [10] <http://www.koboldmessring.com>
- [11] <http://www.sicontrol.com>
- [12] <http://instrumatic.com.co>
- [13] http://www.usta.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=108&Itemid=30
- [14] http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&filter_name=DR10018&product_id=796#.UNtZM6x16Sp%20