

**SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISIÓN DE LA  
MÁQUINA SHIMADZU DEL LABORATORIO DE  
ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA**



**Martha Natalia Agredo Albán  
Julián Armando Quintana Núñez**

*Universidad del Cauca*

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control  
Ingeniería en Automática Industrial  
Popayán, Junio de 2014**

# **SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISIÓN DE LA MÁQUINA SHIMADZU DEL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**Martha Natalia Agredo Albán  
Julián Armando Quintana Núñez**



**Monografía presentada como requisito parcial para optar el título de  
Ingeniero en Automática Industrial**

Director: Mg. Juan Fernando Flórez Marulanda

*Universidad del Cauca*

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control  
Ingeniería en Automática Industrial  
Popayán, Junio de 2014**

Nota de Aprobación

---

---

---

---

---

Firma Director \_\_\_\_\_  
Mg. Juan Fernando Flórez Marulanda

\_\_\_\_\_  
Firma del Jurado

\_\_\_\_\_  
Firma del Jurado

Popayán, Junio de 2014

## DEDICATORIA

Con mucho cariño

A Dios y a la virgen por su gran amor y gracia, por cubrirme con su misericordia y cuidarme de todo peligro, por acompañarme en alcanzar mis sueños en este arduo caminar.

A mi familia, papá, mamá, hermanos, por su confianza, su entrega incansable, sus palabras de ánimos, por ser la luz de mi existencia y el regocijo de mi corazón.

A mis amigos por su gran solidaridad, compañía incondicional, alegrías y su apoyo para salir adelante.

Es satisfactorio el terminar un camino, pero es más grande el reto que me espera con lo que he aprendido para servir a la comunidad; por ello como desde siempre, todo lo dejo en manos de Dios, confiado en que con Él seré un gran profesional.

Julián Armando Quintana Núñez

## **DEDICATORIA**

A Dios, mi familia, mis padres, mis hermanas, y docentes por su apoyo y compañía incondicional en cada momento de esta etapa tan importante para mí.

Martha Natalia Agredo Albán

## **AGRADECIMIENTOS**

Es motivo de gran alegría compartir con todos aquellos que han estado presentes en este caminar, quienes nos han dado la mano y han estado siempre dispuestos a ayudarnos a salir adelante que incondicionalmente nos apoyaron y depositaron en nosotros su confianza; por ello damos gracias a dios, a nuestras familias, padres, hermanos, como primeros artífices para que esta meta se hiciera realidad, a nuestros amigos y compañeros de travesía que con sus alegrías nos alentaron para no desfallecer y continuar con esta lucha hasta el final.

Agradecemos al Ingeniero Humberto García por sus aportes y acompañamiento en el desarrollo de este trabajo. A Luis Alfonso encargado del laboratorio de estructuras de la facultad de Ingeniería Civil, por brindarnos su confianza, dedicación y acompañamiento en todo el transcurso de este trabajo. Al Ingeniero Juan Fernando Flórez Marulanda por su dedicación, apoyó, confianza, paciencia y acompañamiento, por motivarnos a ser unas grandes personas y profesionales.

Elevamos al cielo nuestra eterna gratitud por todo el bien recibido, por el amor incondicional de todos aquellos que nos acompañaron en este bello caminar.

## TABLA DE CONTENIDO

Pág.

### *INTRODUCCION*

<i>CAPITULO 1. GENERALIDADES</i> .....	1
1.1 Introducción .....	1
1.1.1 Reseña Histórica .....	1
1.1.2 Prensa de Fricción.....	3
1.1.3 Prensas de Excéntrica.....	3
1.2 Clasificación de las prensas.....	4
1.3 Máquina universal de ensayos.....	5
1.4 Máquina universal de ensayos Shimadzu Unicauca .....	6
1.4.1 Módulo de carga.....	7
1.4.2 Módulo de mando.....	8
1.4.3 Modulo Indicador.....	11
1.5 Ensayos en Máquina universal .....	13
1.5.1 Ensayo de Tracción.....	15
1.5.2 Ensayo de Compresión .....	16
1.5.3 Ensayo de flexión .....	16
1.6 Modelado ISA S88 .....	17
1.6.1 Modelo de proceso de la Máquina Shimadzu.....	17
1.6.2 Modelo físico de la máquina Shimadzu .....	17
1.6.3 Modelo de control procedimental de la Máquina Shimadzu .....	18
1.7 Diagnóstico de automatización .....	19
<i>CAPITULO 2. DISEÑO</i> .....	23
2.1 Ingeniería Conceptual.....	23
2.1.1 Descripción del proceso .....	23
2.1.2 Descripción de la planta .....	23
2.1.3 Variables controladas y manipuladas del proceso de ensayo .....	25
2.1.4 Listado de Equipos, Instrumentos y accesorios de la máquina Shimadzu.....	26

2.1.5	Requerimientos del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu .....	29
2.2	Ingeniería Básica .....	31
2.2.1	Elementos hardware del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu .....	31
2.2.2	Elementos Software del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu .....	38
2.2.3	Etiquetado de la planta e instrumentos .....	42
2.2.4	Diagrama en bloques del proceso de ensayo de la máquina Shimadzu.....	43
2.2.5	Diagrama modular del proceso del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu .....	43
2.2.6	Diagrama de tubería e instrumentos P&ID del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu .....	44
2.2.7	Modelos ISA S88 del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu .....	46
<b>CAPITULO 3 IMPLEMENTACIÓN.....</b>		<b>51</b>
3.1	Ingeniería de Detalle .....	51
3.1.1	Planos de distribución física .....	51
3.1.2	Diagramas electrónicos detallados.....	51
3.1.3	Distribución de señales de entrada y salida de la DAQ.....	53
3.1.4	Diagrama de lazo .....	53
3.1.5	Diagrama de potencia del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu .....	54
3.1.6	Caracterización de las curvas de los sensores .....	56
3.1.7	Descripción de módulos del software .....	61
3.2	Montajes y ajustes finales .....	66
3.2.1	Imágenes de distribución física: .....	66
3.2.2	Imágenes de tarjetas y circuitos implementados con respectivo cableado:.....	67
3.2.3	Diseño detallado de interface .....	68
<b>CAPITULO 4 PRUEBAS.....</b>		<b>73</b>
4.1	Ensayo de Tensión: .....	73

4.2	Ensayo de compresión.....	78
4.3	Ensayo de flexión.....	82
<i>CAPITULO 5 CONCLUSIONES</i> .....		87
<i>TRABAJOS FUTUROS</i> .....		88
<i>Referencias Bibliográficas</i> .....		89

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Prensa balancín diseñada por Nicolás Briot. ....	1
Figura 2 Prensa Hidráulica diseñada por Joseph Bramah .....	2
Figura 3 Evolución de prensa hidráulica. ....	3
Figura 4 Prensa de fricción. ....	3
Figura 5 Prensa mecánica de Excéntrica.....	4
Figura 6 Prensa mecánica operada manualmente.....	4
Figura 7 Máquina Universal de ensayos hidráulica Mono espacio.....	5
Figura 8 Máquina Universal mecánica doble espacio .....	6
Figura 9 Máquina Shimadzu Modelo UH 50-A Universidad del Cauca. ....	6
Figura 10 Módulo de carga máquina Shimadzu Universidad del Cauca. ....	7
Figura 11 Aditamento de la máquina Shimadzu Universidad del Cauca.....	8
Figura 12 Modulo de mando de máquina Shimadzu Universidad del Cauca .....	9
Figura 13 Tarjeta Shimadzu Assy de máquina Shimadzu Universidad del Cauca .....	10
Figura 14 Tarjeta NI DAQ 6008.....	10
Figura 15 Tarjeta acondicionamiento de señales TAS.....	10
Figura 16 Panel de operación principal del módulo de mando .....	11
Figura 17 Modulo Indicador de máquina Shimadzu Universidad del Cauca. ....	12
Figura 18 Módulo de indicador de carga.....	12
Figura 19 Selector rango de carga y Zero.....	13
Figura 20 Span ,cero y activador de la señal de salida de la celda de carga....	13
Figura 21 Diagrama Esfuerzo-Deformación de materiales dúctiles en tensión, compresión y flexión. ....	15
Figura 22 Fuerzas aplicadas a probetas .....	16
Figura 23 Tipos de fracturas en compresión.....	16
Figura 24 Fuerza aplicada a la pieza en ensayo de flexión. ....	17
Figura 25 Diagrama de flujo de proceso de la máquina Shimadzu .....	24
Figura 26 Diagrama hidráulico de la máquina Shimadzu.....	25
Figura 27 Computador como parte del módulo de supervisión .....	32
Figura 28 Esquema de conexión tarjeta NI DAQ 6008 .....	33
Figura 29 Tarjeta acondicionadora de señales TAS .....	34
Figura 30 Esquema Circuital 'rango de voltaje aplicado'.....	35
Figura 31 Esquema Circuital de potencia .....	36
Figura 32 Esquema Circuital de la tarjeta de control y potencia TCP .....	37
Figura 33 Vista en 3D de la tarjeta de control y potencia.....	38
Figura 34 Webcam Genius Eye 312 .....	38
Figura 35 Diseño modular del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu .....	40
Figura 36 Diagrama secuencial de árbol del sistema HMI .....	41

Figura 37 Diagrama en bloques del proceso de ensayo de la MUE Shimadzu	43
Figura 38 Diagrama modular del proceso del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu.....	44
Figura 39 Diagrama P&ID de modo 1 del Sistema de supervisión y monitoreo de la máquina Shimadzu.....	45
Figura 40 Diagrama P&ID de modo 2 del Sistema de supervisión y monitoreo de la máquina Shimadzu.....	46
Figura 41 Distribución laboratorio de estructuras de la FIC de Universidad del cauca .....	51
Figura 42 Diseño PCB tarjeta de control y potencia.....	52
Figura 43 Diagrama de lazo del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu .....	54
Figura 44 Circuito de potencia de la maquina Shimadzu .....	55
Figura 45 Circuitos de Maniobras .....	56
Figura 46 Toma de datos con calibrador Pie de Rey en la máquina Shimadzu	57
Figura 47 Relación Pulsos vs desplazamiento del Encoder.....	58
Figura 48 Grafica Voltaje vs Presión de la celda de carga.....	60
Figura 49 Modulo del encoder en software .....	61
Figura 50 <i>Sub vi Digital Read</i> .....	62
Figura 51 <i>Sub vi Detector de pulsos</i> .....	62
Figura 52 Verificación de pulsos .....	63
Figura 53 Grafica Desplazamiento vs Pulsos del encoder .....	63
Figura 54 Modulo Galga en software .....	64
Figura 55 Grafica presión vs Voltaje de los valores de celda de carga.....	64
Figura 56 Modulo Manipulación (válvulas control automático de carga).....	65
Figura 57 Modulo visión .....	65
Figura 58 Módulo Excel macro.....	66
Figura 59 Distribución física del Laboratorio de estructura .....	66
Figura 60 Tarjeta de adquisición de datos DAQ.....	67
Figura 61 Tarjeta de control y potencia TCP.....	67
Figura 62 Tarjeta de acondicionamiento de señales TAS.....	68
Figura 63 Esquema eléctrico completo del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu.....	68
Figura 64 Ventana principal del HMI (selección modo 1 o modo 2).....	69
Figura 65 Ventana de instrucciones antes de iniciar ensayo Modo 1 .....	69
Figura 66 Ventana ejecución Modo 1.....	70
Figura 67 Ventana parámetros del sistema Modo 1.....	70
Figura 68 Ventana parámetros del sistema Modo 2.....	71
Figura 69 Ventana parámetros del sistema Modo 2.....	71
Figura 70 Ventana de Graficas avanzadas .....	72
Figura 71 Macro de Excel .....	72

Figura 72 Montaje ensayo de tensión .....	73
Figura 73 Inicio de HMI pre configuración del ensayo .....	74
Figura 74 Visualización de datos .....	74
Figura 75 Exportación de datos .....	75
Figura 76 Datos exportados a Excel .....	75
Figura 77 Inicio de HMI pre configuración del ensayo .....	76
Figura 78 Botón de Activación 'Modo 2' .....	76
Figura 79 Visualización de datos .....	77
Figura 80 Exportación de datos .....	77
Figura 81 Datos exportados a Excel .....	78
Figura 82 Elemento a comprimir Prisma tipo .....	78
Figura 83 Montaje ensayo de compresión de prisma.....	79
Figura 84 Inicio HMI pre configuración del ensayo .....	79
Figura 85 Visualización de datos .....	80
Figura 86 Exportación de datos .....	80
Figura 87 Montaje ensayo de compresión con murete .....	81
Figura 88 Visualización de datos de ensayo de compresión .....	81
Figura 89 Datos exportados a Excel .....	82
Figura 90 Montaje ensayo de flexión en varilla .....	82
Figura 91 Inicio de HMI pre configuración de ensayo .....	83
Figura 92 Visualización de datos .....	83
Figura 93 Datos exportados a excel.....	84
Figura 94 Inicio MHI pre configuración de parámetros.....	84
Figura 95 Visualización de ensayo.....	85
Figura 96 Datos exportados a Excel .....	85

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 2 Dimensiones básicas del sistema métrico decimal (SI).....	14
Tabla 3 Modelo de proceso de ensayo destructivo de la máquina Shimadzu...	17
Tabla 4 Modelo Físico de la máquina Shimadzu.....	17
Tabla 5 Modelo de control procedimental para ensayo de Tensión .....	18
Tabla 6 Modelo de control procedimental para ensayo de compresión .....	19
Tabla 7 Modelo de control procedimental para ensayo de flexión .....	19
Tabla 8 Listado de Equipos de la máquina Shimadzu .....	26
Tabla 9 Listado de Instrumentos de la máquina Shimadzu.....	26
Tabla 10 Listado de elementos de maniobra y descripción .....	28
Tabla 11 Especificaciones técnicas de tarjeta adquisición de datos .....	33
Tabla 12 Valores de resistencias para velocidades en la máquina Shimadzu ..	35
Tabla 13 Componentes de la tarjeta de control y potencia TCP .....	36
Tabla 14 Etiquetado de equipos, instrumentos y accesorios .....	42
Tabla 15 Modelo de proceso del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu .....	46
Tabla 16 Modelo Físico del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu .....	47
Tabla 17 Modelo de control procedimental del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu para ensayo de tensión .....	48
Tabla 18 Modelo de control procedimental del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu para ensayo de compresión.....	49
Tabla 19 Modelo de control procedimental del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu para ensayo de flexión.....	49
Tabla 20 Entradas y salidas de la Tarjeta de Control y Potencia TCP .....	52
Tabla 21 Señales de Entradas y salidas a Tarjeta DAQ 6008 .....	53
Tabla 22 Datos de caracterización del encoder de la maquina Shimadzu .....	57
Tabla 23 Datos de caracterización del encoder de la maquina Shimadzu .....	57
Tabla 24 Tabulación de valores para encontrar porcentaje de linealidad de la curva del encoder.....	58
Tabla 25 Valores de presión y voltaje entregados por la celda de carga .....	59
Tabla 26 Valores de presión y voltaje entregados por la celda de carga .....	60
Tabla 27 Pruebas de tres tipos de ensayos realizados en la máquina Shimadzu .....	73

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A: MANUAL DE OPERACIÓN DE LA MAQUINA SHIMADZU

ANEXO B: PROTOCOLO DE VERIFICACION DEL SISTEMA HIDRAULICO DE LA MAQUINA SHIMADZU

ANEXO C: DESCRIPCION DEL SISTEMA HIDRAULICO DE LA MAQUINA SHIMADZU

ANEXO D: TARJETA DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES "TAS"

ANEXO E: PROTOCOLO DE CALIBRACION MECANICA DE LA MAQUINA SHIMADZU

ANEXO F: INSTALACIÓN DE SOFTWARE Y DRIVERS

ANEXO G: INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION DE LA MAQUINA SHIMADZU

ANEXO H: MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION DE LA MAQUINA SHIMADZU

ANEXO I: MANUAL DE SERVICIO

ANEXO J: MEDIDAS DE SEGURIDAD

## INTRODUCCION

En el mundo actual es necesario llevar de la mano el desarrollo tecnológico con las necesidades que se nos presenten en el día a día, lo cual conlleva a estar de la mano con los avances de la electrónica y la automatización para ser aplicados a los procesos de ingeniería; los procesos industriales trabajan bajo diversos sistemas tanto informáticos, electrónicos, neumáticos, mecánicos y de automatización para fortalecer el conocimiento y así desarrollar de forma completa los retos cotidianos. Las máquinas de ensayo fueron diseñadas para analizar respuesta y propiedades de probetas, realizar el control de calidad durante los procesos de fabricación, establecer causas de fallas en aceros para un uso determinado y el estudio de mejores materiales de fabricación. La máquina universal de ensayos realiza tres ensayos: tracción, compresión y flexión, los cuales necesitan ayuda de aditamentos para un mejor análisis de resultados. La máquina de ensayos Shimadzu que se encuentra en la Universidad del Cauca fue adquirida en el año 1995 y en comparación con las prensas modernas esta máquina quedó limitada al no disponer de funciones que, en la actualidad, son de gran necesidad para quienes la utilizan, por consiguiente, en este trabajo de grado se diseñó un sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu, para cumplir con el objetivo propuesto en el anteproyecto, este trabajo de grado se ha dividido en cuatro capítulos principales serán expuestos en el desarrollo del presente trabajo de grado.

En el primer capítulo se aborda la reseña histórica y generalidades de la máquina de ensayo, se realiza una descripción básica de la máquina Shimadzu, un diagnóstico de cómo se encontró la máquina en el momento de iniciar el proceso tanto interna como externamente, se realiza un modelado ISA 88 básico de la máquina. En el segundo capítulo se describe el diseño del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu, con ayuda de la ingeniería conceptual y básica se especifican los requerimientos del proyecto, para generar una idea amplia del funcionamiento del sistema tanto de automatización, software y hardware; se realiza una descripción del sistema completo, utilizando la norma ISA 88, para generar los modelos físicos, de proceso y de control de procedimientos de cada uno de los ensayos. En el tercer capítulo se realiza la implementación del sistema de monitoreo y supervisión, por medio de la ingeniería de detalle se realizan planos y diagramas electrónicos, lazo y potencia; caracterización de curvas de los sensores y descripción detallada de los módulos del software. En el cuarto capítulo se realizaron pruebas con cada uno de los ensayos con el sistema implementado.

# CAPITULO 1. GENERALIDADES

## 1.1 Introducción

El concepto básico de funcionamiento de una máquina universal de ensayo es el de una prensa hidráulica; por lo tanto se hará descripción de su historia y evolución.

### La Prensa

Es una herramienta que pertenece al grupo de los aparatos de movimiento rectilíneo alternativo, tiene como finalidad lograr la deformación permanente o incluso cortar un determinado material mediante la aplicación de una carga. Conocida desde la antigüedad, empleada prácticamente en todas las industrias, y utilizadas para actuar sobre distintos materiales y acciones como: embalar, forjar, estampar, extruir, laminar, etc. [1]

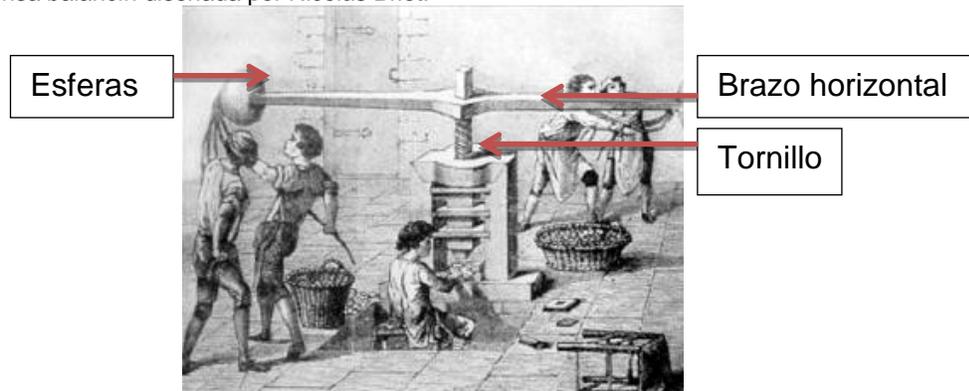
#### 1.1.1 Reseña Histórica

Para llegar al estado actual de la tecnología de prensado ha sido necesario aplicar, combinar y desarrollar técnicas diversas, fundamentos teóricos distantes y aportaciones individuales numerosas. Esto ha hecho que el proceso evolutivo experimentado por la prensa sea tan amplio, que a continuación se resaltan algunos hitos relevantes ocurridos en el transcurso de los últimos cinco siglos [1].

#### Prensa de Balancín

En el siglo XV fue diseñada por Leonardo da Vinci, pero se generalizó para el acuñado de monedas a partir del modelo de Briot en 1616 y mantiene su vigencia, con ligeras modificaciones, durante más de tres siglos. Constituida por un tornillo central (huesillo) accionado por un brazo horizontal, esferas pesadas en cada extremo donde pendían correas para ser tiradas por varios hombres, para realizar el trabajo de acuñar monedas, ver Figura 1.

Figura 1 Prensa balancín diseñada por Nicolás Briot.



Fuente: Tomado de [1], agosto de 2013.

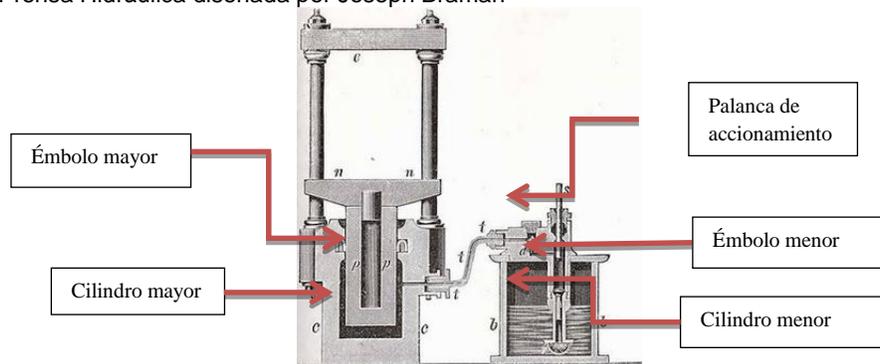
#### Prensa hidráulica

En el siglo XVII, en Francia, el matemático y filósofo Blaise Pascal comenzó una investigación referente al principio donde la presión aplicada a un líquido

contenido en un recipiente se transmite con la misma intensidad en todas las direcciones, gracias a este se obtienen fuerzas grandes utilizando otras relativamente pequeñas. Uno de los aparatos que usa el anterior principio es la prensa hidráulica [2].

La máquina de Bramah desarrollada en 1770 por el industrial inglés Joseph Bramah (1749-1814) es el primer antecedente de una prensa hidráulica. Consiste en dos cilindros de diferente sección comunicados entre sí, y cuyo interior está completamente lleno de líquido (agua o aceite), dos émbolos<sup>1</sup> de sección diferente que se ajustan respectivamente, en cada uno de cilindros, de modo que estén en contacto con el líquido. La fuerza que actúa en el émbolo menor se trasmite a través del fluido hacia el otro embolo, dando lugar a una fuerza mayor que la primera (en la misma proporción que en la superficie de ambos émbolos). Esta primera prensa hidráulica conseguía presiones relativamente pequeñas y no era utilizable para deformación de metales, ver Figura 2 [2].

Figura 2 Prensa Hidráulica diseñada por Joseph Bramah



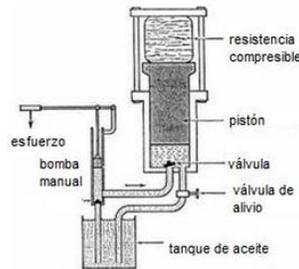
Fuente: Tomado de [2], agosto de 2013.

Fueron los hermanos Perier quienes, más tarde, evolucionaron la máquina de Bramah permitiendo alcanzar presiones altas (sobre  $70 \text{ kg/cm}^2$ ), haciéndola apta para trabajos fuertes. Sin embargo, el uso de la prensa hidráulica para trabajar hierro no se produce hasta mediados del siglo XIX, especialmente tras la aparición del modelo desarrollado por el austriaco Haswell, de mayor tamaño y capacidad de presión. Luego esta evoluciono hasta llegar a utilizar un sistema de palancas movida por fuerza humana, las cuales utilizaban válvulas<sup>2</sup> que reemplazaron al tornillo o perno, ver Figura 3.

<sup>1</sup> Pieza móvil que se encuentra dentro de una bomba y al moverse cambia la presión del fluido, con el objetivo de desplazarlo.

<sup>2</sup> Dispositivo mecánico que regula el flujo de líquido o gas en un sistema.

Figura 3 Evolución de prensa hidráulica.

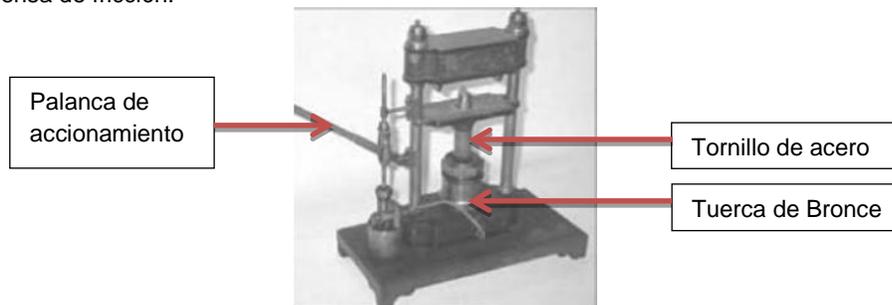


Fuente: Tomado de [2], agosto de 2013.

### 1.1.2 Prensa de Fricción

El origen de prensas de fricción se debe a la necesidad de la mejora del acuñado de monedas. A finales del siglo XVIII el francés Chéret, basado en el principio de Braham, creó un prototipo de esta prensa que tuvo acogida por parte de la fábrica de Monedas de París, la cual puso en marcha las primeras prensas de este tipo, cuyo principio se ha mantenido hasta nuestros días. La prensa está compuesta por un tornillo de acero con rosca de tres hilos, que se desplaza por una larga tuerca de bronce. Este modelo se suministraba en distintos tamaños, variando el diámetro del tornillo desde 45 hasta 170 mm. La palanca de accionamiento tiene un recubrimiento de cuero destinado a reducir el desgaste, ver Figura 4 [2].

Figura 4 Prensa de fricción.



Fuente: Tomado de [2], septiembre de 2013.

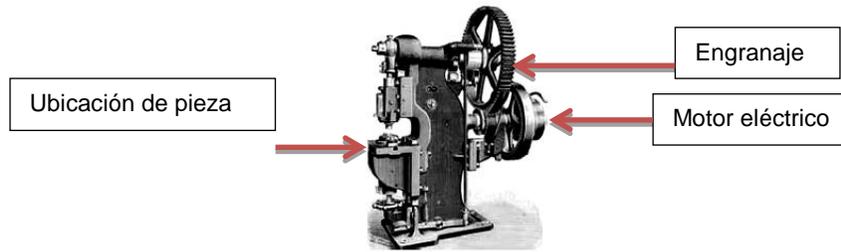
### 1.1.3 Prensas de Excéntrica

Durante el siglo XIX el punzonado<sup>3</sup> de piezas se realizaba mediante prensas balancín, pero este procedimiento era poco eficiente para la fabricación de productos en serie. La búsqueda de un mayor rendimiento dio lugar a la prensa mecánica de excéntrica, es el primer ejemplo de una prensa mecánica<sup>4</sup>. Eran aptas para el pulsado de agujeros y eran diseñadas para trabajar a 100 rpm, se generalizó con enorme rapidez mejorando progresivamente su capacidad y rendimiento, haciéndose imprescindible para trabajos de estampación, forja y pequeñas embuticiones, ver Figura 5 [3].

<sup>3</sup> Operación mecánica que separa una parte metálica de otra para obtener una figura determinada

<sup>4</sup> Consta de un motor eléctrico que trasmite energía a la prensa, realizando el trabajo pertinente.

Figura 5 Prensa mecánica de Excéntrica.



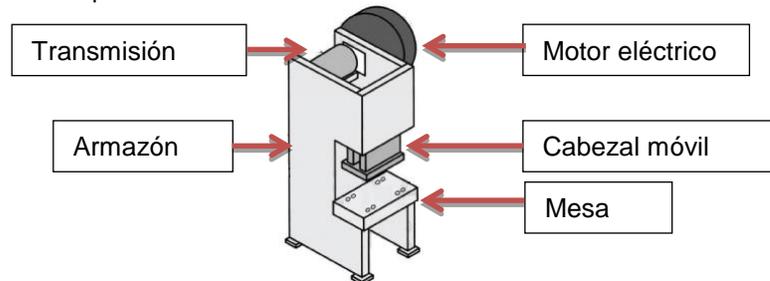
Fuente: Tomado de [3], septiembre de 2013.

## 1.2 Clasificación de las prensas

Su amplia variedad permite numerosos sistemas de clasificación, relacionado al sistema de accionamiento, funcionamiento y variedad de componentes; a nivel global se clasifican en dos grupos importantes: Prensas Mecánicas y Prensas Hidráulicas [3].

**Prensas mecánicas:** Son máquinas accionadas por un motor eléctrico (transforma energía eléctrica en mecánica), transmitiéndola vía neumática<sup>5</sup> o mecánica a un troquel y así golpear el material a trabajar ocasionando fuertes ruidos, pueden ser operadas manualmente, son de bajo costo y fáciles de mantener, ver Figura 6 [4].

Figura 6 Prensa mecánica operada manualmente



Fuente: Tomado de [4] , septiembre de 2013.

**Prensas hidráulicas:** Son máquinas rápidas y confiables, utilizan presión hidráulica por medio de uno o más pistones y cilindros para proporcionar un movimiento deslizante lineal, que empuja o comprime el material a manipular, debido al mejoramiento de la tecnología que han experimentado, como el uso de controladores lógicos programables (PLC), controladores electrónicos de velocidad y la flexibilidad de estas máquinas en el proceso de fabricación, presenta mayor versatilidad, proporcionan una mayor capacidad a menor costo, lo que las ha convertido en las preferidas en la manufactura mundial, ver Figura 2 [2]. Fue tanta la acogida de la prensa hidráulica que al realizarle ciertas modificaciones se pudo obtener una máquina en la cual se realizaban pruebas con materiales metálicos para observar características como ductilidad, resistencia, elasticidad, etc., importantes en el sector educativo y para la

<sup>5</sup> Emplea aire comprimido como medio de transmisión de energía para mover un mecanismo

construcción, a esta máquina se le denominó Máquina universal de ensayo (MUE) [5].

### 1.3 Máquina universal de ensayos

En ingeniería se denomina máquina universal a una máquina semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción, compresión y flexión para evaluar sus propiedades. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o un sistema hidráulico. Se pueden clasificar según tipo de accionamiento y estructura:

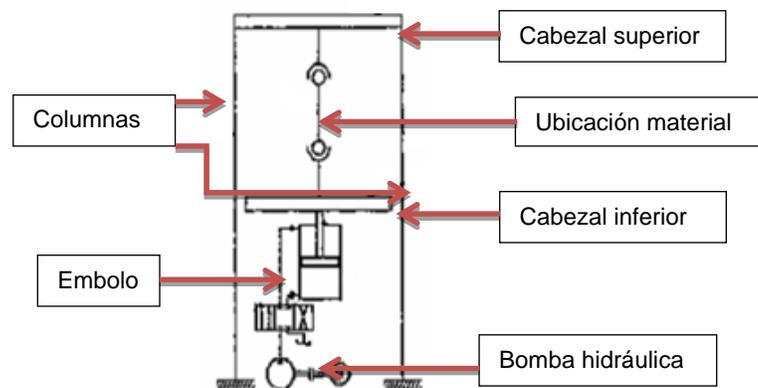
#### *Tipo de accionamiento*

- **Accionamiento hidráulico:** Compuesto por un sistema hidráulico: bomba hidráulica y cilindro.
- **Accionamiento mecánico:** Compuesto por un motor eléctrico y una palanca de accionamiento.

#### *Tipo de estructura*

- **Mono espacio:** Compuesto por dos cabezales (superior e inferior) y dos columnas que los comunican. Los cabezales poseen mordazas en las cuales se ensamblan los aditamentos necesarios para fijar el material de ensayo y así realizar las pruebas pertinentes, ver Figura 7 [5].

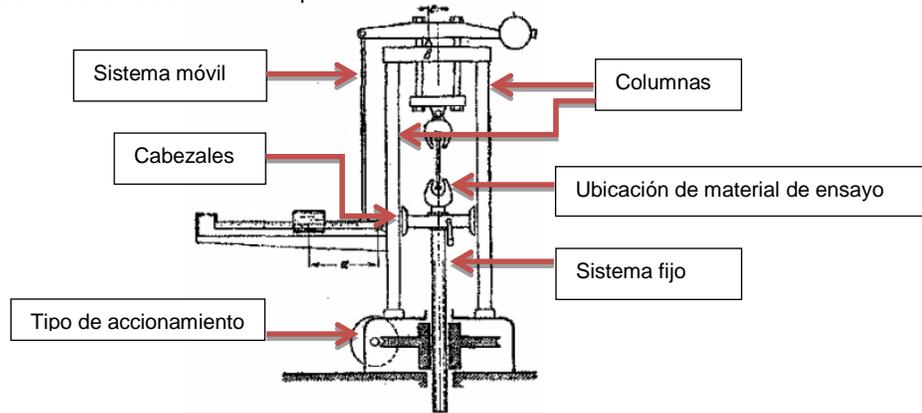
Figura 7 Máquina Universal de ensayos hidráulica Mono espacio



Fuente: Tomado de [5], septiembre de 2013.

- **Doble espacio:** Posee un sistema móvil y un sistema fijo que forman una estructura de tres cabezales y cuatro columnas. El sistema móvil tiene dos cabezales y dos columnas, estas columnas son independientes del otro sistema. El sistema fijo se compone de un cabezal y dos columnas que van fijadas a una carcasa que soporta todo el armazón, ver Figura 8 [5].

Figura 8 Máquina Universal mecánica doble espacio



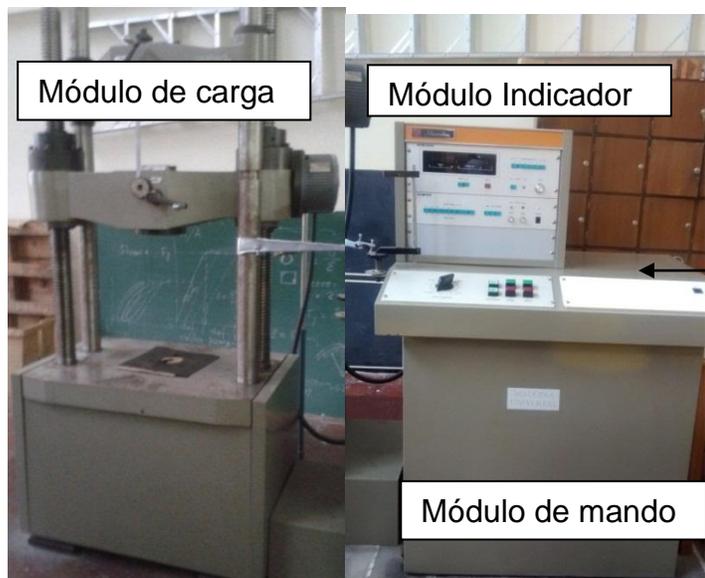
Fuente: Tomado de [5], septiembre de 2013.

El caso de estudio del presente trabajo de grado está basado en una Máquina Universal de ensayo hidráulica doble espacio.

#### 1.4 Máquina universal de ensayos Shimadzu Unicauca

En el laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, se dispone de una Máquina Universal de Ensayos Shimadzu adquirida en el año 1995; esta máquina tiene dos modos de operación manual y automático. El modo manual es realizado por la válvula de control de carga que es manipulada por el usuario desde el panel de operación principal accionando la perrilla (control carga); el modo automático es realizado por la válvula control automático de carga y la unidad de control automático. En esta máquina se realizan los ensayos de tracción, compresión, y flexión, en la Figura 9 [6] se muestra la máquina al inicio del proyecto.

Figura 9 Máquina Shimadzu Modelo UH 50-A Universidad del Cauca.



Fuente propia, septiembre de 2013.

### Descripción de la máquina

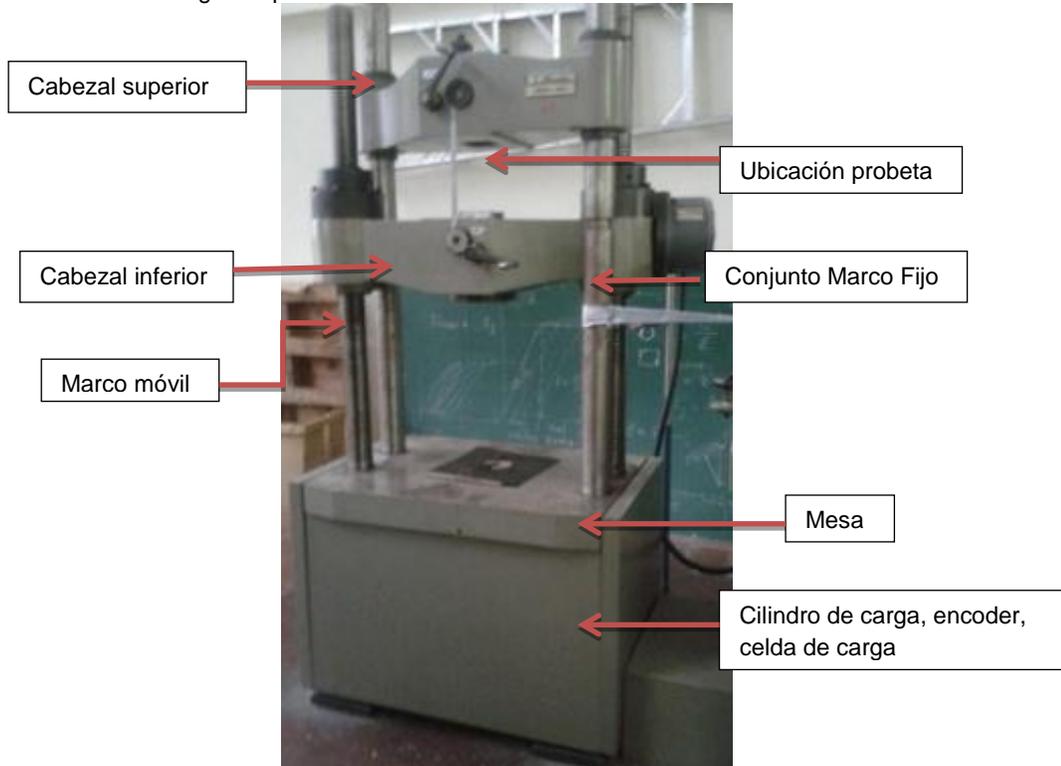
Según la clasificación que se realizó anteriormente la máquina universal de ensayos es una máquina hidráulica doble espacio, compuesta por tres módulos: carga, mando e indicador, los cuales se describen a continuación:

#### 1.4.1 Módulo de carga

Es la estructura donde se ubican las probetas a ser ensayadas compuesta por el conjunto de marco fijo, conjunto marco móvil, motor marco móvil, cilindro de carga, mordazas y aditamentos, ver Figura 10.

- a) Conjunto de marco fijo: Es un conjunto de marco sólido compuesto por una base, un cabezal inferior y dos tornillos de disco. La base está fijada en concreto mediante pernos de anclaje.
- b) Conjunto de marco móvil: Este es un marco sólido ensamblado a través del marco fijo, por medio de un soporte o mesa, un cabezal superior y dos columnas. La mesa está acoplada a un pistón.
- c) Motor marco móvil: Motor de inducción trifásico que maneja el marco móvil.
- d) Cilindro de carga: Un cilindro de carga está fijado al centro de la base, el pistón y la mesa están unidos a este. Si el aceite a presión se introduce en este cilindro de carga, el conjunto de marco móvil ascenderá, de otra forma si el aceite a presión regresa al tanque de aceite, este descenderá.

Figura 10 Módulo de carga máquina Shimadzu Universidad del Cauca.



Fuente propia, septiembre de 2013.

- e) Mordazas: Se ubican en los agujeros del centro de los cabezales de bajada y subida; estas se pueden abrir o cerrar por medio de una palanca que se encuentra al frente de cada cabezal.
- f) Aditamentos: Elementos adicionales para realización de ensayos necesarios para cada tipo de prueba con la máquina, ver Figura 11.

Figura 11 Aditamento de la máquina Shimadzu Universidad del Cauca



No.1: Elemento necesario para realizar el ensayo de compresión, se debe ubicar en el cabezal inferior del marco de carga, ajustándolo en las mordazas de tal forma que tenga firmeza.



No.2: Elemento necesario para realizar el ensayo de flexión, este es ubicado en el cabezal inferior del marco de carga, ajustándolo en las mordazas de tal forma que tenga firmeza.



No.3: Elemento de soporte necesario para realizar el ensayo de flexión, se debe ubicar sobre la mesa de carga, sobre él se dispone la pieza a ser puesta a prueba.

Fuente propia, septiembre de 2013.

#### 1.4.2 Módulo de mando

Compuesto por un sensor de desplazamiento, celda de carga, bomba hidráulica, tanque de aceite, motor de accionamiento, válvula de control de carga, válvula de control automático de carga, tarjeta Shimadzu Assy, tarjeta de adquisición de datos *DAQ* y una tarjeta de acondicionamiento de señales *TAS*; localizados dentro de la caja de módulo de mando, conectados al cilindro de carga con mangueras de alta presión al Encoder y a la celda de carga con el respectivo cableado. El panel de operación principal es externo, ver Figura 12.

- a) Sensor de desplazamiento Encoder OIS66: Convierte el desplazamiento vertical de la mesa del conjunto de marco móvil en una señal de pulso de 0.005 mm/pulso, está ubicado dentro del módulo de carga, ver Figura 10.
- b) Celda de carga: Es un sensor de presión de alta precisión, sirve para medir la masa-fuerza aplicada por el cilindro como carga a la probeta, que entrega una señal de voltaje DC. Se encuentra ubicado dentro del módulo de carga, ver Figura 10.
- c) Bomba hidráulica: Ensamblada en el tanque de aceite es accionada por el motor eléctrico. Puede soportar altas presiones, es una bomba vertical tipo embolo con pocas pulsaciones, ubicada en el módulo de mando, ver Figura 12.

- d) Motor de accionamiento: motor que acciona la bomba hidráulica, se enciende/apaga por medio del panel de operación principal.
- e) Tanque de aceite: Fabricado en acero incorpora la bomba hidráulica, a un lado están ubicados el motor de la bomba y la válvula de control de carga, ubicada en el módulo de mando, ver Figura 12 b).
- f) Válvula de control de carga: Consiste en tres tipos de válvulas: reguladora de caudal, reguladora de presión y una de seguridad. Estas válvulas regulan el flujo de presión de aceite que alimenta el cilindro de carga luego de ser entregado por la bomba hidráulica, cuando este se descarga se encargan de regular el flujo del aceite del cilindro al tanque de aceite. Es operada por la perilla de control de carga. Esta hace parte del control manual del proceso, ver Figura 12 b).
- g) Válvula de control automático de carga: Es una válvula electromagnética proporcional ubicada en paralelo con la válvula de control de carga. Esta regula la velocidad de flujo de aceite al ser suministrado desde la bomba hidráulica al cilindro de carga por medio de un comando desde el módulo de mando. Está compuesta por tres electroválvulas : electroválvula de *activación* (Activa/desactiva la electroválvula de parada que habilita la válvula de control de caudal), *válvula de control de caudal* (Es una válvula electromagnética con control proporcional de caudal, que controla un flujo de aceite mediante el ajuste de una corriente que fluye a la electroválvula de carga y electroválvula de descarga) y *válvula de contrapresión* (Una válvula de presión de retorno es una válvula de presión diferencial constante que controla la velocidad de flujo al mantener una presión diferencial de un puerto de cilindro y un puerto de depósito antes de devolver el aceite de alta presión del cilindro de carga hasta el tanque de aceite). Esta hace parte del control automático del proceso, ver Figura 12 b).

Figura 12 Modulo de mando de máquina Shimadzu Universidad del Cauca



a) Parte externa módulo de mando

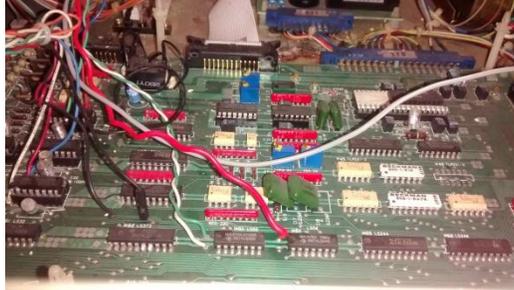


b) Parte interna módulo de mando

Fuente propia, septiembre de 2013

- h) *Tarjeta Shimadzu Assy* Tarjeta propia de la máquina Shimadzu que recibe y procesa las señales de los sensores y salidas a la válvula de control automático de carga, ver Figura 13.

Figura 13 Tarjeta Shimadzu Assy de máquina Shimadzu Universidad del Cauca



Fuente propia, septiembre de 2013

- i) Tarjeta adquisición de datos DAQ: Tarjeta de adquisición de datos NI DAQ 6008 de la National Instruments, con salidas/entradas analógicas y digitales, usada por estudiantes de la FIET en una anterior mejora, ver Figura 14.

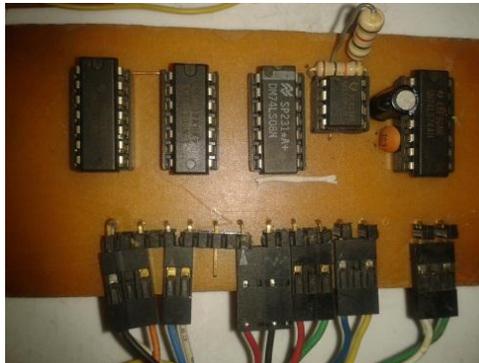
Figura 14 Tarjeta NI DAQ 6008



Fuente propia, octubre de 2013

- j) Tarjeta acondicionamiento de señales TAS: tarjeta realizada en la Universidad del Cauca por estudiantes de la Facultad FIET en el año 2000, que implementa circuitos de compuertas lógicas y un temporizador, ver Figura 15.

Figura 15 Tarjeta acondicionamiento de señales TAS



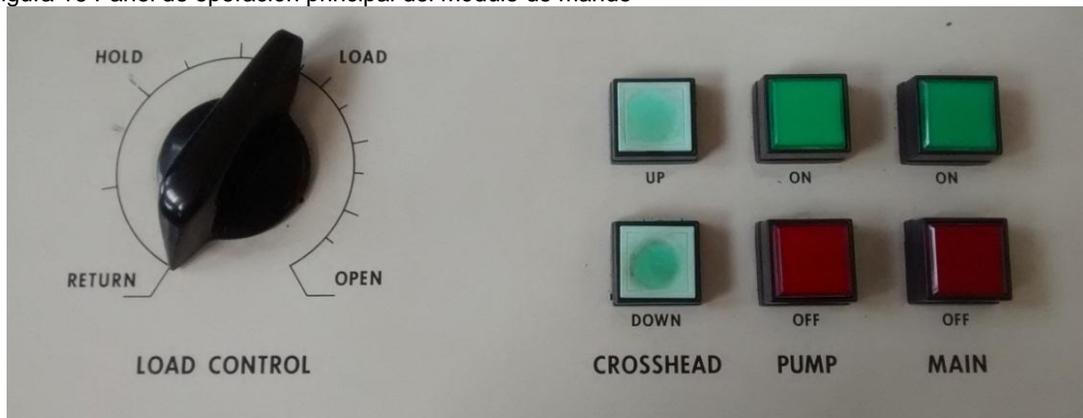
Fuente propia, octubre de 2013

- k) Panel de operación principal: ubicado en la parte superior del módulo de mando, está compuesto por interruptores que encienden/apagan la

alimentación de energía de la máquina y la bomba; permite la manipulación de los cabezales del marco móvil y una perilla de control de carga manual, ver Figura 16.

- *Interruptor Principal (MAIN)*
  - Interruptor ON: Enciende la alimentación de energía en la máquina, al presionarla se ilumina la luz piloto del botón.
  - Interruptor OFF: Apaga la alimentación de energía de la máquina, al presionarlo la luz piloto se apaga.
  
- Interruptor Bomba (PUMP)
  - Interruptor ON: Enciende el motor de la bomba de carga, al presionarlo se ilumina la luz piloto.
  - Interruptor OFF: Detiene el motor de la bomba de carga, al presionarlo se apaga la luz piloto.
  
- Interruptor Elevador de Cabezal(CROSSHEAD)
  - UP: Mueve el cabezal inferior hacia arriba, funciona solo si está presionado.
  - DOWN: Mueve el cabezal inferior hacia abajo, funciona solo si está presionado.
  
- Perilla de control de carga (LOAD CONTROL): Es una perilla de operación manual de la válvula de control de carga. Se maneja en un rango de Return-Open, indicado en el panel.

Figura 16 Panel de operación principal del módulo de mando



Fuente propia, octubre de 2013.

### 1.4.3 Modulo Indicador

Compuesto por un *display* que muestra el valor de carga, el pico máximo de carga, el porcentaje de rango de carga, la velocidad con la cual está siendo aplicada la carga, un botón de Reset, un selector de rango de carga, una perilla para el ajuste de cero y un botón de span, ver Figura 17.

Figura 17 Modulo Indicador de máquina Shimadzu Universidad del Cauca.



Fuente propia, septiembre de 2013.

- Display de carga: Muestra digitalmente el valor de carga aplicado en unidades de Tf (Toneladas/Fuerza), recuadro rojo, ver Figura 18.
- Display pico máximo de carga: Muestra la carga máxima del ensayo a la que fue puesta la máquina en unidades de Tf (Toneladas/Fuerza), recuadro verde, ver Figura 18.
- Display porcentaje de rango de carga: Muestra digitalmente el porcentaje de la carga que está siendo aplicada, recuadro azul, ver Figura 18.
- Display de velocidad de carga: Muestra digitalmente el incremento y decremento de la velocidad a medida que se aplica la carga (F.S/min), recuadro naranja, ver Figura 18.
- Botón de Reset: Resetea el valor que se encuentra en el *display* de máximo pico de carga, ver Figura 18.
- Selector de Rango de carga: Selecciona el rango de carga o tope máximo, se debe escoger una carga mayor a la que se utilizará de lo contrario se activaran los *breakers* de seguridad de la máquina, ubicados en la parte interna de la unidad de control, ver Figura 19.

Figura 18 Módulo de indicador de carga



Fuente propia, septiembre de 2013.

- g) Perilla para ajustar el cero de carga: Ajusta el valor de carga en el *display* para iniciar un ensayo desde un valor cero. Al girarlo a la derecha incrementa el valor y a la izquierda disminuye, ver Figura 19.
- h) Botón Span: Se utiliza para la calibración de la máquina, ver Figura 19.

Figura 19 Selector rango de carga y Zero



Fuente propia, septiembre de 2013.

- i) Perilla Span 1: Perilla para manipular el span de la señal de salida de la celda de carga del módulo indicador, se utilizan en la calibración de la máquina, ver Figura 20.
- j) Perilla cero 1: Perilla para manipular el cero de la señal de salida de la celda de carga del módulo indicador, se utiliza en la calibración de la máquina, ver Figura 20.
- k) Switch celda de carga: Activa la señal de salida de la celda de carga del módulo indicador, cuando se activada se enciende un led rojo sobre él, siempre debe estar encendida, ver Figura 20.

Figura 20 Span ,cero y activador de la señal de salida de la celda de carga



Fuente propia, septiembre de 2013

### 1.5 Ensayos en Máquina universal

Las propiedades mecánicas de los materiales son las características inherentes que permiten diferenciar un material de otros desde el punto de vista del comportamiento mecánico, entre estas características se destacan: la resistencia a esfuerzos, desgaste, dureza, etc. Debido a que cada material se comporta diferente, es necesario analizar su comportamiento mediante ensayos experimentales [7]. En cada ensayo hay términos importantes a tener en cuenta:

*Sistema de unidades básicas:* Existen sistemas de unidades estandarizados como el sistema métrico o sistema internacional de unidades (SI). Las magnitudes básicas son: Longitud, tiempo, fuerza, masa, temperatura y ángulo, ver Tabla 1 [8].

*Masa (m):* Se refiere a la cantidad de sustancia que hay en un cuerpo.

*Fuerza (f):* Acción de empujar o halar que se ejerce sobre un cuerpo, ya sea por una fuente externa o por gravedad.

*Peso (w):* Fuerza de atracción gravitacional sobre un cuerpo.

Tabla 1 Dimensiones básicas del sistema métrico decimal (SI)

MAGNITUD	UNIDAD SI	OTRAS UNIDADES METRICAS
Longitud	Metro (m)	Milímetro (mm)
Tiempo	Segundo (s)	Minuto (min), hora (h)
Fuerza	Newton(N)	Kilogramo fuerza (Kg-f)
Masa	Kilogramo(Kg)	
Temperatura	Grado Kelvin(K)	Grado Celsius (°C)

Fuente: Tomado de [8], octubre de 2013

*Esfuerzo:* Fuerza que actúa sobre un cuerpo y dependiendo a su acción se clasifica en: Tracción (estirar), Compresión (Comprimir), Flexión (Doblar), Corte (cortar) o Torsión (retorcer), expresado en una formula, el esfuerzo es la resistencia que ofrece un área unitaria (A) del material a una carga aplicada externa (fuerza, F) [8].

*Unidades de esfuerzo:* La unidad de esfuerzo en el sistema internacional es el pascal (Pa), mientras que en el sistema inglés es el psi.

*-Pascal (Pa):* Se define como la relación entre un Kilogramo x Newton sobre un metro cuadrado (KgN/m<sup>2</sup>), se utilizan prefijos como Megapascal (MPa) y el Kilopascal (kPa).

*-Psi (psi):* un psi se define como la relación entre una libra fuerza y una pulgada cuadrada, se utiliza también el ksi (1000 psi).

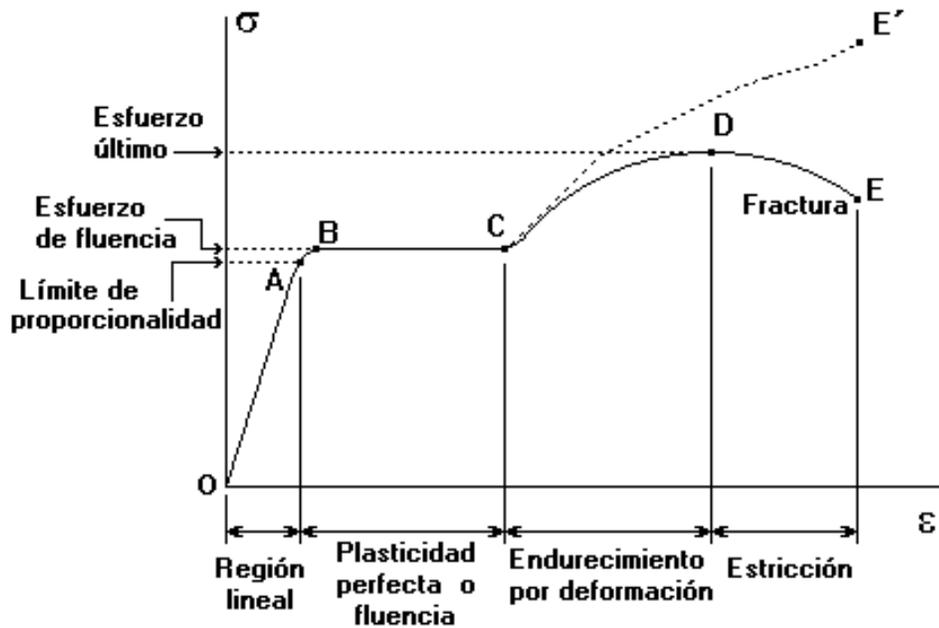
*Deformación unitaria:* La deformación convencional se define por la razón entre la elongación y la longitud inicial de la pieza, donde  $L_0$  = Longitud inicial de la pieza y  $L_f$  = Longitud final de la probeta.

*Ley de Hooke:* aplica solamente a la región lineal de los materiales y dice que el esfuerzo axial ( $\sigma$ ) es directamente proporcional a la deformación unitaria axial ( $\epsilon$ ) y que la constante de proporcionalidad entre los dos es el módulo de elasticidad (E).

### Diagrama Esfuerzo-Deformación

El diagrama de *Esfuerzo-Deformación*, ver Figura 21, es fundamental para determinar las propiedades físicas de los materiales. Para leer el diagrama se inicia en la línea recta desde O hasta A, en esta región el esfuerzo y la deformación son directamente proporcionales, el comportamiento del material es lineal, cumpliendo así con la Ley de Hooke. El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina módulo de elasticidad o de Young, es característico del material y está representado por la recta OA.

Figura 21 Diagrama Esfuerzo-Deformación de materiales dúctiles en tensión, compresión y flexión.



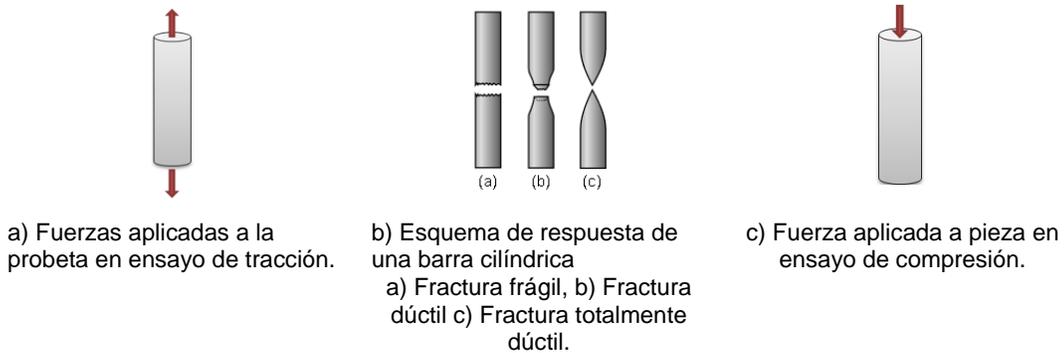
Fuente: Tomado de [7] , septiembre de 2013.

Después del punto A ya no existe una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, por lo que el esfuerzo en el punto A se denomina límite de proporcionalidad. Al incrementar la carga, pasando por el límite de proporcionalidad, la deformación empieza a aumentar rápidamente. La curva de esfuerzo de deformación asume luego una pendiente cada vez más pequeña, hasta que el punto B de la curva se vuelve horizontal. A partir de este punto se presenta un alargamiento considerable con incremento prácticamente inapreciable en la fuerza de tensión (desde B hasta C), entrando así en una región de fluencia. En la región B hasta C, el material se vuelve perfectamente elástico, lo que significa que puede deformarse sin un incremento en la carga aplicada. Luego pasa a la región de endurecimiento (C a D), durante este proceso el material sufre cambios físicos y atómicos, lo que origina un incremento en la resistencia del material a futuras deformaciones; por tanto un alargamiento adicional requiere de un incremento en la carga de tensión, tomando una pendiente positiva en esta región. Finalmente la carga alcanza su valor máximo y el esfuerzo correspondiente (D) denominado esfuerzo último. De hecho el alargamiento posterior de la barra se acompaña de una reducción en la carga y finalmente se presenta la fractura en un punto E [8].

### 1.5.1 Ensayo de Tracción

El objetivo del ensayo de tracción es determinar aspectos importantes de la resistencia y alargamiento de materiales, que sirven para el control de calidad y especificaciones de los mismos. Este ensayo se realiza alargando una pieza de geometría normalizada, que se ajusta a las mordazas de la máquina de ensayos. Una de las mordazas de la máquina está unida al cabezal móvil y se desplaza respecto a la otra con velocidad constante durante la realización del ensayo, ver Figura 22 a) [8].

Figura 22 Fuerzas aplicadas a probetas



Fuente propia, septiembre de 2013.

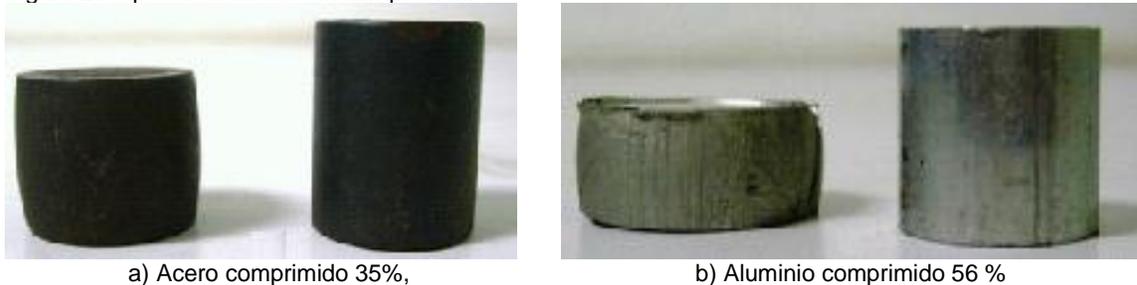
Luego de realizar una prueba de tensión y de establecer el esfuerzo y la deformación para varias magnitudes de la carga, se traza un diagrama de esfuerzo contra deformación. Tal diagrama es característico del material y proporciona información importante acerca de las propiedades mecánicas y el comportamiento típico del material. Existen diferentes clases de fracturas que puede sufrir la barra dependiendo al material y a sus características de ductilidad, ver Figura 22 b).

### 1.5.2 Ensayo de Compresión

En ingeniería, el ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante una fuerza aplicada en dirección de su eje longitudinal, se realiza comúnmente en hormigones y materiales metales, pero se puede realizar sobre cualquier material, ver Figura 22 c) [9].

En la Figura 23, se muestra la respuesta de piezas de diferente material al ser sometidas al ensayo de compresión.

Figura 23 Tipos de fracturas en compresión.

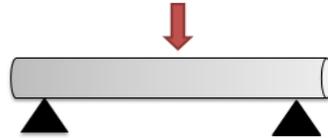


### 1.5.3 Ensayo de flexión

La flexión es un esfuerzo compuesto o combinado, de tracción y compresión. Las fuerzas actúan sobre una pieza de tal manera que tienden a inducir esfuerzos compresivos sobre una parte de una sección transversal y los esfuerzos tensivos sobre la parte restante, se dice que la pieza está en flexión.

Este esfuerzo puro o simple se obtiene de aplicar sobre un cuerpo una fuerza perpendicular a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos, ver Figura 24.

Figura 24 Fuerza aplicada a la pieza en ensayo de flexión.



Fuente propia, septiembre de 2013.

## 1.6 Modelado ISA S88

Con el fin de recopilar la información de forma organizada y detallada del proceso de ensayos realizado en la máquina Shimadzu se propone el estándar técnico ISA S88. Se desarrolló un modelo de proceso, modelo físico y modelo de control procedimental:

### 1.6.1 Modelo de proceso de la Máquina Shimadzu

En la Tabla 2 se observa el modelo de proceso, referenciando un proceso de ensayo destructivo, etapa, operaciones y acciones de proceso.

Tabla 2 Modelo de proceso de ensayo destructivo de la máquina Shimadzu

Proceso	Etapas	Operación	Acción	
Proceso de ensayo destructivo	Ensayo destructivo	Preparación de Máquina	Ubicar probeta	
			Ajustar mordazas	
			Ajustar cero de carga	
			Seleccionar rango de carga	
		Prueba	Manipular válvula:	Control de carga
				Control automático de carga
			Visualizar datos de la carga	
Resultados	Registrar datos de carga			

Fuente propia, marzo de 2014

### 1.6.2 Modelo físico de la máquina Shimadzu

En la Tabla 3 se observan los cuatro niveles más bajos del modelo físico ISA S88, compuesto de la celda de proceso “Sistema de ensayo destructivo”, junto con la agrupación de equipo que permiten cumplir el proceso de ensayo.

Tabla 3 Modelo Físico de la máquina Shimadzu

Celda de proceso	Unidad	Módulo Equipo	Módulo Control	
Sistema de ensayo destructivo	Unidad de Ensayo destructivo	Módulo de Carga	Conjunto marco fijo	
			Conjunto marco móvil	
			Motor marco móvil	
			Mordazas	
			Aditamentos	No.1
				No.2
		No.3		
		Módulo de Mando	Encoder	
			Celda de carga	
			Tanque de aceite	
			Bomba hidráulica	
Cilindro de carga doble efecto				

			Válvula de control de carga	Válvula reguladora de caudal	
				Válvula reguladora de presión	
				Válvula de seguridad	
			Válvula control automática de carga:	Electroválvula de activación (Sol C)	
				Válvula de control de caudal	Electroválvula de carga Sol A
					Electroválvula de descarga Sol B
				Válvula de contrapresión	
			Tarjeta Shimadzu Assy		
			Tarjeta de adquisición de datos DAQ		
			Tarjeta acondicionamiento de señales TAS		
		Panel de operación principal	Interruptor Principal (MAIN)		
			Interruptor Bomba (PUMP)		
			Interruptor Elevador Cabezal (CROSSHEAD)		
			Perilla de control de carga (LOAD CONTROL)		
		Modulo indicador	Display de carga (toneladas/fuerza)		
			Display máximo de carga (toneladas/fuerza)		
			Indicador de velocidad del ensayo		
			Botón Reset		
			Display de rango de carga		
			Perilla de ajuste de cero de carga		
Selector rango de carga					
Botón Span					
Perilla Span 1					
Perilla cero 1					
Switch celda de carga					

Fuente propia, marzo de 2014

### 1.6.3 Modelo de control procedimental de la Máquina Shimadzu

A partir de los modelos de proceso y físico, además de las definiciones de la norma ISA S88 se determina el modelo de control de procedimientos, según las definiciones de ISA S88 [10].

- **Modelo de control procedimental para ensayo de Tensión**

El modelo de control procedimental para el ensayo de tensión se describe en la Tabla 4.

Tabla 4 Modelo de control procedimental para ensayo de Tensión

Procedimiento	Procedimiento de Unidad	Operación	Fase	
Ensayo de tensión	Ensayar probeta	Preparar máquina	Ubicar probeta	
			Ajustar probeta con mordazas	
			Ajustar cero de la carga	
			Seleccionar rango de la carga	
		Realizar prueba	Manipular válvula:	Control de carga
				Control automático de carga
			Visualizar datos en máquina	
		Resultados	Registrar datos manualmente	

Fuente propia, marzo de 2014

- **Modelo de control procedimental para ensayo de compresión**

El modelo de control procedimental para el ensayo de compresión se describe en la Tabla 5.

Tabla 5 Modelo de control procedimental para ensayo de compresión

Procedimiento	Procedimiento de Unidad	Operación	Fase	
Ensayo de compresión	Ensayar probeta	Preparar máquina	Ubicar aditamento N.1 sobre cabezal inferior del conjunto de marco fijo	
			Ajustar aditamento N.1 con mordazas	
			Ubicar probeta sobre mesa del conjunto de marco móvil	
			Ajustar cero de carga	
			Seleccionar rango de la carga	
		Realizar prueba	Manipular válvula:	Control de carga
				Control automático de carga
			Visualizar datos en máquina	
Resultados	Registrar datos manualmente			

Fuente propia, marzo de 2014

- **Modelo de control procedimental para ensayo de flexión**

El modelo de control procedimental para el ensayo de tensión se describe en la Tabla 6.

Tabla 6 Modelo de control procedimental para ensayo de flexión

Procedimiento	Procedimiento de Unidad	Operación	Fase
Ensayo de probeta	Ensayar	Preparar máquina	Ubicar aditamento N.2 sobre cabezal inferior del conjunto de marco fijo
			Ubicar aditamento N.3 sobre mesa del conjunto de marco móvil
			Ubicar elemento a ensayo sobre aditamento N.3
			Ajustar Ceros de carga
			Ubicar probeta sobre mesa de módulo de carga
			Ajustar cero de carga
			Seleccionar rango de la carga
		Realizar prueba	Manipular válvula:
	Control automático de carga		
	Visualizar datos en máquina		
Resultados	Registrar datos manualmente		

Fuente propia, marzo de 2014

### 1.7 Diagnóstico de automatización

En comparación con las prensas modernas la Máquina 'Shimadzu' quedó limitada al no disponer de funciones que, en la actualidad, son de gran necesidad para quienes la utilizan. La máquina permite la toma de datos por parte del usuario, para ello este debe controlar y registrar manualmente las variables del proceso durante el ensayo y posteriormente dibujarlas en Excel. En un principio la máquina disponía de una unidad de control y de procesamiento de datos que permitía control automático y graficar datos en papel. La unidad de control podía manipular la válvula de control automático de carga según el modo de operación y condiciones preestablecidas, esta generaba una señal de referencia que comparaba con un valor actual, calculaba un valor de salida equivalente a su desviación que luego era enviada a la válvula de control automático de carga. Esta unidad permitía: control del recorrido vertical a velocidad constante, control de carga a velocidad constante, control de carga en un ensayo de tracción en un material metálico y control de

tensión a velocidad constante, esta última exige un extensómetro y amplificador externos, los cuales no fueron adquiridos y este tipo de control no fue utilizado; la unidad de procesamiento de datos “Dataletty 402” graficaba en papel la curva carga vs desplazamiento, a esta última se le configuraban parámetros que aumentaban la dificultad en el funcionamiento de la máquina en modo automático; la manipulación de la unidad de control era complicada, también se le configuraban varios parámetros y la persona encargada de su manejo no tenía el suficiente conocimiento para hacer funcionar la máquina en el modo automático. Los responsables del laboratorio nunca recibieron una adecuada capacitación que les permitiese aprovechar al máximo las capacidades de la máquina, por lo que se limitaron a usarla simplemente en su modo manual. Las nuevas prensas usan interfaces conectadas a sistemas de cómputo digitales que permiten adquisición de datos, visualización de curvas de histéresis en tiempo real, gráficas de comportamiento de materiales, etc. donde no solo se registran datos, también se presenta toda serie de gráficas y tablas que permiten un mejor análisis de resultados, ver Figura 9 [6]. En el año 2000 el Departamento de Estructuras de la FIC al analizar las “limitaciones” de la máquina y su elevado costo, propuso un proyecto de adecuación que supliera las necesidades de funcionamiento para ello se propuso retirar la unidad de control por una “unidad de control emulada” pero con modernas funcionalidades. Esta se llevó a cabo con un grupo de estudiantes del PIAI de la FIET, que en forma independiente, realizó una mejora tecnológica para eliminar la complejidad de uso de la unidad de control; esta se desconectó y en su lugar se implementó un HMI<sup>6</sup> y una tarjeta electrónica que por medio de una DAQ<sup>7</sup> se comunica con la máquina para poder usarla en modo automático y manual; permitiendo graficar y exportar los datos de los ensayos, pero aparentemente nunca lograron ponerla a operar en modo automático, por lo que la entregaron graficando y exportando datos solo en el modo manual<sup>8</sup>, sin embargo debido a que las mejoras no fueron documentadas, no se realizó un debido acompañamiento a los usuarios ni se garantizó un servicio postventa, en el momento en que las mejoras tecnológicas empezaron a requerir mantenimiento, no se disponía de soporte técnico ni se sabía cómo hacerlo, por lo que al poco tiempo el HMI dejó de funcionar. En la actualidad la mejora tecnológica realizada en el año 2000 a la máquina no se encuentra en funcionamiento, las herramientas software usadas están desactualizadas, el PC obsoleto, la tarjeta con fallas y los cables de datos desconectados [11]. En este proceso de diagnóstico se realizaron los siguientes pasos:

1. Reconocimiento visual interno y externo de la máquina Shimadzu
2. Verificación de funcionamiento de la máquina Shimadzu
3. Verificación de funcionamiento de elementos externos a la máquina Shimadzu

---

<sup>6</sup> Interfaz de usuario

<sup>7</sup> Tarjeta de Adquisición de datos

<sup>8</sup> El modo automático reconectando la unidad de control no se pudo volver a implementar debido a las alteraciones que sufrió la tarjeta Shimadzu Assy durante la mejora tecnológica.

1) Se realizó un reconocimiento visual (interno y externo) de los elementos de la máquina Shimadzu guiados por el manual técnico [12] y del encargado del laboratorio de estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil encontrándose:

A nivel externo se observa que la máquina está compuesta según lo consignado en el numeral 1.4, por sus tres módulos de los cuales se visualizó: el módulo de carga, modulo indicador y módulo de mando; se encontró el panel de operación principal concluyendo que su estructura física se encuentra en buen estado.

A nivel interno se identificaron los siguientes instrumentos y accesorios:

- Sensor de desplazamiento Encoder [Ref. OIS66Series]
- Celda de carga [Ref. NVS-401-2904]
- Tanque de aceite
- Bomba Hidráulica
- Cilindro de carga doble efecto
- Válvula de control de carga
- Válvula control automático de carga:
  - Electroválvula de activación (Sol C)
  - Válvula de control de caudal
    - Electroválvula de carga (Sol A)
    - Electroválvula de descarga (Sol B)
- Tarjeta Shimadzu Assy

Adicionalmente se identificaron elementos no pertenecientes a la máquina como: Tarjeta de Adquisición de datos DAQ 6008\_National Instruments, ver Figura 14 y una Tarjeta de Acondicionamiento de señales, ver Figura 15.

2) Se realizó un protocolo para probar el funcionamiento de la máquina en modo manual y automático, ver ANEXO B: “PROTICOLO DE VERIFICACION DEL SISTEMA HIDRAULICO DE LA MAQUINA SHIMADZU”, se verifico el funcionamiento de la máquina y de los instrumentos y accesorios encontrándose lo siguiente:

- Modo Manual (modo 1)  
La máquina Shimadzu opera bien en modo manual. Se ejecutó el protocolo realizando un ensayo de tensión evidenciando el buen funcionamiento de todos los componentes del módulo de carga, módulo indicador y del módulo de mando: celda de carga, tanque de aceite, bomba hidráulica, cilindro de carga de doble efecto, válvula de control de carga y el panel de operación principal.
- Modo Automático (modo 2)  
La máquina Shimadzu no opera en modo Automático. A esta no se le puede reconectar la unidad de control necesaria para habilitar esta funcionalidad. En el proyecto de adecuación del año 2000 se la retiro y se intentó diseñar una mejora tecnológica para emularla, sin embargo al ejecutarse el protocolo realizado se encontró que la tarjeta Shimadzu

Assy, sensor de desplazamiento, Encoder, Válvula control automático de carga, Tarjeta de adquisición de datos DAQ, Tarjeta acondicionamiento de señales TAS no estaban operando en el modo automático, aparentemente por falta de alimentación de la tarjeta Shimadzu Assy. Se procedió a energizar la tarjeta Shimadzu Assy y al realizarlo se bloqueó la máquina encontrando que la válvula de control automático de carga que va conectada a esta tarjeta era la que provocaba el bloqueo de la máquina, se desconectó y se desbloqueó la máquina, sin embargo el modo automático definitivamente no es operativo. Se vuelve a ejecutar el protocolo y se verifica el buen funcionamiento de la válvula de control automático de carga, ver ANEXO B: "PROTOCOLO DE VERIFICACION DEL SISTEMA HIDRAULICO DE LA MAQUINA SHIMADZU".

### 3) Verificación de funcionamiento de elementos externos a la máquina Shimadzu.

Se estudió cada elemento adicionado en la mejora tecnológica del año 2000 para saber su funcionalidad y el estado en que se encuentran. Los elementos externos a la Shimadzu son:

- La tarjeta DAQ 6008
- La tarjeta de acondicionamiento de señales TAS
- El computador y software

Luego se estudió cada elemento para saber su funcionalidad y el estado en que se encuentran realizando los siguientes pasos:

1. Se configuró un computador propio con el software labview2009 y controladores necesarios para trabajar con la DAQ 6008.
2. Luego se procedió a conectar la DAQ al computador y se realizó un test de estados de los canales de los puertos digitales y análogos de la tarjeta y con esto se verifico que todos los puertos de la tarjeta DAQ se encuentran en buen estado de funcionamiento.
3. Se realizó un estudio de la tarjeta de acondicionamiento de señales TAS encontrando que está compuesta de integrados de compuertas flip-flop y que esta tarjeta se habría utilizado para manipular los solenoides de la válvula de control automático y para obtener el cambio de sentido del sensor de desplazamiento encoder. Su análisis está consignado en el ANEXO D: "TARJETA DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES "TAS"."

## **CAPITULO 2. DISEÑO**

Para realizar una adecuada descripción del proceso, se hizo uso de la fase de documentación de un proyecto de ingeniería en automatización, la cual consta de una ingeniería conceptual, básica y detallada. La ingeniería conceptual describe y explica el proceso que se realiza en la máquina, describiendo variables, esquema de control e instrumentación actual. En la Ingeniería Básica se diseña la propuesta de monitoreo y supervisión y en la ingeniería de detalle se consigna todos los planos y montajes de implementación.

### **2.1 Ingeniería Conceptual**

#### **2.1.1 Descripción del proceso**

**Nombre del proceso:** Ensayo de probetas en máquina Shimadzu.

La máquina universal Shimadzu es una prensa hidráulica que realiza tres pruebas de ensayo: tracción, compresión y flexión, para cada uno de estos ensayos se toman datos de presión y desplazamiento para realizar las gráficas correspondientes y su respectivo análisis.

La prueba de ensayo de tracción consiste en sujetar entre las mordazas de los cabezales del módulo de carga una probeta, ajustarla por medio de la palanca de tal forma que quede asegurada, luego se aplica la carga por medio de la perilla de mando, manipulando la válvula de control de carga, regulando el flujo de aceite que alimenta el cilindro de carga luego de ser entregado por la bomba hidráulica. El ensayo culmina cuando la probeta se destruye.

La prueba de ensayo de compresión consiste en comprimir un material, con ayuda del aditamento No.1 (ver Figura 11), este se ubica en el cabezal inferior del marco de móvil del módulo de carga, colocando la probeta sobre la mesa del módulo de carga de forma centrada y equivalente para evitar sobrecarga para un lado de la probeta, de esta forma se manipula la perilla de mando, manipulando la válvula de control de carga, regulando el flujo de aceite que alimenta el cilindro de carga luego de ser entregado por la bomba hidráulica. El ensayo concluye en el momento en el que la probeta queda comprimida.

La prueba de ensayo de flexión consiste en aplicar presión al centro de una probeta, con la ayuda del aditamento No.2, (ver Figura 11) este se ubica en el cabezal inferior del marco de móvil del módulo de carga, la pieza se ubica sobre el aditamento No.3 (ver Figura 11), situado sobre la mesa del módulo de carga, de esta forma se manipula la perilla de mando, manipulando la válvula de control de carga, regulando el flujo de aceite que alimenta el cilindro de carga luego de ser entregado por la bomba hidráulica. El ensayo concluye en el momento en el que la probeta queda doblada o se rompe por la fuerza aplicada.

#### **2.1.2 Descripción de la planta**

La máquina universal de ensayos marca Shimadzu, Tipo UDH, con capacidad de 1T (tonelada) a 50T (toneladas), está compuesta por tres módulos:

##### **Módulo de carga**

Es la estructura donde se ubican las probetas a ser ensayadas compuesta por el conjunto de marco fijo, conjunto marco móvil, motor marco móvil, cilindro de carga, mordazas y aditamentos.

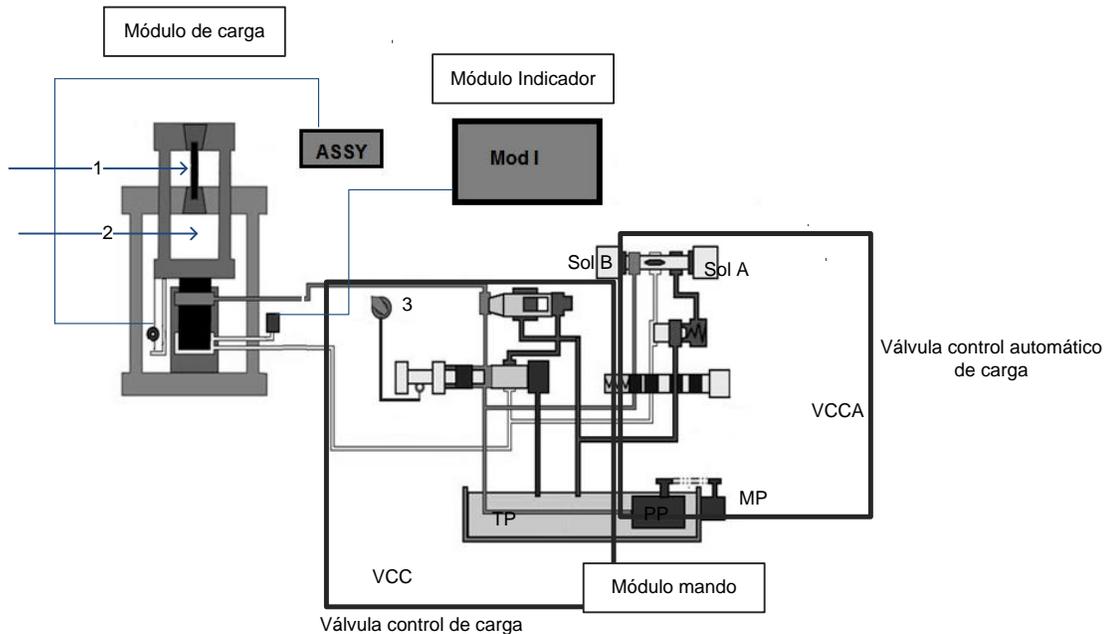
### Módulo de mando

Compuesta por sensor de desplazamiento, celda de carga, bomba hidráulica, tanque de aceite, motor de accionamiento, válvula de control de carga, válvula de control automático de carga, tarjeta Shimadzu Assy, tarjeta de adquisición de datos DAQ y una tarjeta de acondicionamiento de señales TAS; localizados dentro de la caja de módulo de mando y conectados al cilindro de carga con mangueras de alta presión y al Encoder y celda de carga con el respectivo cableado. El panel de operación principal es externo.

### Modulo Indicador

Compuesto por un *display* que muestra el valor de carga, el pico máximo de carga, el porcentaje de rango de carga, la velocidad con la cual está siendo aplicada la carga, un botón de *reset*, un selector de rango de carga, una perilla para el ajuste de cero y un botón de *span*, en la Figura 25 se muestra el diagrama de flujo del proceso de la máquina Shimadzu, especificando cada módulo con sus correspondientes conexiones, en esta parte se muestra la entrada de la probeta a ensayar, ya sea para ensayo de tensión (1) o para ensayo de flexión o compresión (2); para iniciar el ensayo es necesario manipular la perilla de carga (3), la cual permite manipular el flujo de aceite que se transfiere a la válvula de control de carga en el módulo de mando.

Figura 25 Diagrama de flujo de proceso de la máquina Shimadzu



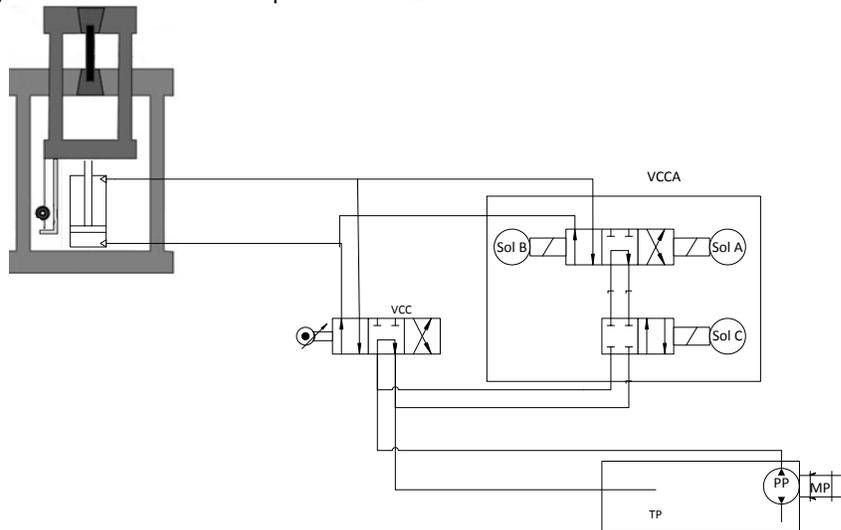
Fuente propia, marzo de 2014

En la Figura 26 se describe el diagrama hidráulico de la máquina Shimadzu compuesta por una bomba hidráulica que suministra flujo de aceite a la válvula de control de carga VCC y a la válvula de control automático de carga VCCA que a su vez está compuesta por tres electroválvulas que permiten el funcionamiento de la máquina; electroválvula de activación Sol C, electroválvula de carga Sol A y electroválvula de descarga Sol B, que accionan el cilindro del

módulo de carga permitiendo realizar el ensayo determinado; El sistema puede operar en dos modos, en el modo 1 el usuario, una vez enciende la máquina y la bomba hidráulica, manipula la perilla de la válvula control de carga VCC para fijar la carga a aplicar; con ello el aceite fluye desde el tanque de aceite TP de la bomba hidráulica, hacia la válvula de control de carga y según la apertura de la perilla suministra un flujo determinado hacia el cilindro de carga, el cual aplica carga al ensayo; al girar la perilla en sentido contrario el cilindro deja de aplicar carga y vuelve a su estado inicial y el aceite se devuelve al tanque.

En modo 2, se realiza la manipulación de la válvula de control automático de carga por medio de la unidad de control propia de la máquina, la cual por medio de la configuración de parámetros pertinentes permitía la activación de la electroválvula de activación Sol C y el funcionamiento de las electroválvulas de carga Sol A o descarga Sol B según el requerimiento necesario; para que haya un flujo de aceite pertinente hacia el cilindro con respecto a la orden de la unidad de control.

Figura 26 Diagrama hidráulico de la máquina Shimadzu



Fuente propia, marzo de 2014

### 2.1.3 Variables controladas y manipuladas del proceso de ensayo

De acuerdo a la descripción del proceso realizada en la sección anterior, se identificó una variable controlada: Presión de carga, una variable manipulada: Flujo del aceite, y un disturbio no crítico: Agarre de las mordazas en la probeta; a continuación se describe cada una de las variables.

*Variable controlada:* Carga, es controlada por el usuario por medio de la perilla de control de carga, abriendo o cerrando la válvula de control de carga, en unidades de Toneladas Fuerza.

*Variables Manipuladas:* Flujo de aceite, manipulado por medio de las válvula de control de carga en unidades de volumen  $m^3/s$

*Disturbio no crítico:* En el ensayo de tensión se presenta un disturbio en el agarre de las mordazas, presenta un pequeño deslizamiento al iniciar el ensayo en los extremos de la probeta, se mide en milímetros (mm).

En el ensayo de compresión y flexión, la probeta debe ser asegurada de forma centrada, para que no se presenten inclinaciones a un lado de la probeta y el ensayo quede registrado de la mejor manera.

#### 2.1.4 Listado de Equipos, Instrumentos y accesorios de la máquina Shimadzu.

En la Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9 se listan los equipos, instrumentos y elementos de maniobra que hacen parte de la máquina Shimadzu.

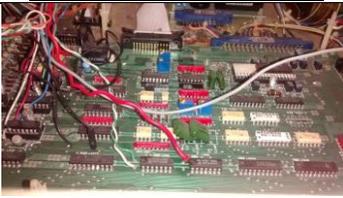
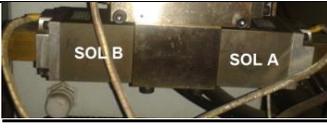
Tabla 7 Listado de Equipos de la máquina Shimadzu

Equipo y descripción	Imagen	Referencia
<p><b>Máquina ensayos Universal</b></p> <p>Compuesta por módulo de carga, módulo de mando, módulo indicador. En el momento del diagnóstico la máquina se encuentra en funcionamiento manual.</p>		<p>UDH 50 P/No. 600 242-03 L/No. 343 00754-04 Serial: 600242 Shimadzu Corporation Kyoto-Japan</p>
<p><b>Computador de mesa</b></p> <p>Computador que recibe señales de tarjeta DAQ, por medio de comunicación USB. En el momento del diagnóstico no se encontraba estaba en funcionamiento.</p>		<p>Marca <i>Dell</i> Características: Sistema operativo XP Intel Pentium -32 bits</p>
<p><b>Tarjeta de adquisición de datos DAQ</b></p> <p>En el momento del diagnóstico no estaba funcionando, tenía los cables de entradas y salidas de señales desconectados.</p>		<p>Marca: NI DAQ 6008 National Instruments</p>

Fuente propia, octubre de 2013

Tabla 8 Listado de Instrumentos de la máquina Shimadzu

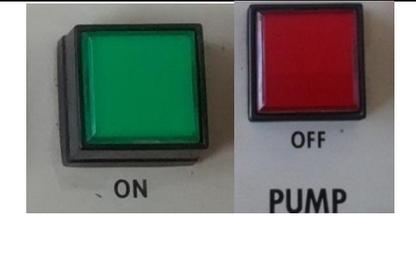
Instrumento/Accesorio y Descripción	Imagen	Referencia
<p><b>Bomba hidráulica</b></p> <p>Convierte la energía mecánica en energía hidráulica, al incrementar la energía del fluido (aceite), aumenta su presión y velocidad, moviendo el cilindro hidráulico.</p>		<p>Ref. 3567876 Serie: 46875 Marca Toshiba Corporation Tokio-Japan.</p>

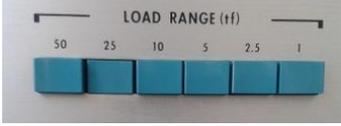
<p><b>Motor de bomba hidráulica</b></p> <p>Motor trifásico de inducción de la bomba hidráulica. En el momento del diagnóstico la máquina se encuentra en funcionamiento.</p>		<p>Ref. 713337 Serie: 31105 Marca Toshiba Corporation Tokio-Japan.</p>
<p><b>Motor marco móvil</b></p> <p>Motor trifásico de inducción que permite el movimiento del marco móvil. En el momento del diagnóstico la máquina se encuentra en funcionamiento.</p>		<p>Serie No. 7554421 BRG. No 6205ZZ Marca: Yaskawa Electric Japan Tipo: EELQ-57</p>
<p><b>Cilindro hidráulico</b></p> <p>Actuador mecánico usado para dar fuerza a través de un recorrido lineal, obtiene energía del fluido hidráulico presurizado (aceite). En el momento del diagnóstico la máquina se encuentra en funcionamiento.</p>		<p>Marca Toshiba Corporation Tokio-Japan.</p>
<p><b>Encoder incremental</b></p> <p>Es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Voltaje funcionamiento: 5v</p>		<p>Ref.OIS66S Serie: A2434 Fabricado por: Tamagawa Seiki Co. LTDA</p>
<p><b>Celda de carga</b></p> <p>Transductor que convierte una fuerza en una señal eléctrica, la fuerza que se desea medir deforma una galga extensiométrica, la cual convierte el desplazamiento en señales eléctricas. Cap.: 200 T/kF. En el momento del diagnóstico la máquina se encuentra en funcionamiento.</p>		<p>Tipo: NVS-401-2904 Serie No: M749980 Date: 1382-19</p>
<p><b>Tarjeta Shimadzu Assy</b></p> <p>Tarjeta original de la máquina que comunica el encoder con la tarjeta acondicionadora de señales TAS. En el momento del diagnóstico no estaba funcionando, presentaba bloqueos esporádicos.</p>		<p>343-00790 Assy 343-74387B Board Marca Toshiba Corporation Tokio-Japan.</p>
<p><b>Válvula de Activación Sol C</b></p> <p>Es una válvula distribuidora 3/2 (3vías,2 posiciones), Funciona por medio de un voltaje de: 24VDC, 11m/m, 4Kg</p>		<p>Ref. No. 611201 Serie No. SMD-4A Fabricado por: SANMEI electric.co japan</p>
<p><b>Válvula de carga y descarga: Sol A y Sol B</b></p> <p>Encargadas de activar o desactivar el paso de flujo al cilindro 12v,10 m/m, 6 kg</p>		<p>Ref. No. 870502 Serie D.3.5s -123 Fabricado por: SANMEI electric.co japan</p>

<p><b>Tarjeta acondicionadora de señales TAS</b></p> <p>Condiciona la señal del encoder, al momento de realizar el diagnóstico de la máquina no estaba en funcionamiento. Maneja un voltaje de 5v DC.</p>		<p><b>Genérico</b></p>
<p><b>Contactador de la máquina</b></p> <p>Sistema de protección de la máquina, cuando se llega al tope máximo de carga planteado inicialmente, automáticamente desactiva el paso de energía, está funcionando en el momento del diagnóstico.</p>		<p>Marca: Mitsubishi</p>
<p><b>Fuente de 24 v</b></p> <p>Fuente de alimentación de 24 v, al momento de verificar su estado se detecta que no está en funcionamiento Max DC 4.5 A</p>		<p>Modelo EC-II Nemic Lambda Made in Japan</p>

Fuente propia, Octubre de 2013

Tabla 9 Listado de elementos de maniobra y descripción

Elemento de maniobra	Imagen
<p><b>Pulsador verde para encender la máquina</b> Ubicado sobre el panel de operación principal, al ser accionado prende la máquina, está funcionando en el momento del diagnóstico</p> <p><b>Pulsador rojo para Apagar la máquina</b> Ubicado sobre el panel de operación principal, al ser accionado apaga la máquina, está funcionando en el momento del diagnóstico</p>	
<p><b>Pulsador verde para encender la bomba de la máquina</b> Ubicado sobre el panel de operación principal, al ser accionado enciende el motor de la bomba hidráulica, está funcionando en el momento del diagnóstico.</p> <p><b>Pulsador piloto rojo para apagar la bomba de la máquina</b> Ubicado sobre el panel de operación principal, al ser accionado apaga el motor de la bomba hidráulica, está funcionando en el momento del diagnóstico.</p>	
<p><b>Pulsador verde para subir cabezal de la máquina</b> Ubicado sobre el panel de operación principal, al ser accionado manipula el motor del marco móvil direccionándolo hacia arriba del módulo de carga, está funcionando en el momento del diagnóstico.</p> <p><b>Pulsador verde para bajar la máquina</b> Ubicado sobre el panel de operación principal, al ser accionado manipula el motor del marco móvil direccionándolo hacia abajo del módulo de carga, está funcionando en el momento del diagnóstico.</p>	

<p><b>Pulsador rango carga de la máquina</b></p> <p>Ubicado sobre el Modulo Indicador, tiene un rango de carga entre 1 y 5<sup>o</sup> toneladas, se encuentra en funcionamiento en el momento del diagnóstico.</p>	
<p><b>Pulsador Reset memoria de la máquina</b></p> <p>Está ubicado en el módulo indicador. Elimina el valor máximo de carga que queda registrado en el display de carga, se encuentra en funcionamiento en el momento del diagnóstico.</p>	
<p><b>Perilla ajuste zero de la máquina (Plateada)</b></p> <p>Permite cuadrar el valor de carga en cero, para iniciar el ensayo bajo parámetros iniciales, se encuentra en funcionamiento en el momento del diagnóstico.</p>	
<p><b>Perilla control de carga de la máquina (Negra)</b></p> <p>Perrilla de manipulación de la carga de la máquina, se encuentra sobre el panel de operación principal, está funcionando en el momento del diagnóstico.</p>	
<p><b>Switch Celda de carga</b></p> <p>Switch que activa la señal de salida de la celda del módulo indicador, debe estar encendida durante el ensayo, está funcionando en el momento del diagnóstico.</p>	
<p><b>Fuente de alimentación</b></p> <p>Es un toma corriente (220v), se deben encender antes de iniciar el uso de la máquina y apagar para aislar la máquina de cualquier fuente de energía, está funcionando en el momento del diagnóstico.</p>	

Fuente propia, Octubre de 2013

### 2.1.5 Requerimientos del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu

En este proyecto se propone el diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo y supervisión del proceso de ensayo de probetas que se realiza en la máquina Shimadzu del Laboratorio de estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca. Para determinar las características de este sistema, se revisaron los objetivos propuestos en el anteproyecto y el diagnóstico previo de la máquina, obteniéndose el siguiente conjunto de requerimientos:

### **a) Requerimientos de Automatización**

1. Diseñar e implementar un sistema de monitoreo y supervisión para la máquina Shimadzu que permita un modo de funcionamiento en automático de la misma (modo 2) y en manual (modo 1) al igual que la grabación en video digital de los diferentes ensayos.
2. Aplicar la norma ISA 88 para modelar el proceso de ensayos de la máquina Shimadzu y estandarizar la definición de este, teniendo en cuenta las extensiones de la norma que se refieren a procesos continuos y discretos.
3. Dibujar el diagrama de mando y potencia de la máquina Shimadzu
4. Hacer uso de normas técnicas industriales para documentar un proyecto de ingeniería en automatización.

### **b) Requerimientos Hardware**

Para la implementación del modo de funcionamiento automático de la máquina Shimadzu (modo 2) se debe:

1. Utilizar el computador que se encuentra en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil como el módulo de procesamiento del sistema de supervisión y monitoreo, para visualizar las variables del sistema como encoder y celda de carga.
2. Hacer uso de la DAQ 6008 de la National Instruments, como módulo de adquisición de datos del encoder y de la celda de carga
3. Utilizar las funciones que sirvan de la tarjeta TAS realizada en la pasada mejora para los acondicionamientos necesarios.
4. Acoplar la válvula de control automático de carga por medio de la DAQ 6008.
5. Hacer uso de una cámara webcam para el requerimiento software (6).

### **c) Requerimientos Software**

El sistema de monitoreo y supervisión debe tener una interfaz HMI que permita configurar los modos de operación de la máquina; obtener las señales de la celda de carga y del encoder; interactuar con la válvula de control automático de carga; visualizar datos del ensayo; exportar y guardar los datos de las variables medidas y captura, despliegue y grabación de video del ensayo. Esto se resume en:

Implementar un HMI con las siguientes características:

Que permita escoger un modo de funcionamiento del sistema, sea modo 1 o modo 2, según el modo de funcionamiento:

1. Visualizar los pasos a seguir para realizar los ensayos en modo 1 (Manual) o modo 2 (Automático).
2. Permitir el registro de datos de las características del ensayo como:
  - Tipo de ensayo

- Tipo de material
  - Forma del material
  - Longitud inicial
3. Adquirir datos del encoder y celda de carga
  4. Manipular la válvula de control automático de carga en modo 2.
  5. Graficar la curva de Carga vs Desplazamiento
  6. Implementar un sistema grabación, visualización y almacenamiento en video de los ensayos.
  7. Configuración de parámetros como:
    - Ganancia Carga
    - Offset de la gráfica de carga
    - Rango de carga
  8. Exportar a un archivo en Excel los datos de presión, desplazamiento, cantidad de datos, fecha de realización ensayo, tipo de ensayo, tipo de material ensayado, forma del material, longitud inicial y grafica de presión vs desplazamiento.
  9. Todo ello implementado en Labview.

## **2.2 Ingeniería Básica**

La Ingeniería Básica es una profundización del análisis realizado en la ingeniería conceptual basándose en los requerimientos de software, hardware y automatización previos para proponer un diseño de ingeniería, que implica:

- Etiquetamiento de los equipos, instrumentos y accesorios que hacen parte del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu.
- Realización del diagrama en bloques del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu.
- Realización del diagrama de flujo del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu.
- Elaboración del diagrama PI&D del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu.

### **2.2.1 Elementos hardware del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu**

Una vez definidos los requerimientos hardware del proyecto se procedió a darles cumplimiento, para ello se decidió:

- Usar y adecuar el computador DELL existente como módulo de procesamiento para el sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu usando una programación en Labview.
- Acoplar las señales del encoder y de la celda de carga al PC por medio de la tarjeta DAQ 6008, para ser visualizadas, tomar los datos y realizar las gráficas correspondientes del ensayo.

En el proceso de acoplar las señales del encoder se identificó la necesidad de un circuito de acondicionamiento para determinar su sentido de giro, tras el diagnóstico se analizó la tarjeta TAS y se decidió usar el circuito Flip Flop disponible en la misma para esa tarea.

- Manipular las electroválvulas que hacen parte de la válvula de control de carga automático al PC por medio de la tarjeta DAQ 6008.

En el proceso de gobernar las electroválvulas de la máquina Shimadzu desde el PC se analizaron dos opciones: 1) identificar las señales de mando de las electroválvulas disponibles de la tarjeta ASSY y manipularlas desde la DAQ 6008, 2) gobernar directamente las electroválvulas. La primera opción se descartó por carencia de información detallada de la electrónica de la tarjeta ASSY. Para la segunda opción se requirió diseñar una tarjeta de control y potencia que recibe las señales de mando desde la DAQ 6008 y manipula la potencia de cada una de las tres electroválvulas tres señales discretas.

A continuación se describirá los equipos, sistemas y diseños realizados:

- **Computador DELL**

Según el requerimiento hardware número 1, en el módulo de supervisión se procesan los datos por medio de un computador marca Dell, este presenta las siguientes características: Memoria RAM 1 Gb, procesador Intel Pentium Dual GHz, con puertos USB; tiene instalado sistema operativo XP, ver Figura 27. A este se le conecta la tarjeta de adquisición de datos DAQ por puerto USB, y se le instalo el software Labview 2009 con los drivers de la tarjeta DAQ para realizar diseño del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina.

Figura 27 Computador como parte del módulo de supervisión



Fuente propia, diciembre de 2013

- **Tarjeta de Adquisición de Datos DAQ 6008**

Según el requerimiento hardware número 2 la tarjeta de adquisición de datos será el encargado de comunicar la máquina Shimadzu con el sistema HMI, recibiendo la señal analógica de la celda de carga, el tren de pulsos del encoder y generando tres señales discretas para la tarjeta de control y potencia. De acuerdo a las anteriores necesidades la tarjeta de adquisición de datos DAQ 6008 cumple con el número de entradas y salidas.

La tarjeta de adquisición de datos NI DAQ 6008 es de National Instruments tiene cinco (5) puertos de entrada y salida analógicos, once (11) canales digitales de IO y un contador. Esta cuenta con soporte para la mayoría de los

sistemas operativos y la comunicación con el PC es a través de USB, en la Tabla 10 se describen las especificaciones técnicas de la tarjeta.

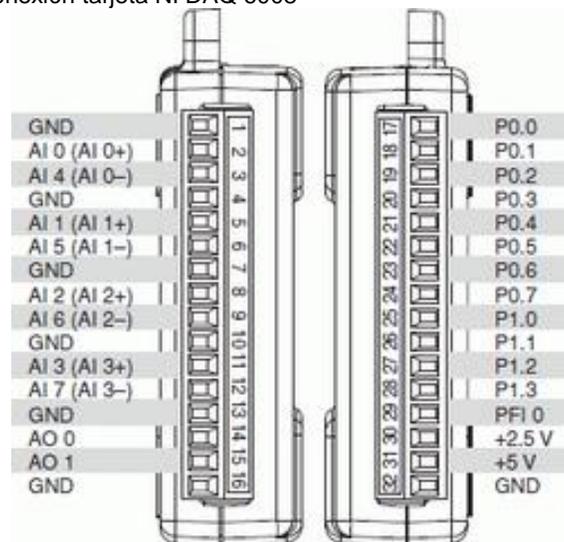
Tabla 10 Especificaciones técnicas de tarjeta adquisición de datos

CARACTERÍSTICA	REFERENCIA
Modelo	NI USB 6008
Sistema operativo	Linux, Mac OS, Windows
Programas de compatibilidad	LabView, Lab Windows™/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET
Entradas analógicas	8_ 12 bits, 10 KHz
Salidas analógicas	2_ 12 bits a 150 S/s
Resolución E/S analógicas	12
E/S Digitales	12_ contador de 32 bits
Niveles lógicos	TTL
Capacidad de corriente simple	8.5 mA
Capacidad de corriente total	102 mA
Máximo rango de entrada (voltaje)	0v_ 5v
Máximo rango de salida (voltaje)	0v_ 5v
Longitud	8.51 cm
Ancho	8.18 cm

Fuente: Tomado de [13], octubre de 2013

En la Figura 28 se presenta el esquema de conexión de la tarjeta DAQ 6008, donde se detalla la ubicación de las entradas y salidas de los puertos, signos y nomenclatura correspondientes.

Figura 28 Esquema de conexión tarjeta NI DAQ 6008

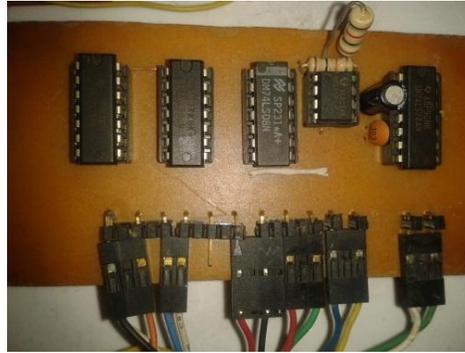


Fuente: Tomado de [13], octubre de 2013

### Tarjeta acondicionadora de señales TAS

Según el requerimiento hardware número 3 se hizo un análisis de la funcionalidad de la tarjeta realizada en Unicauca, ver ANEXO D: TARJETA DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES “TAS”, y se decidió utilizarla para obtener el sentido de la señal del encoder, a ella llegan las señales del Encoder y por medio de un flip-flop se obtiene el cambio de la señal por detección de flanco de la señal, ver Figura 29.

Figura 29 Tarjeta acondicionadora de señales TAS



Fuente propia, abril de 2014

### · **Tarjeta de control y potencia**

Según el requerimiento hardware número 4, las fichas técnicas de las electroválvulas Sol A y Sol B se concluye que para manipular la electroválvula de carga Sol A y descarga Sol B, que determinan la velocidad a la que se ejecutan los ensayos, se requiere de una fuente regulada variable de 12Vdc y 1 Amp. Se decidió seleccionar tres voltajes correspondientes a tres velocidades de aplicación de la carga, ver ANEXO C: DESCRIPCION DEL SISTEMA HIDRAULICO DE LA MAQUINA SHIMADZU (*1,66mm/min, 4,10mm/min y 10,82mm/min*) a la probeta, (estos valores de velocidad están directamente relacionados con la manipulación de flujo de aceite) en lugar de permitir aplicar un voltaje variable, esto en razón a que la mayoría de los ensayos los realizan a estas velocidades. El sentido de la carga aplicada depende de si la válvula Sol A está habilitada (carga) o Sol B está habilitada (descargada). Se analizó la electroválvula Sol C de la válvula de control automático de carga, que activa o desactiva Sol A y Sol B, y según sus características eléctricas descritas en su ficha técnica se concluye que para manipular esta válvula, se requiere de una fuente de alimentación constante de 24Vdc que se activa/desactiva por medio de una señal discreta.

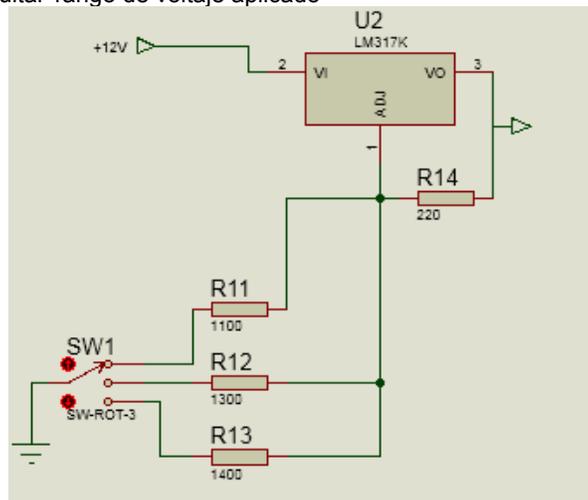
Según lo analizado previamente se necesita diseñar una tarjeta de control y potencia que permita:

- Manipular un rango de voltaje que alimenta a la válvula de carga Sol A y a la válvula de descarga Sol B.
- Manipular el sentido de la carga aplicada conmutando el voltaje de alimentación entre la válvula de carga Sol A o descarga Sol B.
- Manipular la activación/desactivación de la válvula Sol C conmutando su voltaje de alimentación.

Para manipular los voltajes que alimentan a la válvula de carga Sol A y a la válvula de descarga Sol B se diseñó un circuito 'rango de voltaje aplicado' a partir de un CI LM317 [14] que modifica el voltaje de una fuente regulada de 12vdc, seleccionando tres voltajes, ver ANEXO C: DESCRIPCION DEL SISTEMA HIDRAULICO DE LA MAQUINA SHIMADZU, que son proporcionales a las 3 velocidades que la máquina aplica la carga a la probeta. El circuito se

observa en la Figura 30, los valores de las resistencias fueron tomadas por un multímetro.

Figura 30 Esquema Circuitial 'rango de voltaje aplicado'



Fuente propia, abril de 2014

En la Tabla 11 se presentan los valores de resistencias asociados a los voltajes necesarios para que la máquina funcione en las tres velocidades seleccionadas (baja, media, alta), manipulando una fuente regulada de 12 v por medio de la tensión de ajuste del regulador LM-317K, estos valores se determinaron realizando ensayos en la máquina Shimadzu, ver ANEXO C: DESCRIPCION DEL SISTEMA HIDRAULICO DE LA MAQUINA SHIMADZU.

Tabla 11 Valores de resistencias para velocidades en la máquina Shimadzu

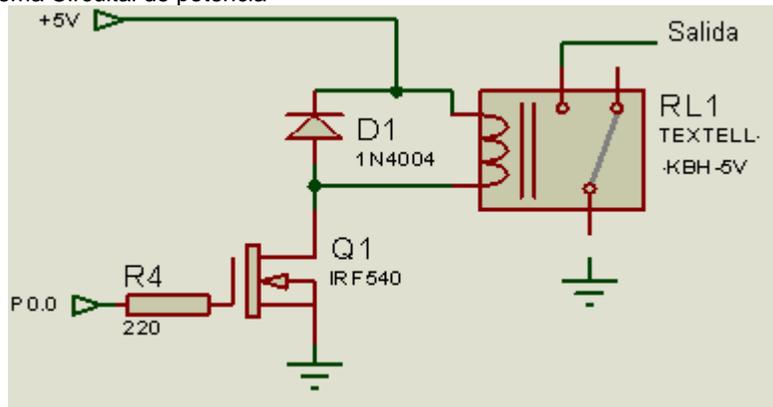
<i>Voltaje aplicado: 7,5v</i>		<i>Resistencia correspondiente: 1090 Ω</i>	<i>Velocidad Baja: 1,66mm/min</i>
<i>Carga (Ton)</i>	<i>Tiempo(min)</i>	<i>Desplazamiento (mm)</i>	
0 – 8,01	60:30	100,3	
<i>Voltaje aplicado: 8,8 v</i>		<i>Resistencia correspondiente: 1316 Ω</i>	<i>Velocidad Media: 4,10mm/min</i>
<i>Carga (Ton)</i>	<i>Tiempo(min)</i>	<i>Desplazamiento (mm)</i>	
0 – 7,96	27:5	113	
<i>Voltaje aplicado: 9,3 v</i>		<i>Resistencia correspondiente: 1399 Ω</i>	<i>Velocidad Alta: 10,82mm/min</i>
<i>Carg (Ton)</i>	<i>Tiempo(min)</i>	<i>Desplazamiento (mm)</i>	
0 – 7,96	9:05	98	

Fuente propia, octubre de 2013

Para seleccionar el voltaje que alimenta a la válvula de carga Sol A o a la válvula de descarga Sol B, al diagrama circuitial 'rango de voltaje aplicado' se le adicione un circuito de potencia basado en relé electromecánico que funciona por medio de una señal discreta, este circuito reemplaza el interruptor manual de tres posiciones del circuito 'rango de voltaje aplicado', conmutando en forma digital las resistencias asociadas a los tres voltajes. Se diseñó el circuito de potencia debido a que la corriente de salida de la tarjeta de adquisición de datos DAQ 6008 es insuficiente para activar un relé, por ello es necesario utilizar un circuito de potencia, en especial uno que no dependa de una corriente elevada

para funcionar; se utilizó un circuito de potencia basado en MOSFET, que requieren una pequeña corriente de entrada con velocidad de conmutación alta. La señal de control discreta enviada desde la tarjeta de adquisición de datos DAQ 6008 por medio de una resistencia, que disminuye los efectos capacitivos e inductivos, energiza el terminal compuerta del MOSFET. Esta señal activa el terminal de drenaje del MOSFET, donde está conectada la bobina de un relé en paralelo con un diodo rectificador, y estos a una fuente de 5 V. Uno de los problemas al conmutar inductancias, es la aparición de sobretensiones en el circuito de alimentación y en el interruptor de control en el momento en que se interrumpe el paso de la corriente. Esta sobretensión puede llegar a destruir el elemento de control y otros componentes que estén conectados a la alimentación. Para resolver este problema se debe conectar un diodo en paralelo con la bobina del relé, de tal manera que en el momento que se abre el interruptor la corriente no se interrumpe en la bobina de forma brusca y circula a través del diodo. Este circuito requiere de una fuente de 5v DC que son proporcionados de la Tarjeta ASSY Shimadzu, ver Figura 31.

Figura 31 Esquema Circuitual de potencia



Fuente propia, marzo de 2014

Se reemplazó el interruptor manual del circuito 'rango de voltaje aplicado' por tres diseños del circuito de potencia de la Figura 31, con ello se automatiza la selección de una de tres velocidades de la carga aplicada. Ahora bien para manipular el sentido de la carga aplicada, se debe conmutar el voltaje seleccionado entre la válvula de carga (Sol A) o la válvula de descarga (Sol B) y también manipular la activación/desactivación con 24 v de la válvula Sol C, estas tres funciones también se implementan con tres diseños del circuito de potencia de la Figura 31. El circuito 'rango de voltaje aplicado' y los seis diseños del circuito de potencia se combinaron en un único esquema circuitual denominado Tarjeta de control y potencia, ver Figura 32. Los componentes de la tarjeta de control y potencia están descritos en la Tabla 12.

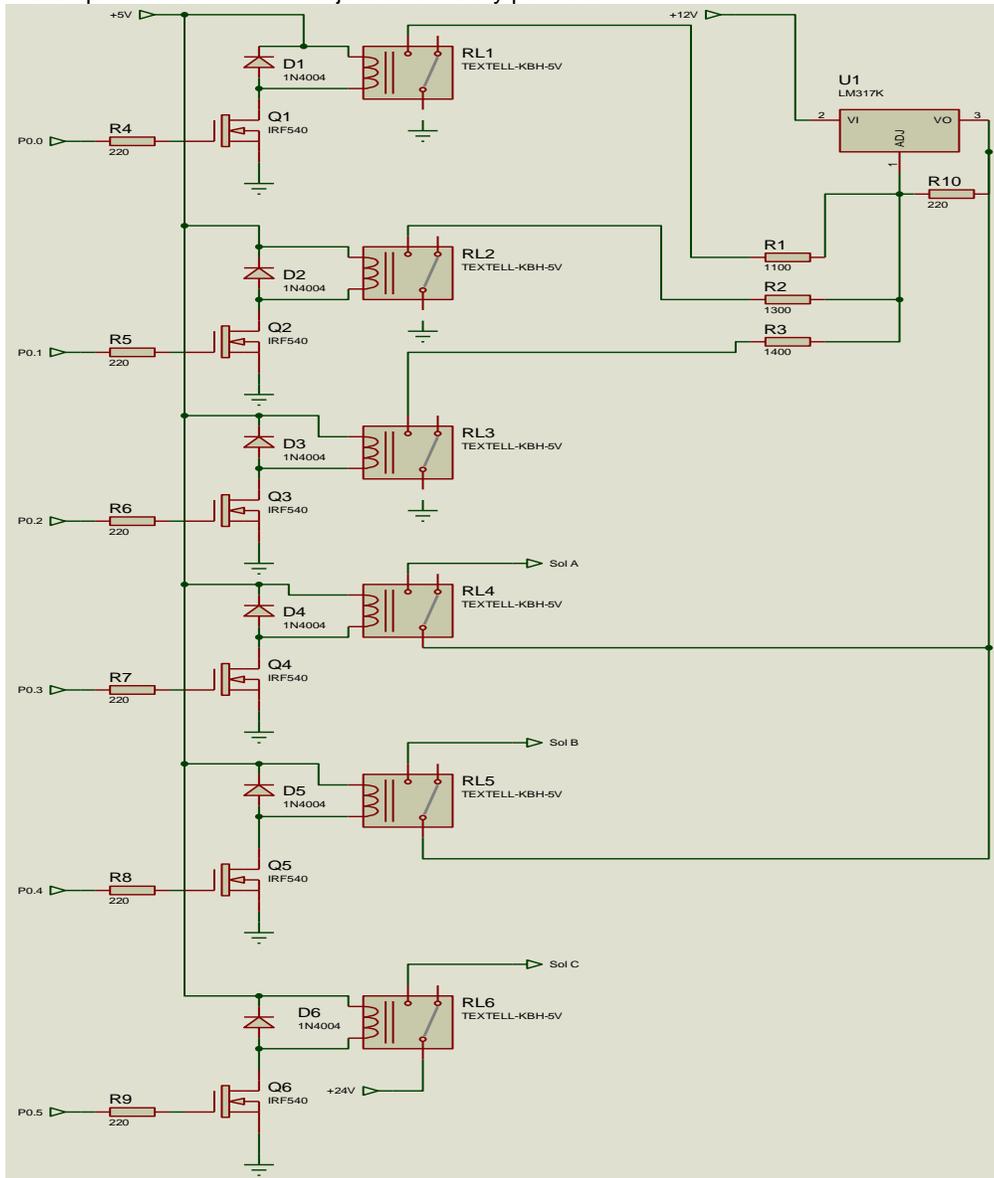
Tabla 12 Componentes de la tarjeta de control y potencia TCP

ID	Nombre elemento	Referencia	Valor
RL1,RL2,RL3,RL4,RL5,RL6	Relé	NRP07 [15] -C05DH	5VDC
R4,R5,R6,R7,R8,R9, R10	Resistencia	-	220Ω

R1	Resistencia	-	1100Ω
R2	Resistencia		1300Ω
R3	Resistencia	-	1400Ω
Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,Q6	Mosfet	IRF540 [16]	33A, 100V, 0.040 Ohm
D1,D2,D3,D4,D5,D6	Diodos	1N4004 [17]	400V,1
1	Reglador	Lm31k	20w,1.5A

Fuente propia, marzo de 2014

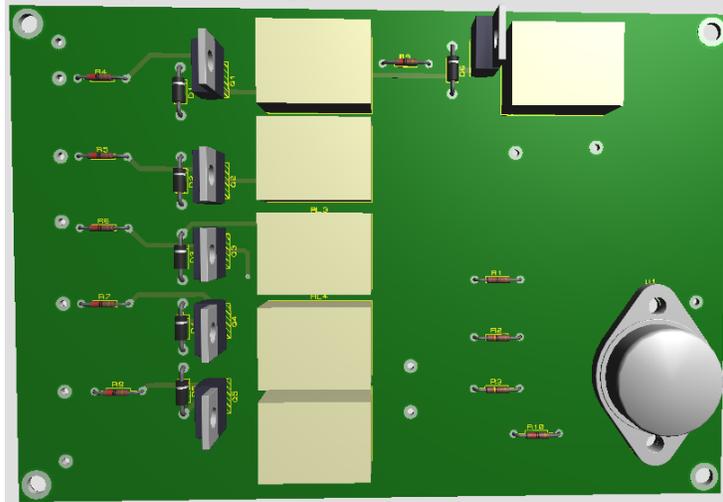
Figura 32 Esquema Circuitual de la tarjeta de control y potencia TCP



Fuente propia, marzo de 2014

En la Figura 33 se presenta la distribución de cada elemento de la tarjeta de control y potencia para tener en cuenta al momento de elaborarla.

Figura 33 Vista en 3D de la tarjeta de control y potencia



Fuente propia, abril de 2014

- Cámara web 312

Según el requerimiento software número 5, se utilizara una cámara web marca Genius Eye 312, esta permite la captura de imágenes y video del ensayo, estará conectada por medio de USB al pc, ver Figura 34.

Figura 34 Webcam Genius Eye 312



Fuente propia, diciembre de 2013

Se especifican algunas cualidades de la cámara y del pc para su correcto funcionamiento, ver **Tabla 13**.

Tabla 13 Ficha técnica de Cámara web Genius Eye 312

Interface	USB 1.0/1.1
Sistema operativo	Windows 7/ Vista / XP/2000
Resolución máxima de Imagen	8M
Micrófono Incorporado	Si
Requerimientos de PC	128 Ram

Fuente propia, diciembre de 2013

### 2.2.2 Elementos Software del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu

Los elementos software son el soporte lógico del sistema que conforman el programa principal; junto a los elementos necesarios para la ejecución como:

Software, sistema operativo y drivers necesarios para el correcto funcionamiento del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu. Se utilizará como programa principal para el diseño del sistema HMI: Labview 2009. Sin embargo la tarjeta DAQ 6008 y la cámara webcam, para ser leídas desde Labview requieren de drivers o manejadores; se realizará un diseño modular del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu, basándose en los requerimientos software del numeral 2.1.5, para determinar el funcionamiento estructural del software, también se hará un diseño del HMI para tener conocimiento de la interacción con el usuario.

- **Diseño del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu**

Según los requerimientos software del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu se realizó un diseño modular. El diagrama modular del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu está compuesto por un módulo principal el cual permite escoger un módulo correspondiente a un modo de funcionamiento: modo 1 o modo 2. Cada módulo de funcionamiento está compuesto por los siguientes módulos: configuración de sistema, guardar datos, visualización, este último se compone de los módulos encoder, celda de carga y visión, para el modo 2 se le adiciona el módulo de manipulación, ver Figura 35.

**Módulo 1:** Este módulo corresponde al modo 1 de funcionamiento y está compuesto por los siguientes módulos configuración de sistema, guardar datos, visualización, este último se compone de los módulos encoder, celda de carga y visión, ver Figura 35.

Según el requerimiento software 1 y 2 de la sección 2.1.5 se diseñó un módulo de configuración del sistema que permite visualizar los pasos a seguir para realizar los ensayos en modo 1, configurar parámetro rango, registro de datos de las características del ensayo como: tipo de ensayo, tipo de material, forma de material y longitud inicial.

Según el requerimiento software 3, 5, 6y 7 de la sección 2.1.5 se diseñó un módulo de visualización compuesto por módulo de encoder, módulo celda de carga y módulo captura de video; configuración de parámetros ganancia y offset de carga, permite la visualización de la curva de Presión vs Desplazamiento en unidades de ingeniería.

Según el requerimiento software 3 de la sección 2.1.5 se diseñó un módulo encoder donde se adquieren los datos del tren de pulsos y el sentido del giro del mismo, en este módulo se procesa el tren de pulsos para convertirlos en unidades de ingeniería; unidades de desplazamiento expresado en cm, mm y mm/10; también se diseñó un Módulo celda de carga que toma de la celda de carga el voltaje proporcional a la presión de carga para convertirlos en unidades de ingeniería: unidades de presión como toneladas, kilogramos o libras.

Según el requerimiento software 6 de la sección 2.1.5 se diseñó un módulo de visión el cual permite registrar el ensayo paso a paso en tiempo real por medio de una cámara web.

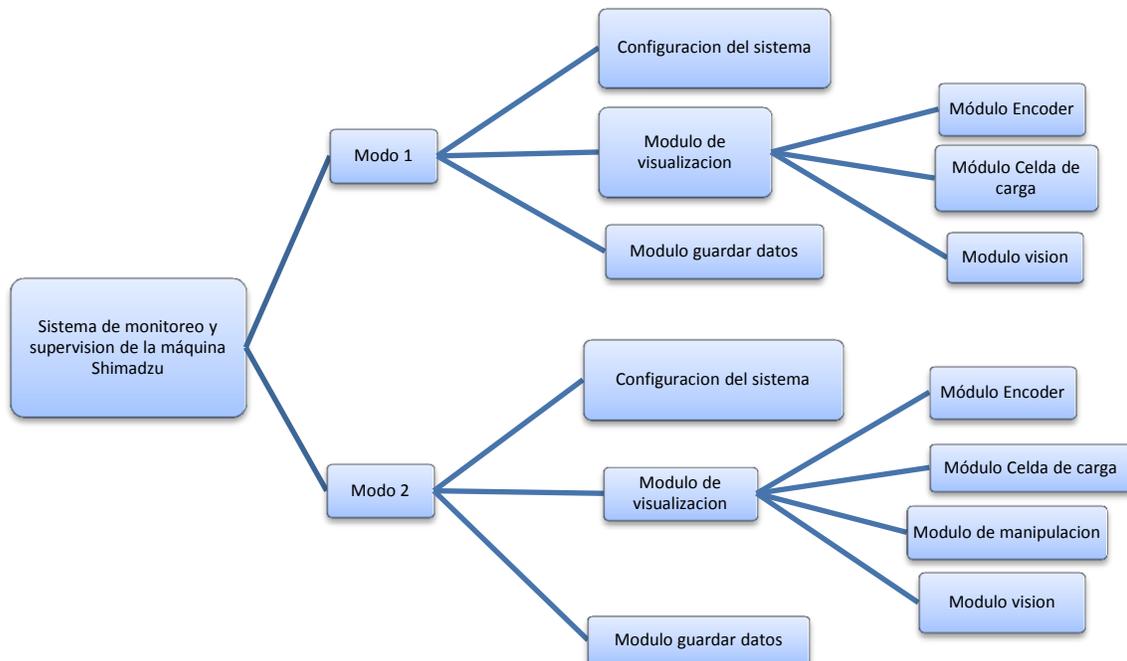
Según el requerimiento software 8 de la sección 2.1.5 se diseñó un módulo guardar datos que permite exportar a un archivo en Excel los datos de presión, desplazamiento, cantidad de datos, fecha de realización ensayo, tipo de ensayo, tipo de material ensayado, forma del material, longitud inicial y grafica de presión vs desplazamiento.

**Módulo 2:** Este módulo corresponde al modo 2 de funcionamiento del sistema y está compuesto por los módulos del modo 1, adicionándole el módulo de manipulación, ver Figura 35.

Según el requerimiento software 4 de la sección 2.1.5 se diseñó un módulo de manipulación donde se realiza envío de señales discretas para:

- Manipular un rango de voltaje que alimenta a la electroválvula de carga Sol A y a la electroválvula de descarga Sol B
- Manipular el sentido de la carga aplicada conmutando el voltaje de alimentación entre la electroválvula de carga Sol A o descarga Sol B.
- Manipular la activación/desactivación de la electroválvula Sol C conmutando su voltaje de alimentación.

Figura 35 Diseño modular del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu



Fuente propia, abril de 2014

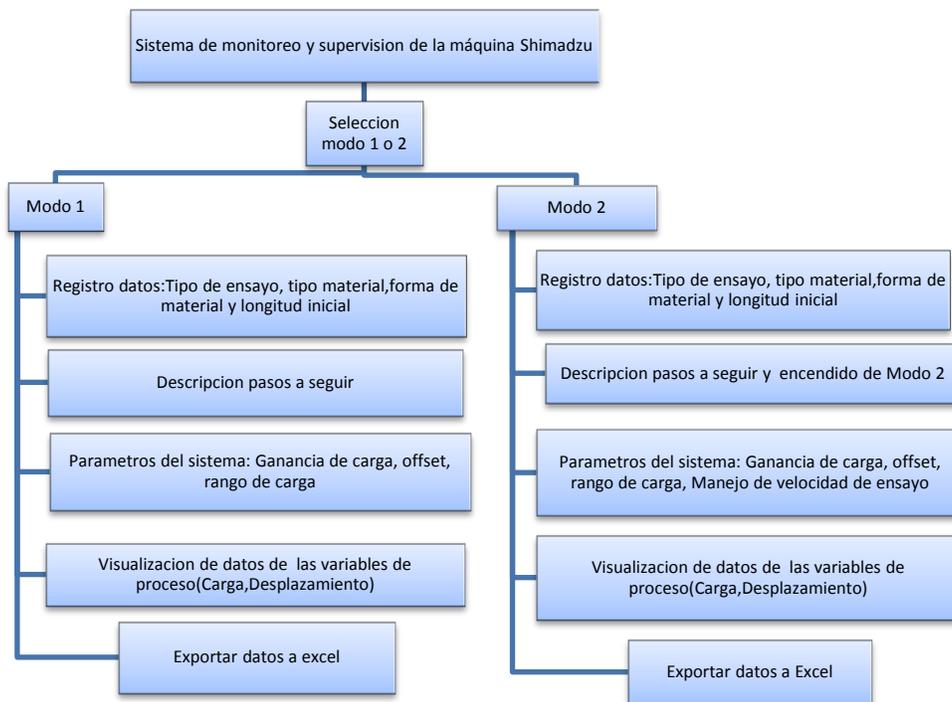
## Diseño de Interfaz HMI

Según los requerimientos del HMI la Figura 36 describe por medio de un diagrama de árbol la secuencia lógica diseñada para los dos modos de manejo de la máquina a implementar en el sistema HMI. Muestra los pasos a seguir por parte del usuario, los datos que debe tener en cuenta a la hora de iniciar un ensayo, los parámetros del sistema, la visualización de los datos del sistema y la opción de exportar los datos obtenidos a la herramienta Excel para listarlos y realizar un análisis detallado del ensayo, para dar cumplimiento con el requerimiento software número 9 de la sección 2.1.5 se requiere instalar drivers para el correcto funcionamiento de la Tarjeta de adquisición de datos y el elemento de captura de imagen y video, ver ANEXO F: INSTALACIÓN DE SOFTWARE Y DRIVERS

Para la tarjeta DAQ instalar 'Software driver NI DAQ mx Base 3.6.0' y NI Device driver

- Driver de cámara web Eye 312 W7 Genius
- Para trabajar con la cámara web se necesita del módulo NI Visión Acquisition Software August 2009 que contiene el driver NI-IMAQ dx 4.3, este adiciona las librerías de visión de máquina al programa principal y permite la conexión de cámara web a Labview.

Figura 36 Diagrama secuencial de árbol del sistema HMI



Fuente propia, marzo de 2014

### 2.2.3 Etiquetado de la planta e instrumentos

En instrumentación y control, se emplea un sistema de símbolos con el objeto de transmitir de forma fácil y específica la información indispensable en el diseño, selección, operación y mantenimiento de los sistemas de control, para cumplir con los requerimientos de automatización del proyecto se usaran técnicas industriales como la norma ISA S5.1, en la Tabla 14 se observan los diferentes equipos, instrumentos y accesorios con su debido etiquetado de acuerdo a la norma ISA S5.1, para el proceso de ensayo.

Tabla 14 Etiquetado de equipos, instrumentos y accesorios

	Nombre	Etiqueta
<b>Equipos</b>	Módulo de Carga	Mod_C
	Módulo de Mando	Mod_M
	Modulo Indicador	Mod_I
	Módulo supervisión	Mod_S
	Computador de Mesa	PC
	Tarjeta de adquisición de datos DAQ 6008	DAQ
<b>Instrumentos</b>	Cilindro	CIL
	Bomba hidráulica	PP
	Motor bomba hidráulica	MP
	Motor cabezal marco móvil	MC
	Tanque de aceite	TP
	Encoder	ENC
	Celda de carga	CC
	electroválvula de carga	Sol A
	electroválvula de descarga	Sol B
	electroválvula de activación	Sol C
	Válvula control de carga	Vcc
	Tarjeta de acondicionamiento de señales	TAS
	Tarjeta de control y potencia	TCP
	Tarjeta Shimadzu Assy	ASSY
<b>Accesorios</b>	Cámara web	CAM
	Pulsador verde para encender la máquina	HMS-1A
	Pulsador rojo para apagar la máquina	HMS-1B
	Pulsador verde para encender la bomba de la máquina	HMS-2A
	Pulsador rojo para apagar la bomba de la máquina	HMS-2B
	Pulsador verde para subir cabezal de la máquina	HMS-3A
	Pulsador verde para bajar la máquina	HMS-3B
	Pulsador rango carga de la máquina	HMS-RN
	Pulsador Reset memoria de la máquina	HMS-RS
	Perilla ajuste cero de módulo indicador 1	P_Z1
	Pulsador verde Span modulo indicador 1	HMS-S
	Perilla control de carga de la máquina(Negra)	P_C
	Switch módulo indicador	S_MI
	Piloto rojo indica encendido modulo indicador	L_MI
	Perilla ajuste cero calibración módulo indicador 2	P_Z2
	Perilla ajuste span calibración modulo indicador 2	P_S2
	Switch inicia encendido de la TCP	S_TCP
	Piloto azul que indica encendido de la TCP, F_12 v	L_TCP
	Display 1:Indicador de carga	D_1
	Display 2:Indica máxima carga	D_2
	Bornera Solenoides	B_Sol1
	Bornera Solenoide	B_Sol2
	Bornera de 5 v	B_5
	Bornera de salida de ceda de carga en modulo indicador	B_OUT
	Bornera de entrada de celda de carga en modulo indicador	B_IN
	Bornera de 12 v	B_12

	Bornera conexión Tarjeta DAQ	B_DAQ
	Bornera conexión Tarjeta control potencia	B_TCP
	Bornera conexión tarjeta acondicionadora de señales	B_TAS
	Fuente de 12 v	F_12
	Fuente de 24 v	F_24
	Breakers de la máquina	F_P
	Fuente de alimentación	F_AI

Fuente propia, marzo de 2014

## 2.2.4 Diagrama en bloques del proceso de ensayo de la máquina Shimadzu

En la Figura 37 se describe el diagrama en bloques del proceso de ensayo de la máquina Shimadzu donde se muestran las entradas y salidas del sistema; en este caso la entrada principal del proceso es la *probeta*, donde la máquina Shimadzu aplica una carga sobre ella, generando como salida los desechos de la probeta y principalmente los datos que el experimento arroja para posteriormente realizar las gráficas y determinar los resultados.

Figura 37 Diagrama en bloques del proceso de ensayo de la MUE Shimadzu



Fuente propia, marzo de 2014

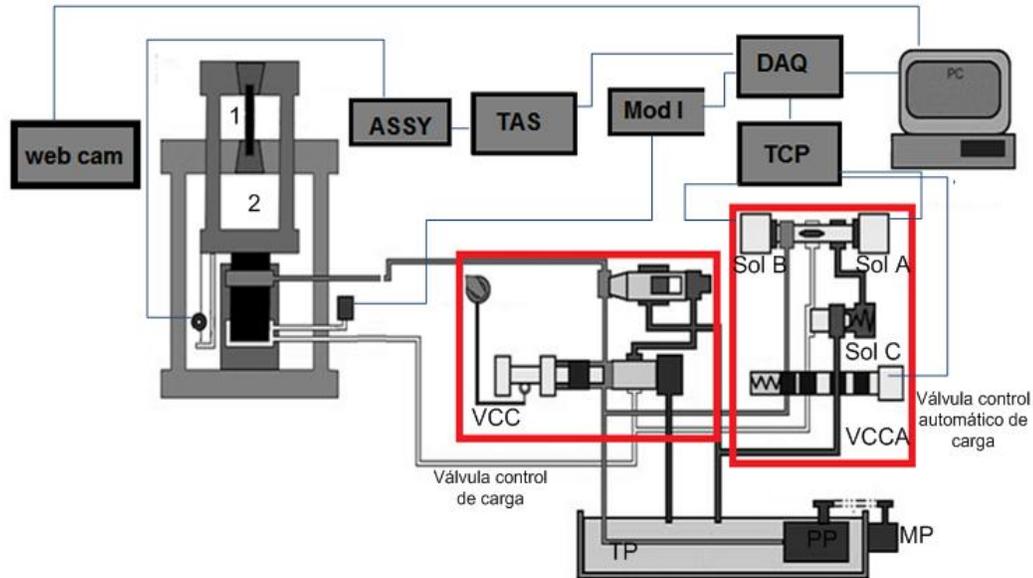
## 2.2.5 Diagrama modular del proceso del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu

En la Figura 38 se muestra el diagrama de flujo del proceso del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu, especificando cada elemento hardware con las conexiones correspondientes, se visualiza la entrada de la probeta ya sea para ensayo de tensión (1) o para ensayo de flexión o compresión (2); para iniciar el ensayo es necesario encender el PC, donde se encuentran las herramientas software que permitirán la manipulación de las electroválvulas y del mismo modo recibir la información para ser digitalizada, guardada y graficada.

En el momento que inicia el ensayo desde el software se realiza un manejo de la válvula de control automático de carga, se envía la señal a la válvula control automático de carga para que realice la activación de la válvula la carga o descarga según corresponda y ese transcurso el encoder entrega la información de desplazamiento al Modulo indicador **Mod I** y está a su vez a la tarjeta **DAQ**; al igual que la celda de carga entrega la información de carga a la

tarjeta Shimadzu **Assy** y está a la tarjeta acondicionadora de señales **TAS** para determinar el tipo de señal entregada para ser procesada por la DAQ y estas al software que está en el **PC**.

Figura 38 Diagrama modular del proceso del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu



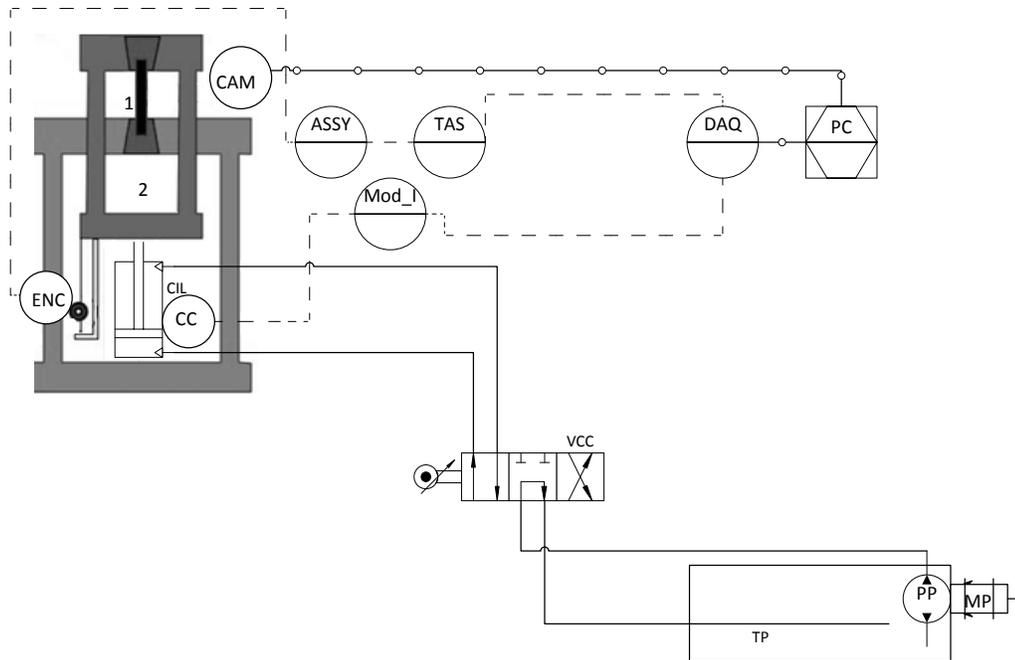
Fuente propia, marzo de 2014

## 2.2.6 Diagrama de tubería e instrumentos P&ID del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu

En la Figura 39 se muestra el diagrama P&ID en modo 1 del sistema de supervisión y monitoreo de la máquina Shimadzu, según la recomendación ISA S5.1, se muestra la entrada de la probeta (1) o (2) según sea el tipo de ensayo a realizar, el usuario una vez encienda la máquina y la bomba hidráulica en el módulo de mando y establezca parámetros de software en el pc; inicia el ensayo manipulando la perilla de la válvula control de carga **VCC** para fijar la carga a aplicar; seguido de esto el aceite fluye desde el tanque de aceite TP de la bomba hidráulica, hacia la válvula de control de carga y según la apertura de la perilla suministra un flujo determinado hacia el cilindro de carga, el cual aplica carga al ensayo, este valor es registrado por la celda de carga enviando señales de voltaje en un rango de 0 a 5 voltios al módulo indicador Mod I, para ser transferido a la tarjeta **DAQ** 6008 y ser procesado en el pc; al mismo tiempo el encoder recopila la información de desplazamiento del cilindro enviando un tren de pulsos en un rango de 0 a 5 voltios, transfiriendo la información a la tarjeta Assy para realizar el acondicionamiento de señales por parte de la **TAS** y transferir los datos a la tarjeta DAQ 6008, respectivamente las dos señales son procesadas por el pc y visualizadas por medio de las gráficas correspondientes de desplazamiento vs carga; al girar la perilla en sentido contrario el cilindro

deja de aplicar carga y vuelve a su estado inicia y el aceite se devuelve al tanque.

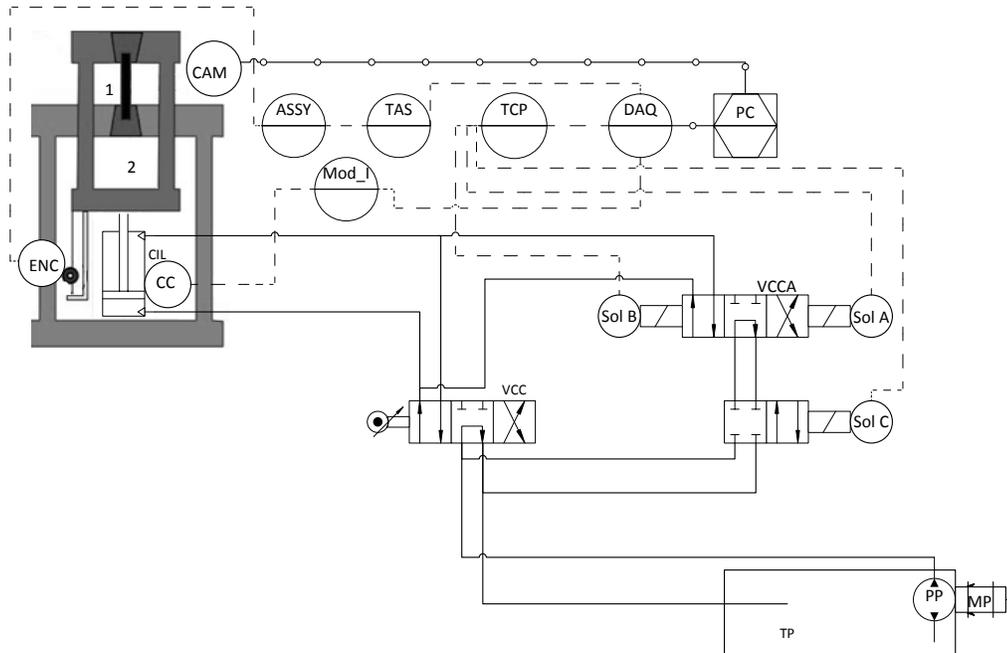
Figura 39 Diagrama P&ID de modo 1 del Sistema de supervisión y monitoreo de la máquina Shimadzu



Fuente propia, marzo de 2014

En la Figura 40 se muestra el diagrama P&ID en modo 2 del sistema de supervisión y monitoreo de la máquina Shimadzu, según la recomendación ISA S5.1, se muestra la entrada de la probeta (1) o (2) según sea el tipo de ensayo a realizar, el usuario una vez encienda la máquina y la bomba hidráulica en el módulo de mando, desde la interfaz de usuario se activa la válvula de control automático de carga, se establecen parámetros del ensayo; se manipula válvula de control automático de carga enviando señales discretas según los parámetros establecidos a la tarjeta **DAQ 6008** y está manda la orden a la Tarjeta de control y potencia **TCP**, enviando la señal correspondiente a las electroválvulas de la válvula de control automático de carga **Sol A, Sol B y Sol C**, el valor de carga es registrado por la celda de carga y visualizado en el módulo indicador Mod I, para ser transferido a la tarjeta DAQ 6008 y ser procesado en el pc; al mismo tiempo el encoder recopila la información de desplazamiento del cilindro, transfiriendo la información a la tarjeta Assy para realizar el acondicionamiento de señales por parte de la **TAS** y transferir los datos a la tarjeta DAQ 6008, respectivamente las dos señales son procesadas por el **PC** y visualizadas por medio de las gráficas correspondientes de desplazamiento vs carga; al girar la perilla en sentido contrario el cilindro deja de aplicar carga y vuelve a su estado inicia y el aceite se devuelve al tanque.

Figura 40 Diagrama P&ID de modo 2 del Sistema de supervisión y monitoreo de la máquina Shimadzu



Fuente propia, marzo de 2014

### 2.2.7 Modelos ISA S88 del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu

En comparación con el modelado ISA descrito en el numeral 1.6 del capítulo 1, se realizó un nuevo modelado ISA 88 que permiten describir la información pertinente del sistema de monitoreo y supervisión diseñado para la máquina Shimadzu, según los requerimientos de automatización nombrados en el numeral 2.1.6 de este capítulo, se realizó de forma ordenada un modelado ISA de todos los elementos requeridos y consignados en el proyecto, de tal forma que se definan con claridad.

#### d) Modelo de proceso del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu.

En la Tabla 15 se describe de forma detallada el modelo de proceso del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu, añadiendo las operaciones que se realizarán por medio del software y las acciones correspondientes.

Tabla 15 Modelo de proceso del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu

Proceso	Etapas	Operación	Acción
Proceso de ensayo destructivo	Ensayo destructivo	Preparación de Máquina	Ubicar probeta
			Ajustar mordazas
			Ajustar cero de carga
			Seleccionar rango de carga
		Configuración Software	Seleccionar modo (1 o 2)
			Llenar datos de características del ensayo
		Prueba	Configurar rango de presión de seguridad de la máquina
			Configurar parámetros del sistema

			Si modo 1, manipular válvula control de carga
			Si Modo 2, manipular válvula de control de carga automático
			Tomar datos de proceso
			Visualizar paso a paso la prueba
		Resultados	Guardar video
			Exportar datos a Excel

Fuente propia, Marzo de 2014

### e) Modelo físico del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu

En la Tabla 16 se describe de forma detallada el modelo físico del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu, se agregó un módulo de supervisión, con los módulos de control correspondientes que cumplen con los requerimientos de software y hardware.

Tabla 16 Modelo Físico del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu

Celda de proceso	Unidad	Módulo Equipo	Módulo Control		
Sistema de ensayo destructivo	Unidad de Ensayo destructivo	Módulo de Carga	Conjunto marco fijo		
			Conjunto marco móvil		
			Mordazas		
			Aditamentos	No.1	
				No.2	
				No.3	
		Módulo de Mando	Encoder		
			Celda de carga		
			Válvula control de carga	Válvula reguladora de caudal	
				Válvula reguladora de presión	
				Válvula de seguridad	
			Tanque de aceite		
			Bomba hidráulica		
			Motor de accionamiento		
			Cilindro de carga doble efecto		
			Válvula de control de carga	Válvula reguladora de caudal	
				Válvula reguladora de presión	
				Válvula de seguridad	
			Válvula control automático de carga:	Electroválvula de activación (Sol C)	
				Válvula de control de caudal	Electroválvula carga Sol A
					Electroválvula descarga Sol B
				Válvula de contrapresión	
			Tarjeta Shimadzu Assy		
			Panel de operación principal	Interruptor Principal (MAIN)	
				Interruptor Bomba (PUMP)	
				Interruptor Elevador Cabezal (CROSSHEAD)	
				Perilla de control de carga (LOAD CONTROL)	
		Modulo indicador	Display de carga (toneladas/fuerza)		
			Display máximo de carga (toneladas/fuerza)		
			Indicador de velocidad del ensayo		
			Botón Reset		
			Porcentaje de rango de carga (%)		
			Perilla de ajuste de cero de carga		
Selector rango de carga					
Botón Span					
Perilla ajuste cero de módulo indicador 1					

			Pulsador verde Span modulo indicador 1
		Módulo de Supervisión	Tarjeta de adquisición de datos DAQ
			Tarjeta acondicionamiento de señales TAS
			Tarjeta de control y potencia TCP
			Computador
			Cámara web

Fuente propia, marzo de 2014

### f) Modelo de control procedimental del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu

Cabe notar que aunque los resultados del ensayo son los mismos, tanto gráficas y variables controladas y manipuladas, el procedimiento de adecuación para cada ensayo es diferente, por lo cual se hará referencia a cada uno por separado a continuación:

- **Modelo de control procedimental para ensayo de tensión**

En la Tabla 17 se muestra el modelo de control procedimental del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu para el ensayo de tensión en probetas definiendo paso a paso como realizar el ensayo.

Tabla 17 Modelo de control procedimental del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu para ensayo de tensión

Procedimiento	Procedimiento de Unidad	Operación	Fase	
Ensayo de probeta	Ensayar probeta	Preparar máquina	Ubicar probeta	
			Ajustar mordazas	
			Ajustar cero de la carga	
			Encender Switch modulo indicador	
			Escoger rango de carga Ton: (0,1)(1,10)(0,25)(0,50)	
		Iniciar Software	Escoger modo (1 o 2)	
			Llenar características del ensayo -Longitud inicial(cm) -Tipo de material -Tipo de ensayo -Forma de material	
			Escoger rango de carga: (0,1)(1,10)(0,25)(0,50) Ton	
			Realizar prueba	Configurar Offset y ganancia
		Si modo 1:		Manipular válvula control de carga (Perilla de control de carga)
		Si modo 2:		Encender switch TCP
				Manipular válvula control automático de carga
		Visualizar gráficas: Presión vs Tiempo Desplazamiento vs tiempo Desplazamiento vs presión		
		Toma de video		
		Resultados	Guardar video	
			Graficar datos	
			Guardar Datos	

Fuente propia, marzo de 2014

- **Modelo de control procedimental para ensayo de compresión**

En la Tabla 18 se muestra el modelo de control procedimental del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu para el ensayo de compresión en probetas definiendo paso a paso como realizar el ensayo.

Tabla 18 Modelo de control procedimental del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu para ensayo de compresión

Procedimiento	Procedimiento de Unidad	Operación	Fase
Ensayo de compresión	Ensayar	Preparar máquina	Ubicar aditamento N.1 sobre cabezal inferior
			Ajustar mordazas
			Ubicar elemento de ensayo sobre mesa
			Ajustar cero de la carga
			Encender Switch modulo indicador
		Escoger rango de carga (Ton) (0,1)(1,10)(0,25)(0,50)	
		Iniciar Software	Escoger modo (1 o 2)
			Llenar parámetros: -Longitud inicial (cm) -Tipo de material -Tipo de ensayo -Forma de material
			Escoger rango de carga(Ton): (0,1)(1,10)(0,25)(0,50)
		Realizar pruebas	Configurar Offset y ganancia
			Si modo 1: Manipular válvula control de carga (Perilla de control de carga)
			Si modo 2: Encender switch TCP
			Manipular válvula control automático de carga (perilla de software)
			Visualizar gráficas: Presión vs Tiempo Desplazamiento vs tiempo Desplazamiento vs presión
		Toma de video	
Resultados	Guardar video		
	Graficar datos		
	Guardar Datos		

Fuente propia, marzo de 2014

- **Modelo de control procedimental para ensayo de flexión**

En la Tabla 19 se muestra el modelo de control procedimental del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu para el ensayo de flexión en probetas, se define paso a paso como realizar el ensayo.

Tabla 19 Modelo de control procedimental del Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu para ensayo de flexión

Procedimiento	Procedimiento de Unidad	Operación	Fase
Ensayo de probeta	Ensayar	Preparar máquina	Ubicar aditamento N.2 sobre cabezal inferior
			Ubicar aditamento N.3 sobre mesa
			Ubicar elemento a ensayo sobre aditamento N.3

			Ajustar cero de la carga	
			Encender Switch modulo indicador	
			Escoger rango de carga Ton: (0,1)(1,10)(0,25)(0,50)	
		Iniciar Software	Escoger modo (1 o 2)	
			Llenar parámetros: -Longitud inicial(cm) -Tipo de material -Tipo de ensayo -Forma de material	
			Escoger rango de carga(Ton): (0,1)(1,10)(0,25)(0,50)	
		Realizar prueba	Configurar Offset y ganancia	
			Si modo 1	Manipular válvula control de carga (Perilla de control de carga)
			Si modo 2	Encender <i>switch</i> TCP
				Manipular válvula control automático de carga (perilla de software)
			Visualizar gráficas: Presión vs Tiempo Desplazamiento vs tiempo Desplazamiento vs presión	
			Toma de video	
		Resultados	Guardar video	
			Graficar datos	
			Guardar Datos	

Fuente propia, marzo de 2014

## CAPITULO 3 IMPLEMENTACIÓN

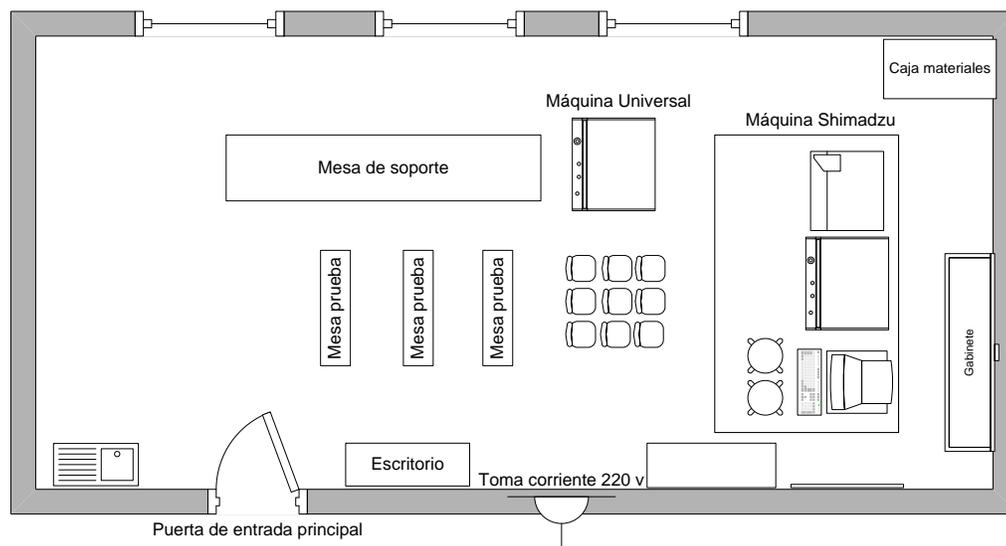
En el capítulo anterior se abordaron los diseños correspondientes al hardware y el software basado en los requerimientos pertinentes, en este capítulo se implementa y realiza la instalación adecuada para culminar con el sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu, se realiza una descripción de la ubicación de la máquina, se consignan los diagramas electrónicos, señales de entrada y salida de la tarjeta de adquisición de datos, entre otros.

### 3.1 Ingeniería de Detalle

#### 3.1.1 Planos de distribución física

El Laboratorio de estructuras de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, es el espacio donde se encuentra ubicada la Máquina Shimadzu, ver Figura 41, con dimensiones aproximadas de 15 metros de largo por 8 metro de ancho, en el centro del laboratorio están ubicados una serie de mesas de pruebas, una mesa soporte y una máquina Universal UHP 40 Modelo 1958 que no está en uso, asientos para estudiantes y en la parte lateral derecha se encuentra la Máquina Shimadzu, en el costado superior derecho se ubica la caja de materiales donde se encuentran las probetas de ensayo para la máquina.

Figura 41 Distribución laboratorio de estructuras de la FIC de Universidad del cauca

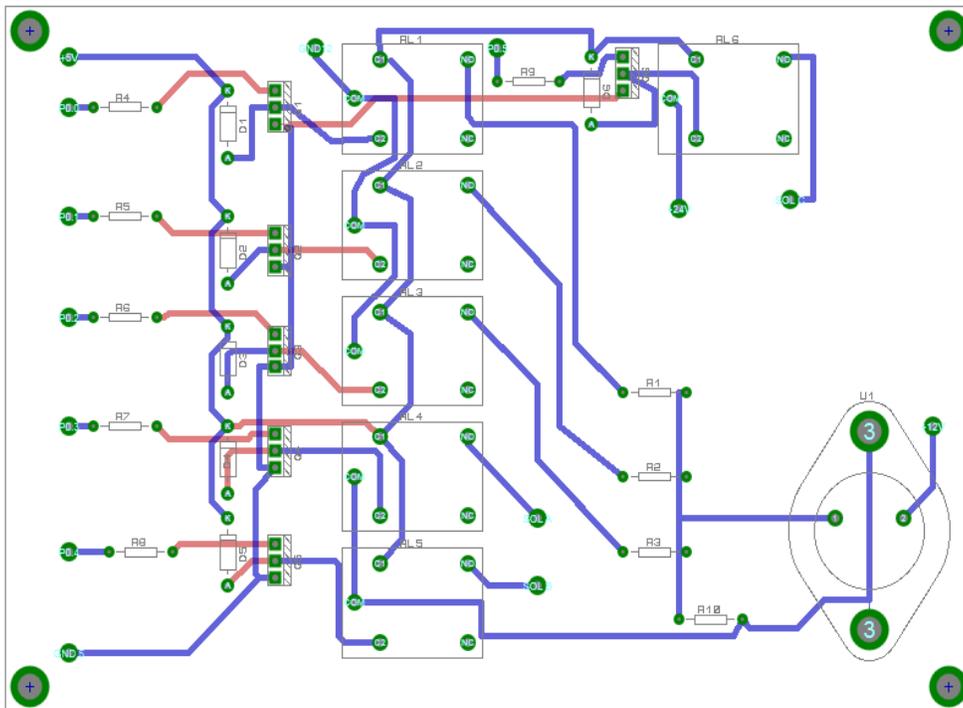


Fuente propia, marzo de 2014

#### 3.1.2 Diagramas electrónicos detallados

A partir del diseño esquemático se realizó el diseño de la PCB del circuito de control y potencia, ver Figura 42, donde se ubican los elementos que la componen como mosfet, relés, resistencias, diodos y el regulador con el fin de organizarlos y crear las pistas que los interconectan de la mejor manera, este se desarrolló utilizando la herramienta Isis Proteus.

Figura 42 Diseño PCB tarjeta de control y potencia



Fuente propia, abril de 2014

La PCB del circuito de control y potencia tiene 12 cm de largo por 10 cm de ancho, los elementos se organizaron de derecha a izquierda de la siguiente manera; primero pines de entrada a la DAQ P0.0, P0.1, P0.2, P0.3, P0.4, P0.5 que a su vez están conectados por pista con sus respectivas resistencias R4, R5, R6, R7, R8, R9 y estas a los terminales compuerta de los MOSFET Q1, Q2, Q3, Q4, Q5. En los terminales de drenaje de los MOSFET van conectadas las bobinas de los relés RL1, RL2, RL3, RL4, RL5, RL6 en paralelo con sus diodos rectificadores D1, D2, D3, D4, D5, D6, y estos a una fuente de 5 V. Las salidas de los relés RL1, RL2 y RL3 van conectados a las tres resistencias R1, R2, R3 que van conectadas al terminal de ajuste del LM317 y sus terminales comunes están conectados a GND12. Las salidas de los relés RL4 y RL5 van conectadas a los pines Sol A y Sol B respectivamente y sus terminales comunes están conectados con el terminal de salida del LM317. La salida del relé RL6 está conectada al pin Sol C y su terminal común está conectado al pin 24V y por último el terminal de input del LM317 va conectado al pin 12V. Las entradas y salidas de la tarjeta de control y potencia quedaron ubicadas en las borneras de la siguiente manera, ver Tabla 20.

Tabla 20 Entradas y salidas de la Tarjeta de Control y Potencia TCP

Nombre de Bornera	ENTRADAS	SALIDAS
B_SOL2	-	Sol A
	-	Sol B
	-	Sol C
	+24V	-
B_TCP	P0.0	-
	P0.1	-
	P0.2	-

	P0.3	-
	P0.4	-
	P0.5	-
B_5	+5V	-
	GND 5V	-
B_12	+12V	-
	GND 12V	-

Fuente propia, abril de 2014

### 3.1.3 Distribución de señales de entrada y salida de la DAQ

Se presentan las señales de entrada de los sensores del módulo de carga y señales de salida hacia los actuadores de la tarjeta DAQ en la Tabla 21.

Tabla 21 Señales de Entradas y salidas a Tarjeta DAQ 6008

<i>Señales de entrada a tarjeta DAQ 6008</i>		
Tipo señal	Recepción	Puerto
Analógica_ Voltaje	Celda de carga	GND AI 0 (AI 0+) AI 4 (AI 0-)
Digital	Encoder Incremental	GND P1.0 P1.1
<i>Señales de salida a tarjeta DAQ 6008</i>		
Digital	Manipulación Rango de la fuente	P.0.0 P.0.1 P.0.2
Digital	Manipular electroválvulas de carga y descarga	P.0.3 P.0.4
Digital	Activar /desactivar electroválvula de activación	P.0.5

Fuente propia, abril de 2014

### 3.1.4 Diagrama de lazo

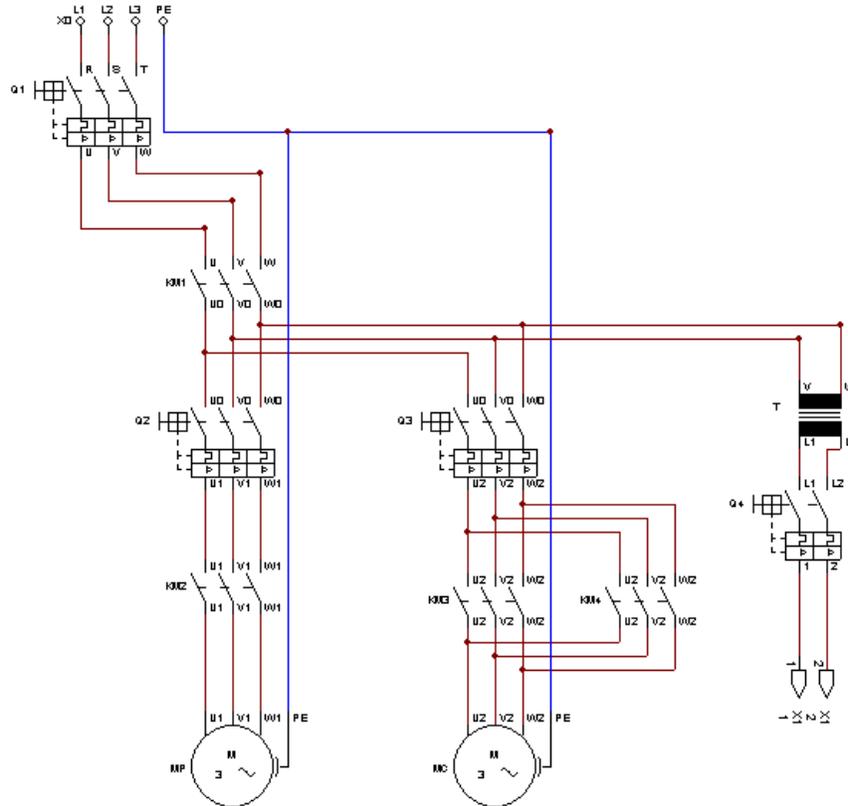
El diagrama de lazo de instrumentación que corresponde a la norma ISA S5.4, describe la ubicación y el cableado entre cada uno de los componentes de la planta. En la Figura 43 se observa el diagrama de lazo dividido en los módulos que componen la máquina: módulo de carga, mando, indicador y supervisión. Contiene los instrumentos asociados al encendido de la maquina Shimadzu, la celda de carga, el Encoder, los solenoides de las electroválvulas de la válvula de control automático de carga (Sol A, Sol B, Sol C), el motor trifásico de la bomba hidráulica MP, el motor trifásico del cabezal móvil MC, entre otros.

En el módulo de carga se encuentran el motor del cabezal móvil MC, la celda de carga CC, el sensor de desplazamiento Encoder ENC. El motor del cabezal móvil MC se conecta con el módulo de mando por medio de cableado y en este se encuentran los pulsadores HMS-3B, HMS-3 B para su manipulación y la bornera de alimentación principal X0 a la que están conectadas las tres fases y la tierra. La celda de carga CC se conecta a la bornera IN\_LOAD del módulo indicador y su señal sale por la bornera OUT\_LOAD que se conecta a los pines GND, AI.0 y AI.4 de la bornera de la tarjeta DAQ del módulo de supervisión que se conecta vía USB con el PC. El sensor de desplazamiento Encoder ENC se conecta a la bornera IN\_ENC de la tarjeta Shimadzu Assy en el módulo de mando y de esta tarjeta sale la señal del Encoder hacia los pines 4 y 2 de la



trifásico del cabezal móvil MC marca Yaskawa Electric Japan, compuestos de magneto térmicos, contactores, interruptores, pulsadores, bornera y un transformador reductor de 220VAC a 110VAC se encuentran consignados en, ver Figura 44; el diseño se elaboró con la herramienta CADe\_SIMU [18].

Figura 44 Circuito de potencia de la maquina Shimadzu



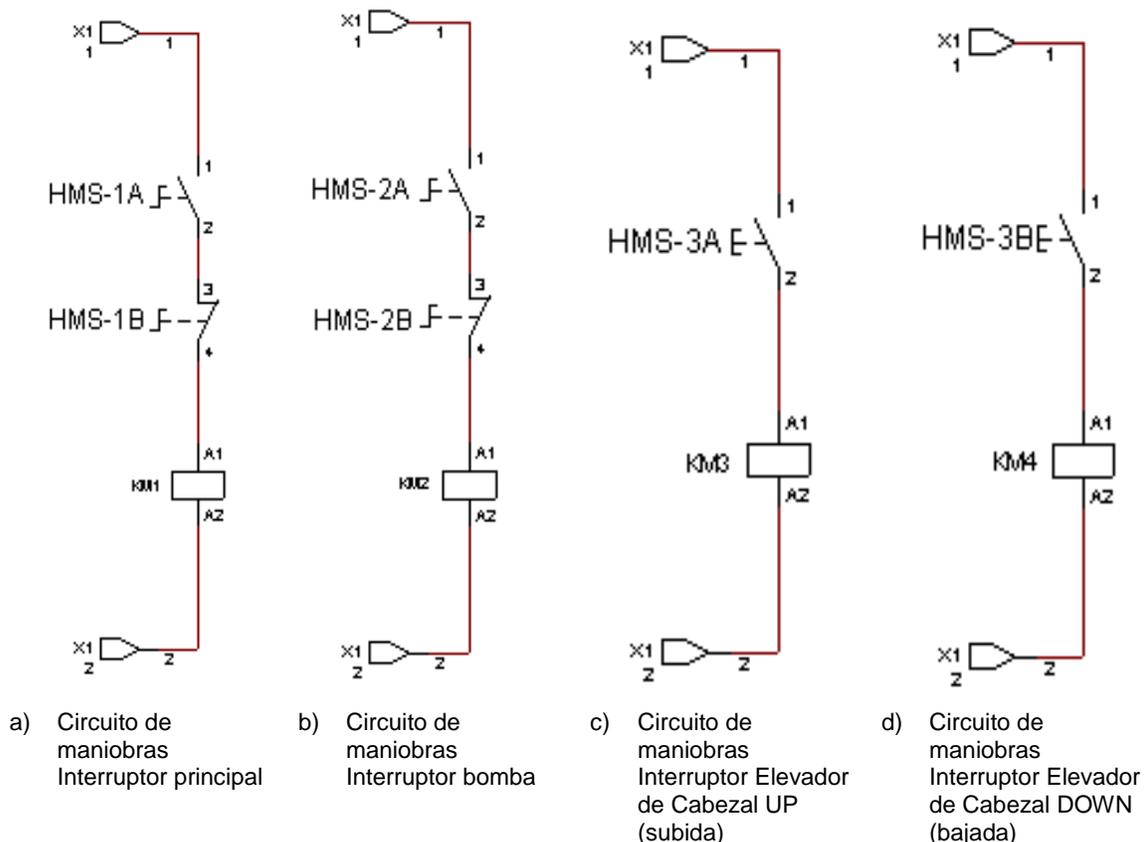
Fuente propia, abril de 2014

La descripción del diagrama de la Figura 44 es: llegan las tres fases R,S,T y tierra a la bornera X0, de esta las tres fases van conectadas a la entrada del magneto térmico principal Q1( Ref.TSD-30SA de 20) que tiene como misión la de proteger a la instalación y a los motores, abriendo el circuito si se presenta un corto circuito o una sobrecarga, de la salida de este sale U,V,W hacia la entrada del contactor KM1 (Ref.S-K11de Mitsubishi) el cual es accionado por medio de un circuito de maniobras llamado interruptor principal, de la salida de este sale U0,V0 y W0 que se distribuyen hacia las entradas de los magneto térmicos Q2 de 7,1A (MB30-SS de Mitsubishi), Q3 de 4A (MB30-SS de Mitsubishi) y hacia el transformador T. De la salida del magneto térmico Q2 sale U1,Q1 y W1 que van hacia la entrada del contactor KM2(Ref.S-K10 de Mitsubishi) el cual es accionado por medio de un circuito de maniobras llamado interruptor Bomba, de la salida de este sale U1, Q1 y W1 que van hacia las entradas del motor de la bomba hidráulica MP. De la salida del magneto térmico Q3 sale U2, Q2 y W2 que van hacia la entrada del contactor KM3 y KM4 (Ref.S-K10 de Mitsubishi) los cuales son accionados por medio de los circuitos de maniobras llamados respectivamente Interruptor Elevador de Cabezal UP

(subida) e Interruptor Elevador de Cabezal DOWN (bajada), de la salida de estos sale U2, Q2 y W2 que van hacia las entradas del motor del cabezal móvil MC. Al transformador T le llegan U y W, sale L1 y L2 que van hacia las entradas del magneto térmico Q4 de 3, las salidas de este 1y2 van a la bornera X1.

Los circuitos de maniobras anteriormente mencionados son los circuitos que permiten activar/desactivar cada uno de los cuatro contactores Q1, Q2, Q3 y Q4 por medio de la manipulación del interruptor principal(MAIN), interruptor Bomba (PUMP) y el interruptor elevador de cabezal(CROSSHEAD) que se encuentran en el panel de operación principal del módulo de mando. Se muestran los circuitos de maniobras de los diferentes contactores que presenta la máquina, entre ellos se encuentran: el circuito de maniobras Interruptor principal, ver Figura 45 a); el circuito de maniobras Interruptor Bomba, ver Figura 45 b); el circuito de maniobras Interruptor encendido de cabezal UP (subida), ver Figura 45 c) y el circuito de maniobras Interruptor encendido de cabezal DOWN (bajada), ver Figura 45 d).

Figura 45 Circuitos de Maniobras



Fuente propia, abril de 2014

### 3.1.6 Caracterización de las curvas de los sensores

Para tener una relación equivalente entre los datos que arroja la máquina y los datos que recibe el software, se realiza una caracterización de los sensores principales de la máquina, encoder y celda de carga para encontrar un valor equivalente de ganancia y procesarla internamente.

### a) Linealización para encoder

El encoder recibe una señal de desplazamiento vertical de la mesa del conjunto de marco móvil que convierte en una señal de pulsos, para encontrar la relación entre el desplazamiento y el número de pulsos se realizó una toma de datos utilizando un calibrador pie de rey y un metro de medición para calcular el desplazamiento de la máquina e ir registrando la cantidad de pulsos correspondientes a cada medida de desplazamiento. La máquina se configura manualmente a una velocidad de carga equivalente de 3,937 mm/s. La Figura 46 presenta el calibrador pie de rey usado en la toma de datos, se registran medidas cada 5 mm desde 0 a 50 mm. La Tabla 22 registra los datos medidos:

Figura 46 Toma de datos con calibrador Pie de Rey en la máquina Shimadzu



Fuente propia, abril de 2014

Tabla 22 Datos de caracterización del encoder de la maquina Shimadzu cada 5 mm (Velocidad promedio 2,43 mm/min)

Numero de muestras	Desplazamiento (mm)	Numero de pulsos
1	5	606
2	10	1208
3	15	1824
4	20	2428
5	25	3046
6	30	3639
7	35	4240
8	40	4830
9	45	5425
10	50	6015

Fuente propia, abril de 2014

El ensayo también se realizó con un metro de medición para tomar valores mayores, se registraron los datos que arrojo el ensayo de caracterización de la curva del encoder, ver Tabla 23.

Tabla 23 Datos de caracterización del encoder de la maquina Shimadzu cada 10 mm (Velocidad promedio 2,43 mm/min)

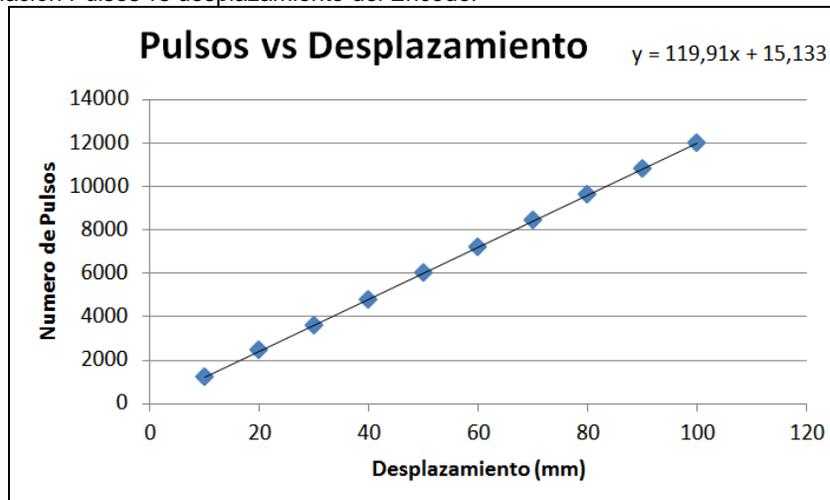
Numero de muestras	Desplazamiento (mm)	Numero de pulsos
1	10	1230
2	20	2458

3	30	3580
4	40	4758
5	50	5997
6	60	7211
7	70	8427
8	80	9636
9	90	10812
10	100	11994

Fuente propia, abril de 2014

La gráfica Pulsos vs desplazamiento resultante de la caracterización del encoder, ver Figura 47, permite determina el valor de la pendiente de la curva, hallando la relación de pulsos por milímetro del encoder.

Figura 47 Relación Pulsos vs desplazamiento del Encoder



Fuente propia, abril de 2014

Para encontrar un valor estadístico que nos permita asegurar la concordancia entre los datos tomados se realiza una linealización de datos y se determina el coeficiente de correlación que compruebe su eficiencia.

### Linealización datos del Encoder

Se encontró que el punto de la gráfica con más dispersión es el Dato N.4 el cual tiene un porcentaje de linealidad del 0,44%, este valor se encontró comparando los valores tomados con los calculados con la ecuación  $y = 119 \cdot x + 15,133$  de la gráfica de caracterización de la celda de carga.

Tabla 24 Tabulación de valores para encontrar porcentaje de linealidad de la curva del encoder

No.	Desplazamiento mm (X)	Numero de pulsos (Y)	M*X+15,133	C2-D2	% DE LINEALIDAD
1	10	1230	1214,233	-15,767	-0,131457395
2	20	2458	2413,333	-44,667	-0,372411206
3	30	3580	3612,433	32,433	0,270410205

4	40	4758	4811,533	53,533	0,446331499
5	50	5997	6010,633	13,633	0,113665166
6	60	7211	7209,733	-1,267	-0,010563615
7	70	8427	8408,833	-18,167	-0,1514674
8	80	9636	9607,933	-28,067	-0,234008671
9	90	10812	10807,033	-4,967	-0,041412373
10	100	11994	12006,133	12,133	0,101158913

Fuente propia, abril de 2014

Coeficiente de correlación (r): es un número que mide la 'bondad de ajuste' de la recta de regresión; este número debe estar entre -1 y 1, cuanto más cerca de -1 o 1 el ajuste es mejor, si el ajuste es deficiente se acerca a cero, este valor se puede calcular con la siguiente formula:

$$A = \frac{n(\sum xy) - (\sum x) * (\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} * \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta que el valor de desplazamiento corresponde al eje x y el valor de número de pulsos corresponde al eje y, n corresponde al número de datos; se calcula el valor del coeficiente por medio de la ecuación (1):

Con n=10

$$A = \frac{9892750}{287,2281 * 34443,243} = 0,9999678$$

Donde se muestra que el valor del coeficiente de correlación se acerca a 1, demostrando que el ajuste está dentro de los límites esperados.

### **b) Linealización para Celda de carga**

La celda de carga registra el valor de la carga aplicada y la convierte en una señal de voltaje entre 0 y 5 voltios, para encontrar la relación entre la presión aplicada y el voltaje entregado se realizó una toma de datos, variando el valor de la carga en un ensayo de tracción, se registraron los valores arrojados por la celda de carga y se tabularon, ver Tabla 25.

Tabla 25 Valores de presión y voltaje entregados por la celda de carga

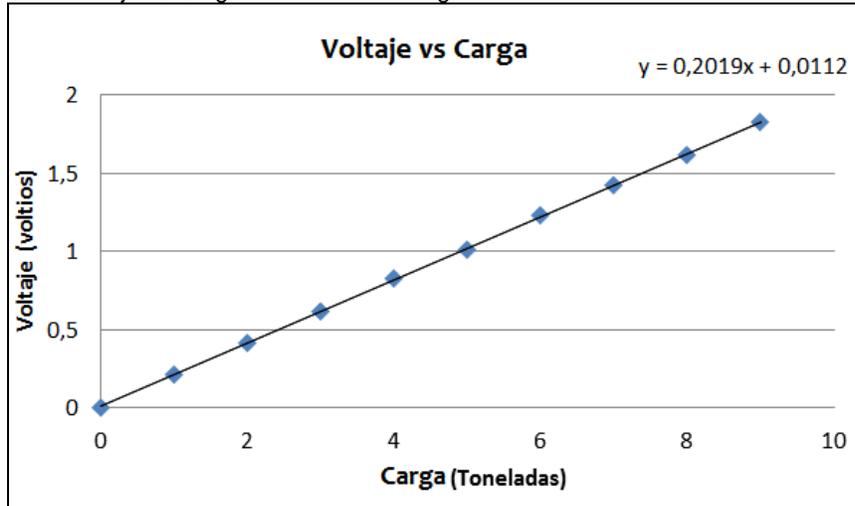
Carga (Toneladas)	Voltaje (v)
0	0,0043
1	0,2105
2	0,4192
3	0,6203
4	0,8296
5	1,01
6	1,23121
7	1,4272

8	1,61882
9	1,82681

Fuente propia, abril de 2014

Con los datos obtenidos se procede a graficarlos y obtener una tendencia lineal que nos proporciona una pendiente, ver Figura 48.

Figura 48 Grafica Voltaje vs Carga de la celda de carga



Fuente propia, abril de 2014

La gráfica Voltaje vs Carga que resulto de realizar la caracterización de la celda de carga ayuda a encontrar el valor de la pendiente de la curva encontrando la relación de voltios por carga que arroja la celda de carga, su valor es de 0,2019 voltios por cada tonelada de carga aplicada. Para encontrar un valor estadístico que nos permita asegurar la concordancia entre los datos tomados se realizaron pruebas estadísticas que comprueben su eficiencia.

### Linealización de los datos de la celda de carga

Se encontró que el punto de la gráfica con más dispersión es el Dato N.5 el cual tiene un porcentaje de linealidad del 0,59 %, este valor se encontró comparando los valores tomados con los calculados con la ecuación  $y = 2019 \cdot x + 0,0112$  de la gráfica de caracterización de la celda de carga, ver Tabla 26

Tabla 26 Valores de Carga y voltaje entregados por la celda de carga

No.	Carga (C)	Voltaje (V)	$2019 \cdot x + 0,0112$	$V - (2019 \cdot x + 0,0112)$	Porcentaje de linealidad
1	0	0,0043	0,0112	-0,0069	-0,377707589
2	1	0,2105	0,2131	-0,0026	-0,142324599
3	2	0,4192	0,415	0,0042	0,229908967
4	3	0,6203	0,6169	0,0034	0,186116783
<b>5</b>	<b>4</b>	<b>0,8296</b>	<b>0,8188</b>	<b>0,0108</b>	<b>0,591194487</b>
6	5	1,01	1,0207	-0,0107	-0,585720464
7	6	1,23121	1,2226	0,00861	0,471313382

8	7	1,4272	1,4245	0,0027	0,147798622
9	8	1,61882	1,6264	-0,00758	-0,414930945
10	9	1,82681	1,8283	-0,00149	-0,081562943

Fuente propia, abril de 2014

Coeficiente de correlación (r): es un número que mide la 'bondad de ajuste' de la recta de regresión; este número debe estar entre -1 y 1, cuanto más cerca de -1 o 1 el ajuste es mejor si el ajuste es deficiente se acerca a cero, este valor se puede calcular con la formula (1). Teniendo en cuenta que el valor de Carga corresponde al eje x y el valor de voltaje corresponde al eje y, n corresponde al número de datos; se calcula el valor del coeficiente así:

Con n=10

$$A = \frac{166,5698}{28,72281 * 5,79960} = 0,999932$$

Donde se muestra que el valor del coeficiente de correlación se acerca a 1, demostrando que el ajuste está dentro de los límites esperados.

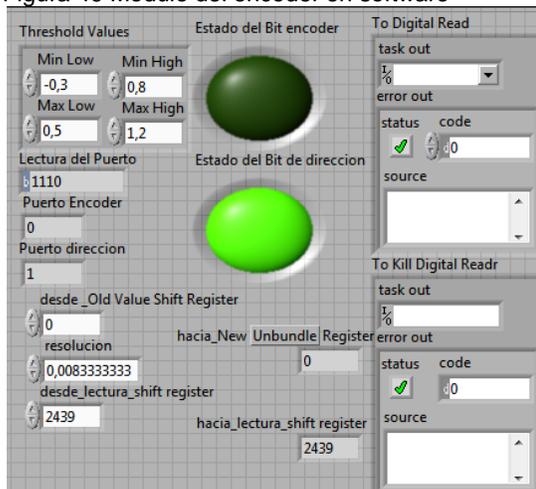
### 3.1.7 Descripción de módulos del software

El software está dividido en módulos como se especificó en el numeral 2.2.2 del capítulo 2, los cuales están compuestos por vi's y sub vi's descritos a continuación.

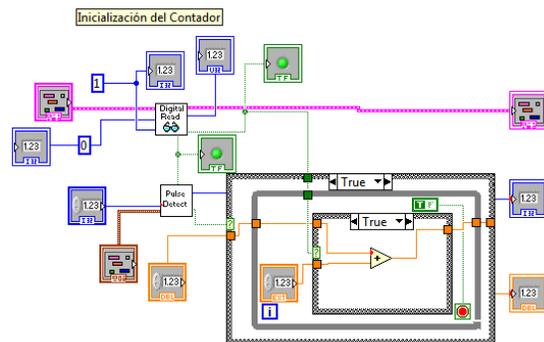
#### Módulo Encoder

Se diseñó un Vi llamado *módulo Encoder* el cual permite obtener el tren de pulsos y sentido de giro del Encoder, del desplazamiento que se presenta entre el cabezal móvil y cabezal fijo del módulo de carga de la máquina Shimadzu. Se muestra el panel frontal del módulo encoder, ver Figura 49 a) y el diagrama de bloques que lo compone, ver Figura 49 b).

Figura 49 Modulo del encoder en software



a) Panel frontal de módulo encoder

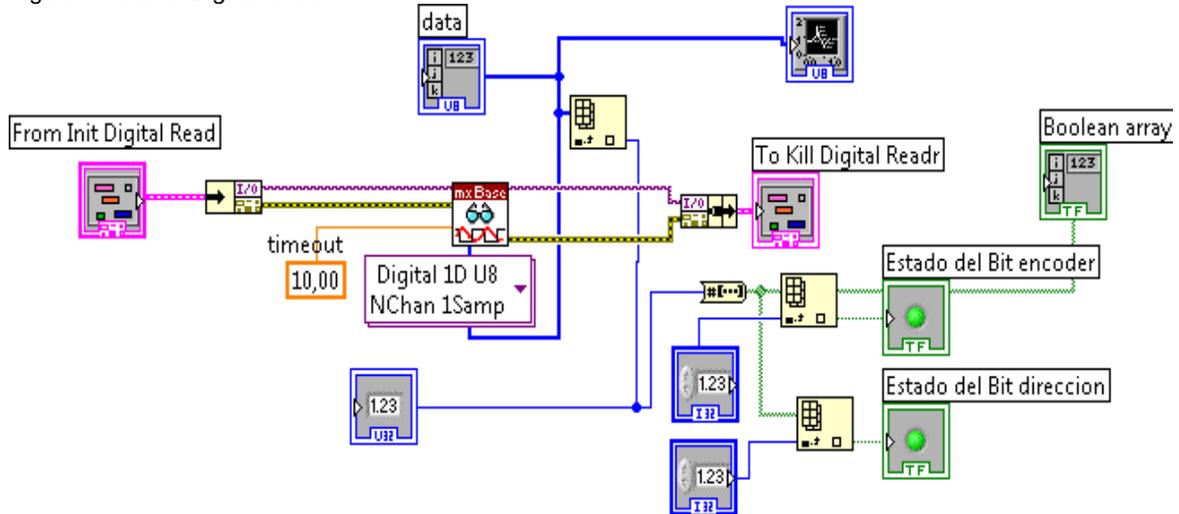


b) Diagrama de bloques de módulo encoder

Fuente propia, abril de 2014

El módulo encoder está compuesto por dos sub vi's, llamados Digital Read y Detector de pulsos. El *sub vi Digital Read* se utilizó la función mxBase read que permite adquirir por el puerto P1.0 digital de la tarjeta DAQ 6008 el tren de pulsos y del puerto P1.1 el sentido de giro del Encoder, ver Figura 50.

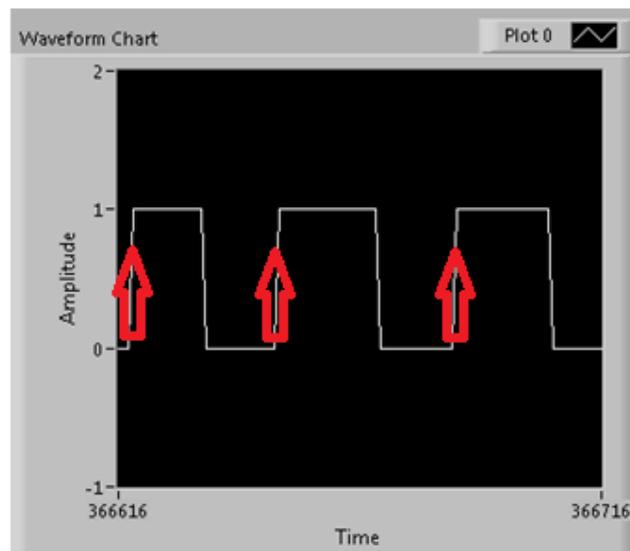
Figura 50 *Sub vi Digital Read*



Fuente propia, abril de 2014

El *sub vi Detector de pulsos* se diseñó para detectar los flancos de subida del tren de pulsos, para ello se programó de manera que se pueda comparar el estado anterior con el estado presente del tren de pulsos obteniendo un pulso o en consecuencia un flanco de subida. Este sub vi tiene como entrada el tren de pulsos obtenido por el *sub vi 'digital read'* y salda el pulso, ver Figura 51.

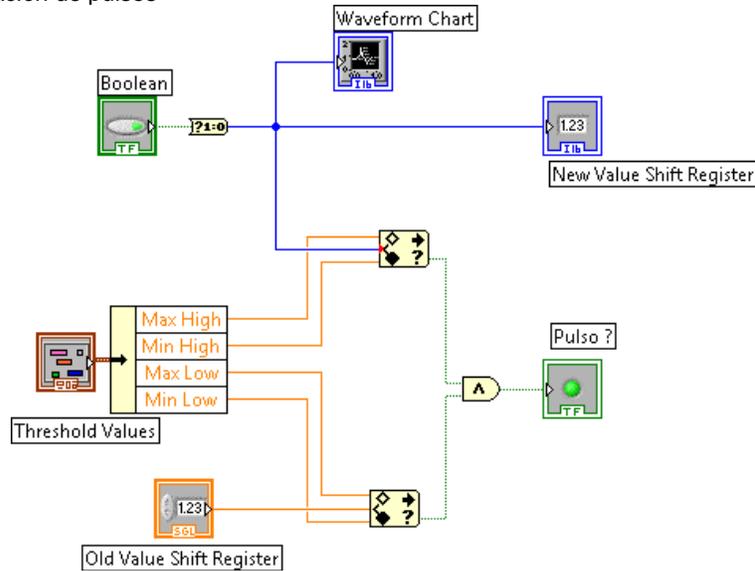
Figura 51 *Sub vi Detector de pulsos*



Fuente propia, abril de 2014

Se verifica que el pulso se encuentra dentro de los límites establecidos para tener mayor precisión en el conteo, ver Figura 52.

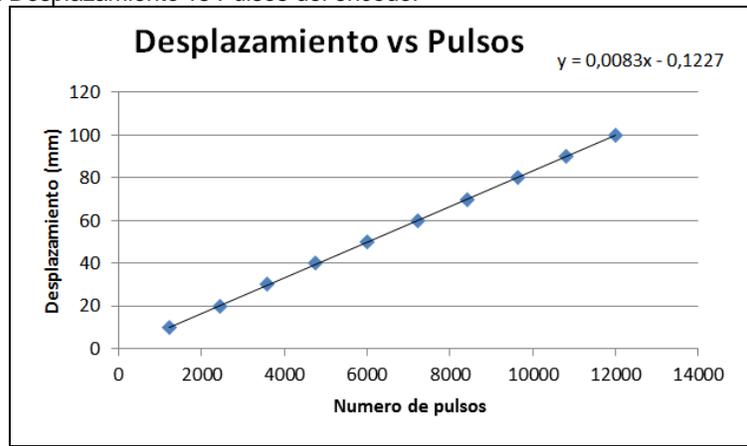
Figura 52 Verificación de pulsos



Fuente propia, abril de 2014

En el vi Encoder se realiza el conteo de los pulsos dependiendo del sentido del Encoder se suma una constante o por el contrario se resta. Esta constante se obtuvo al realizar la caracterización del Encoder la cual es 0.0083 para que la señal del Encoder sea proporcional a las unidades de desplazamiento, se realizó una gráfica inversa a la mostrada en la linealización para cumplir con el fin expuesto, ver Figura 53.

Figura 53 Gráfica Desplazamiento vs Pulsos del encoder



Fuente propia, abril de 2014

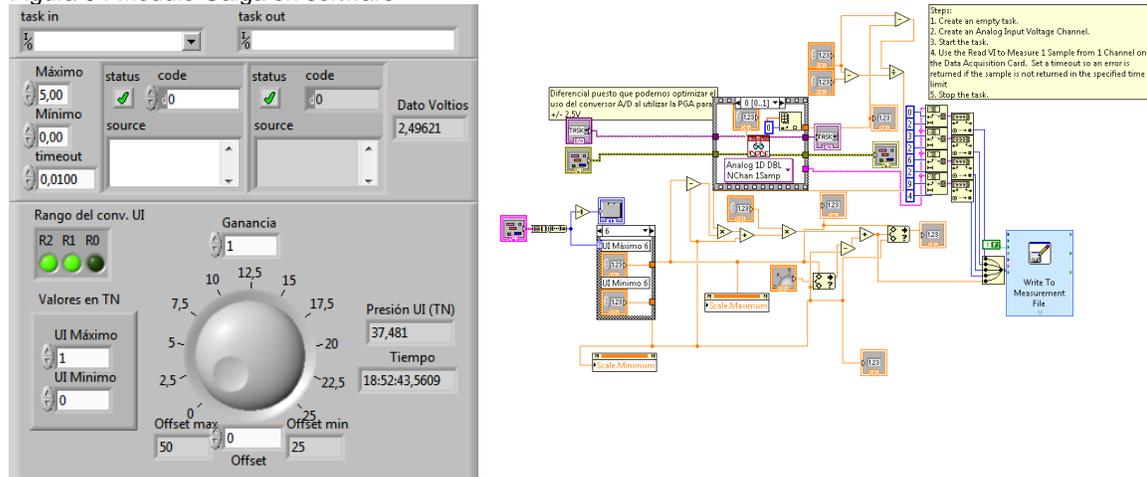
La salida de este vi es el desplazamiento que posteriormente será visualizado en la graficas del módulo de visualización.

**Modulo Celda de carga**

Para el módulo de la celda de carga se diseñó un vi llamado *Módulo Galga* el cual permite por medio del puerto ai0 de la tarjeta DAQ 6008 se adquiera la señal de voltaje de la celda de carga correspondiente a la carga aplicada, ver Figura 54 a). El diagrama de bloques del módulo galga en el cual se utiliza la

función *mxBase read* que permite leer el puerto analógico ai0 de la tarjeta DAQ para obtener el voltaje de la celda de carga, ver Figura 54 b).

Figura 54 Modulo Galga en software



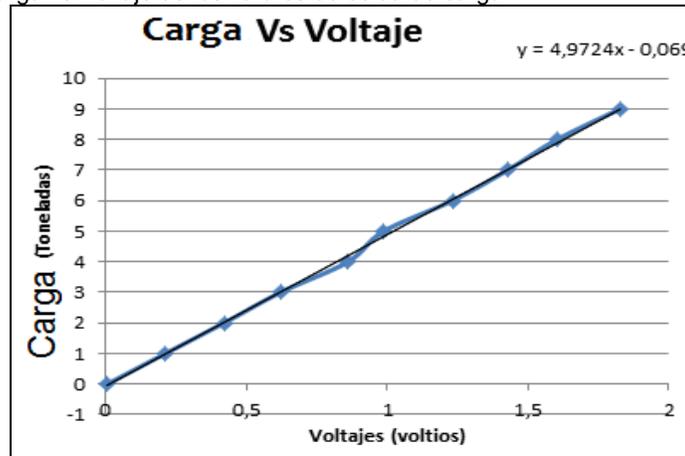
a) Panel de control de celda de carga

b) Diagrama de bloques de celda de carga

Fuente propia, abril de 2014

Se realiza el procesamiento del voltaje para convertirlo a unidades de carga y mostrarlo en el módulo de visualización, para esto se hace la caracterización de la señal de la celda de carga obteniendo como ganancia o constante el valor de la pendiente de la gráfica Carga vs voltaje 4,972, ver Figura 55.

Figura 55 Grafica Carga vs Voltaje de los valores de celda de carga

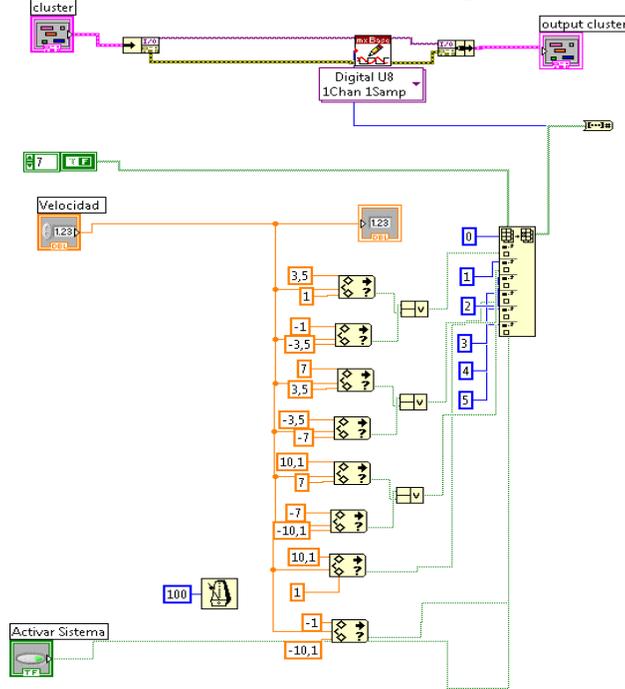


Fuente propia, abril de 2014

### Módulo Manipulación-Válvula de control automático de carga

Se diseñó un vi control de válvulas en el que se programó la lógica para manipular los voltajes de la fuente regulada de 12VDC, el sentido de aplicación de la carga (Sol A, Sol B) y la activación/desactivación del Sol C utilizando la función *write mxBase* la cual permite configurar las salidas de la tarjeta DAQ 6008, ver Figura 56

Figura 56 Modulo Manipulación (válvulas control automático de carga)

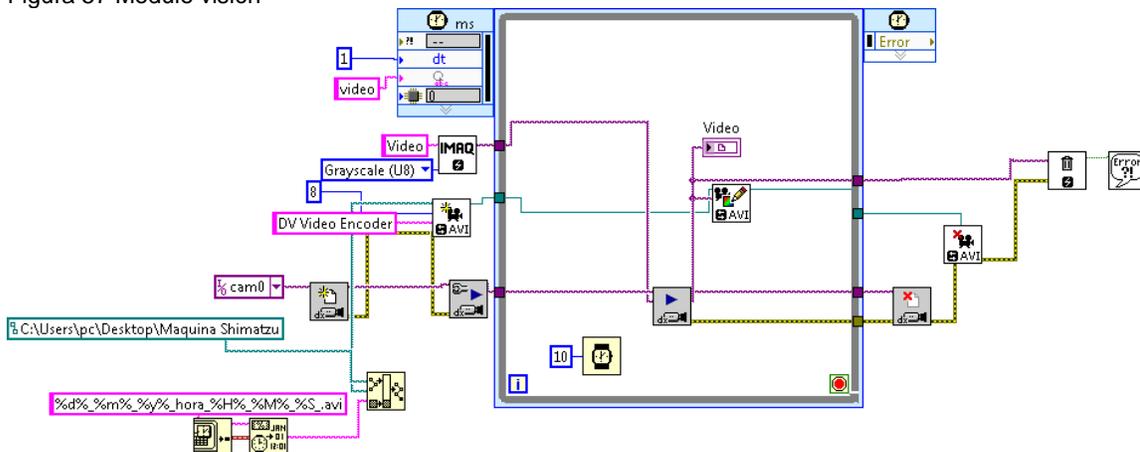


Fuente propia, abril de 2014

### Módulo Visión

Se diseñó un módulo que permite la captura de video en tiempo real del ensayo por medio de una Cámara web Genius eye312; para esto se utilizó el módulo de NI visión que contiene las funciones NI Imaq que permiten grabar videos AVI, ver Figura 57.

Figura 57 Modulo visión



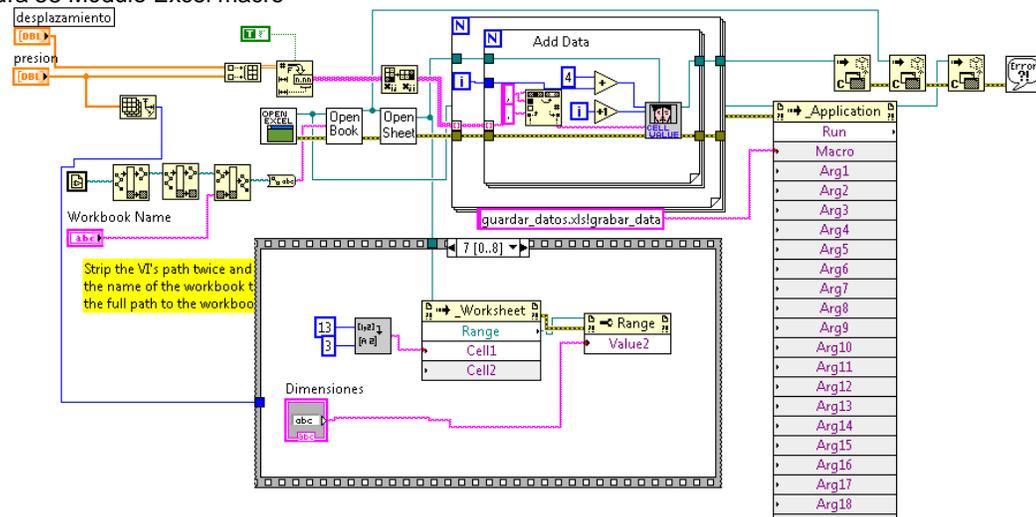
Fuente propia, abril de 2014

### Módulo Guardar Datos

Para este módulo se diseñó un vi llamado *Excel macro* que permite exportar los datos de la celda de carga y del Encoder a un libro de Excel. Exporta una tabla con los datos de carga y de desplazamiento como también los datos de características del ensayo. En Excel se creó un macro que permite realizar el

guardado de los datos y la creación de una gráfica con los datos exportados, ver Figura 58.

Figura 58 Módulo Excel macro



Fuente propia, abril de 2014

### 3.2 Montajes y ajustes finales

Los montajes y los ajustes finales se evidencian mediante fotografías tomadas tanto de la ubicación de la máquina como de la implementación hardware y software realizado.

#### 3.2.1 Imágenes de distribución física:

Se muestra la distribución física del Laboratorio de estructuras de la facultad de ingeniería civil, la mesa de soporte, mesas de prueba y sillas para estudiantes, ver Figura 59 a), la máquina Shimadzu se encuentra en el costado derecho del laboratorio de estructuras se presenta en Figura 59 b).

Figura 59 Distribución física del Laboratorio de estructura



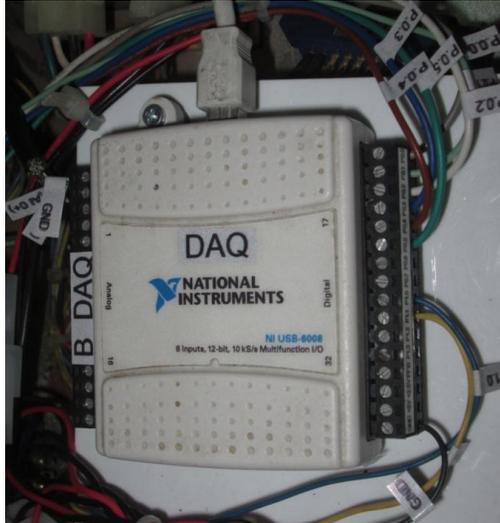
a) Laboratorio de Estructuras de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca  
Fuente propia, abril de 2014

b) Máquina Shimadzu ubicada en el laboratorio de estructuras

### 3.2.2 Imágenes de tarjetas y circuitos implementados con respectivo cableado:

Se muestra el montaje de la tarjeta DAQ con el cableado correspondiente, ver Figura 60.

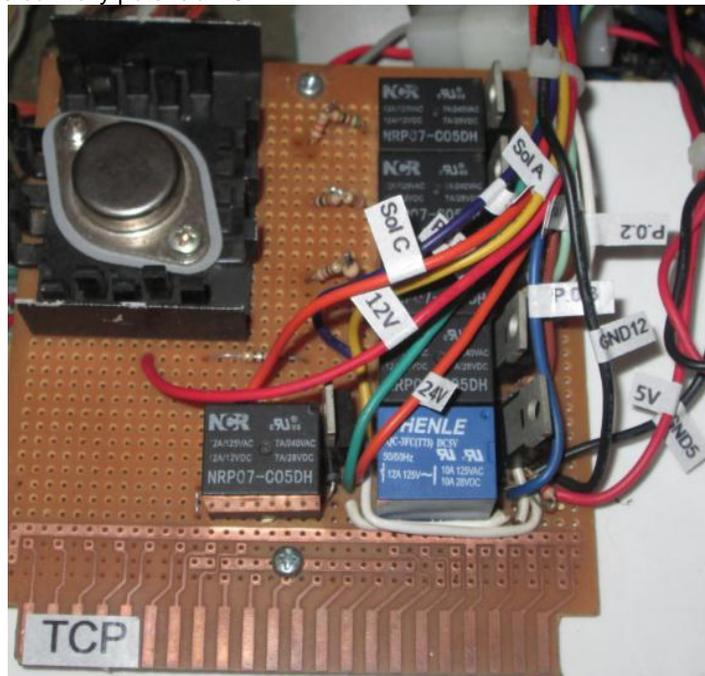
Figura 60 Tarjeta de adquisición de datos DAQ



Fuente propia, marzo de 2014

La implementación de la tarjeta de control y potencia, con el cableado correspondiente se muestra en, ver Figura 61.

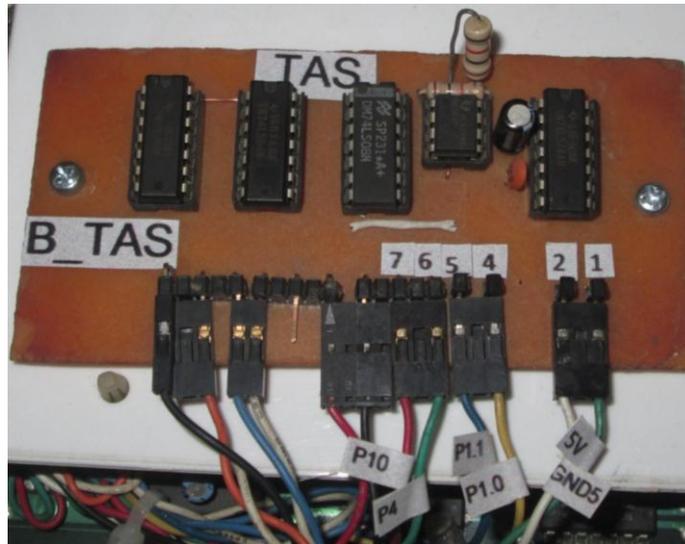
Figura 61 Tarjeta de control y potencia TCP



Fuente propia, marzo de 2014

La tarjeta de acondicionamiento de señales, con el cableado correspondiente se muestra en, ver Figura 62.

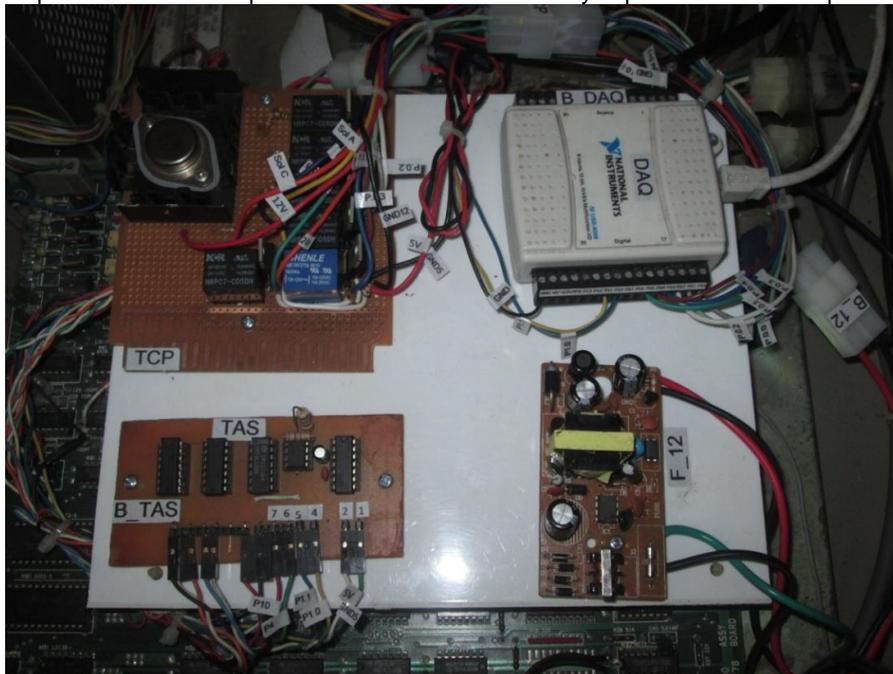
Figura 62 Tarjeta de acondicionamiento de señales TAS



Fuente propia, marzo de 2014

Se muestra el esquema eléctrico completo del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu, compuesta por la tarjeta de control y potencia, la tarjeta de adquisición de datos DAQ 6008, la tarjeta acondicionadora de señales TAS y una fuente de 12v, ver Figura 63.

Figura 63 Esquema eléctrico completo del sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu



Fuente propia, marzo de 2014

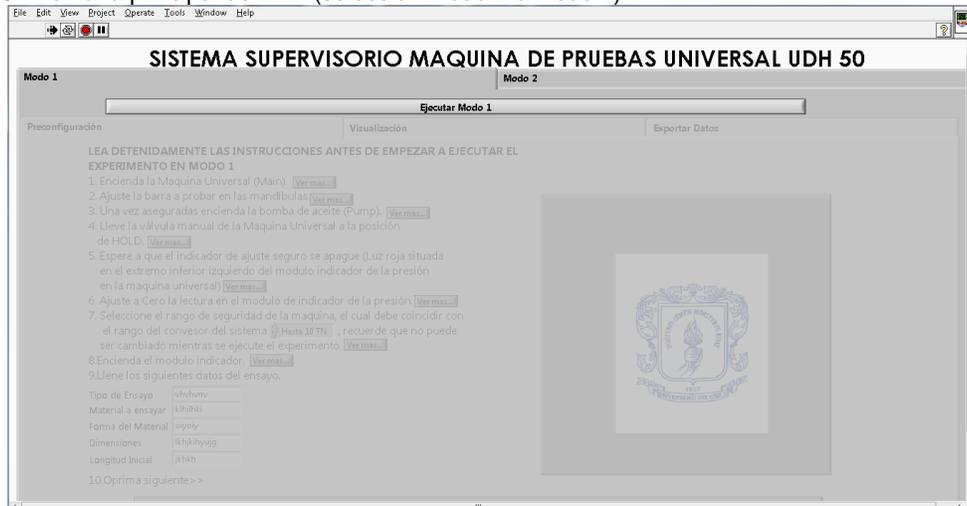
### 3.2.3 Diseño detallado de interface

Partiendo de las necesidades de los usuarios de la planta y de los requerimientos planteados en el Capítulo 2 y atendiendo a los modelos de la norma ISA 88 planteados en el capítulo 2 de esta monografía, es claro que la

aplicación HMI debe permitir desarrollar de forma precisa y clara cualquier tipo de ensayo. A continuación se hace una descripción de las pantallas principales que hacen parte de la interfaz elaborada.

Se muestra la ventana de inicio del HMI, donde se selecciona y ejecuta el modo de trabajo, Modo 1 o modo 2 según se requiera; a continuación se procede a seguir una serie de pasos, para asegurarse de que la máquina este encendida, que inicie desde cero y ajustar los valores de los requerimientos del ensayo para tener una ficha técnica del ensayo al final, ver Figura 64.

Figura 64 Ventana principal del HMI (selección modo 1 o modo 2)



Fuente propia, abril de 2014

Al elegir el modo 1 de funcionamiento se despliega una ventana de pre configuración, donde se explica paso a paso las instrucciones a seguir para realizar el ensayo, luego permite un registro de datos como tipo de ensayo, tipo de material, dimensiones de probeta y longitud inicial, ver Figura 65.

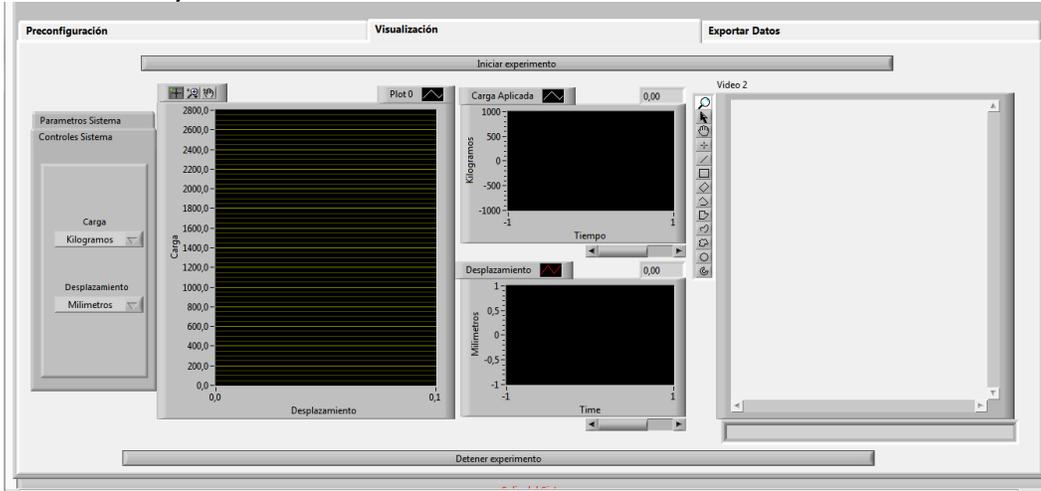
Figura 65 Ventana de instrucciones antes de iniciar ensayo Modo 1



Fuente propia, abril de 2014

Se muestra la visualización del ensayo en modo 1 (manual), a la izquierda de la imagen se muestra las unidades del ensayo, en el medio se muestran las gráficas de desplazamiento y Carga, y a la derecha se muestra la visualización del video en tiempo real, ver Figura 66.

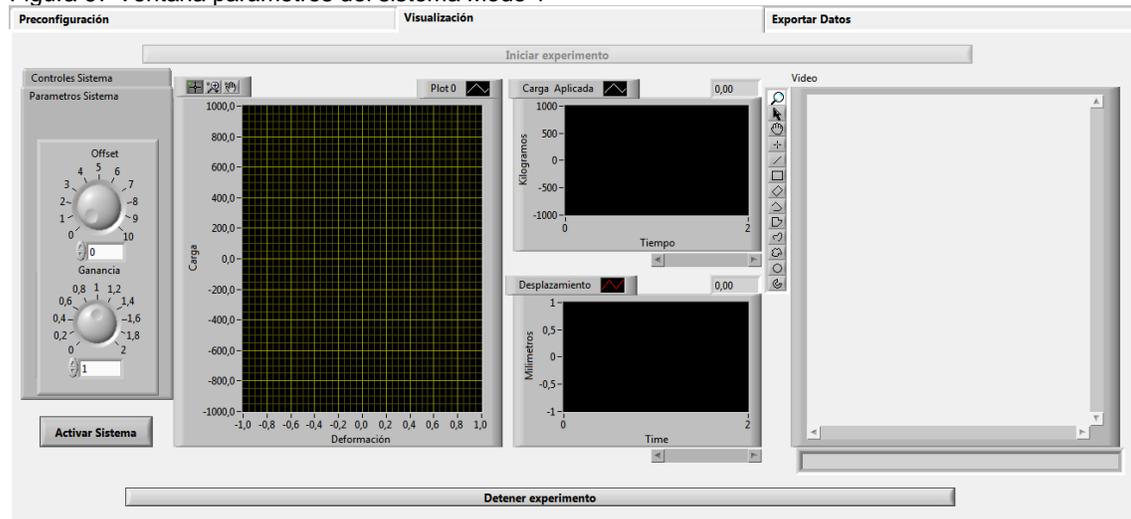
Figura 66 Ventana ejecución Modo 1



Fuente propia, abril de 2014

En la Figura 67 se muestra el módulo de visualización del ensayo en modo 1 manual, a la izquierda de la imagen se muestran los parámetros del sistema, como offset que sirve para Subir o bajar la gráfica, y ganancia; también se encuentra el módulo visualización, en el centro se muestran las gráficas de desplazamiento y Carga y a la derecha se muestra el video en tiempo real.

Figura 67 Ventana parámetros del sistema Modo 1

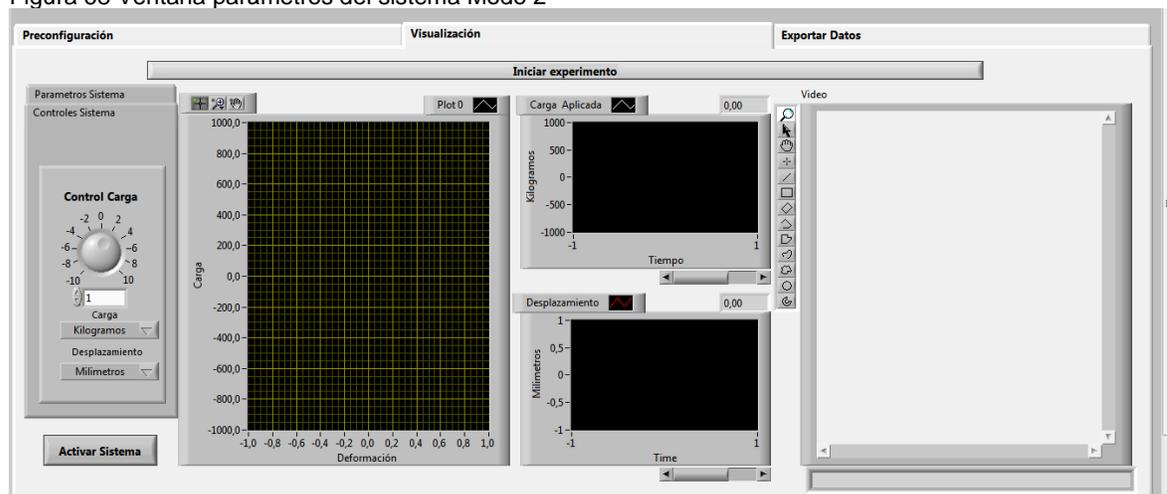


Fuente propia, abril de 2014

En la Figura 68 se muestra el módulo de visualización del ensayo en modo 2 automático, a la izquierda de la imagen se muestran los controles del sistema, donde se encuentra el módulo de manipulación 'control de velocidad del ensayo', unidades de Carga y desplazamiento; en el centro se muestran las

gráficas de desplazamiento vs carga y a la derecha se muestra el video en tiempo real.

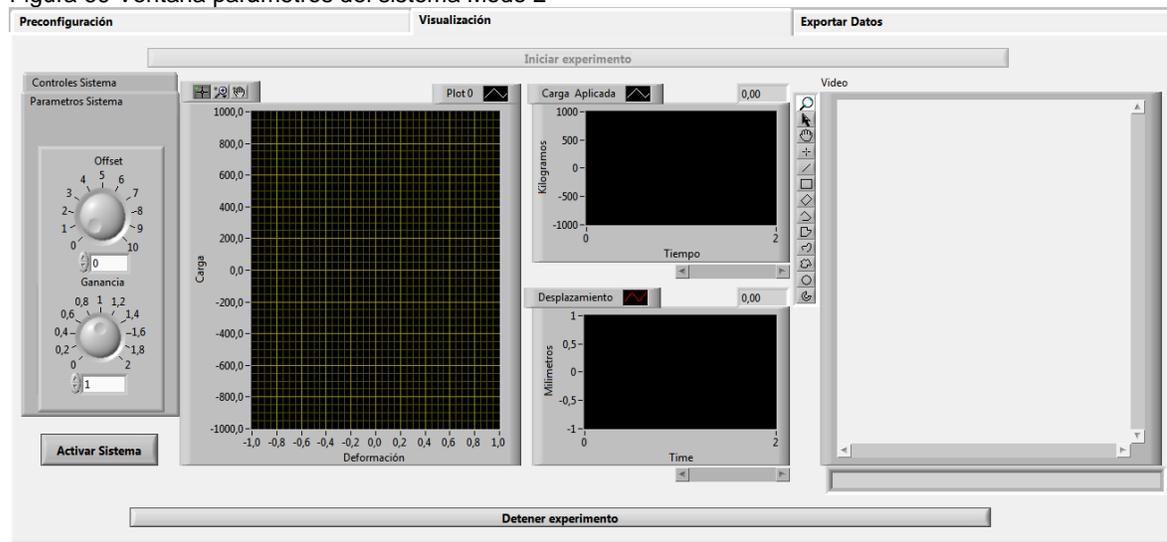
Figura 68 Ventana parámetros del sistema Modo 2



Fuente propia, abril de 2014

En la Figura 69 se muestran los parámetros del sistema como offset y ganancia, los cuales no son modificados, son dejados por defecto en la calibración de la máquina y del software.

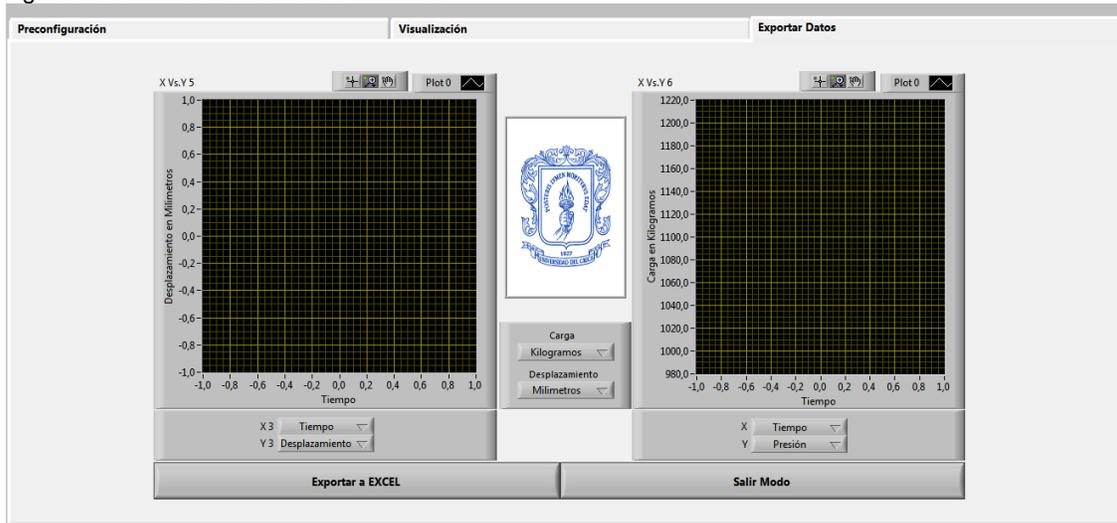
Figura 69 Ventana parámetros del sistema Modo 2



Fuente propia, abril de 2014

En la Figura 70 se describe el módulo exportar datos donde se muestran las gráficas finales del ensayo con respecto al tiempo y se encuentra la opción de exportar a Excel para verificar los datos tomados y obtener una gráfica para su correspondiente estudio, esta ventana es para modo 1 y para modo 2.

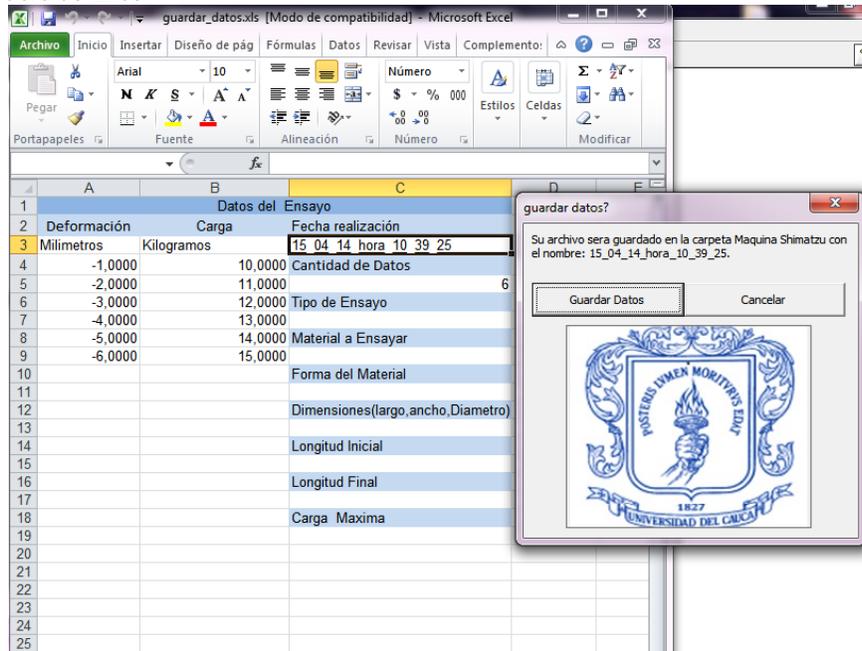
Figura 70 Ventana de Graficas avanzadas



Fuente propia, abril de 2014

En la Figura 71 se muestra la ventana de exportación de datos a Excel, donde se tiene la opción de guardar los datos o cancelar la acción y salir de Excel; al fondo se muestra la plantilla que se utiliza para ubicar los datos de carga y deformación del ensayo, este archivo se guarda con la fecha y hora de realización del ensayo.

Figura 71 Macro de Excel



Fuente propia, abril de 2014

## CAPITULO 4 PRUEBAS

Para el capítulo de pruebas se realiza una serie de pruebas en la máquina Shimadzu con ayuda del sistema de monitoreo y supervisión desarrollado en el presente trabajo de pregrado, en cada uno de los tres ensayos principales: Tensión, Compresión y Flexión, utilizando los dos modos de manejo de la máquina. Se muestra la matriz de ensayos a realizar, ver Tabla 27, por cada tipo de ensayo diferente se realizan dos ensayos. Se realiza un registro gráfico y de datos de cada prueba, se configuran los parámetros necesarios, como tipo de material, dimensiones, tipo de montaje y por último se mostraran los resultados obtenidos en cada ensayo.

Tabla 27 Pruebas de tres tipos de ensayos realizados en la máquina Shimadzu

Manejo de la máquina	Nombre de ensayo			
	Tensión	Compresión		Flexión
Modo 1	1	-		5
Modo 2	2	3	4	6

Fuente propia, abril de 2014

### 4.1 Ensayo de Tracción

Las pruebas de tracción se utilizan para definir la resistencia de los metales y aleaciones, esta prueba trata de conseguir que la probeta se rompa en un periodo relativamente corto. El ensayo de tensión se lleva a cabo mediante la aplicación gradual de una fuerza tensora a la probeta hasta llegar a la fractura de ésta.

#### - Prueba No.1

**Montaje:** El montaje para el ensayo de tensión es sencillo, se mueve el cabezal del marco móvil para ubicar la varilla sobre este y ajustarla con la palanca que se encuentra en los cabezales, ver Figura 72 a), para este ensayo ocasionalmente se adiciona un deformimetro a la varilla para observar el fenómeno detalladamente, ver Figura 72 b).

Figura 72 Montaje ensayo de tensión



a) Varilla entre mordazas para ensayo de tensión

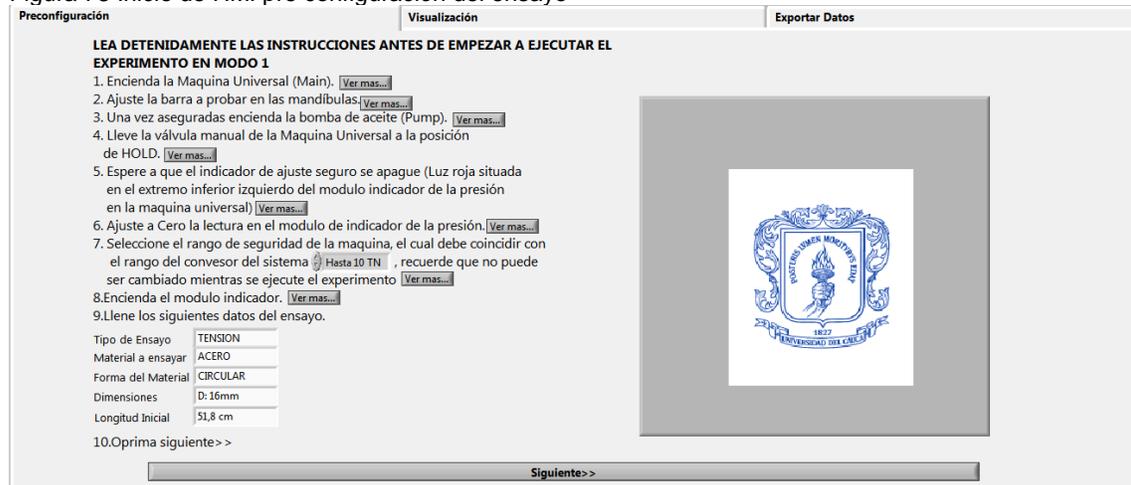


b) Deformimetro ubicado en la probeta para verificar desplazamiento

Fuente propia, abril de 2014

Luego se inicia el software y se selecciona el modo de trabajo, luego se prosigue a llenar los datos correspondientes al material a ensayar para tener un registro estilo ficha técnica al final del ensayo en los resultados, ver Figura 73.

Figura 73 Inicio de HMI pre configuración del ensayo

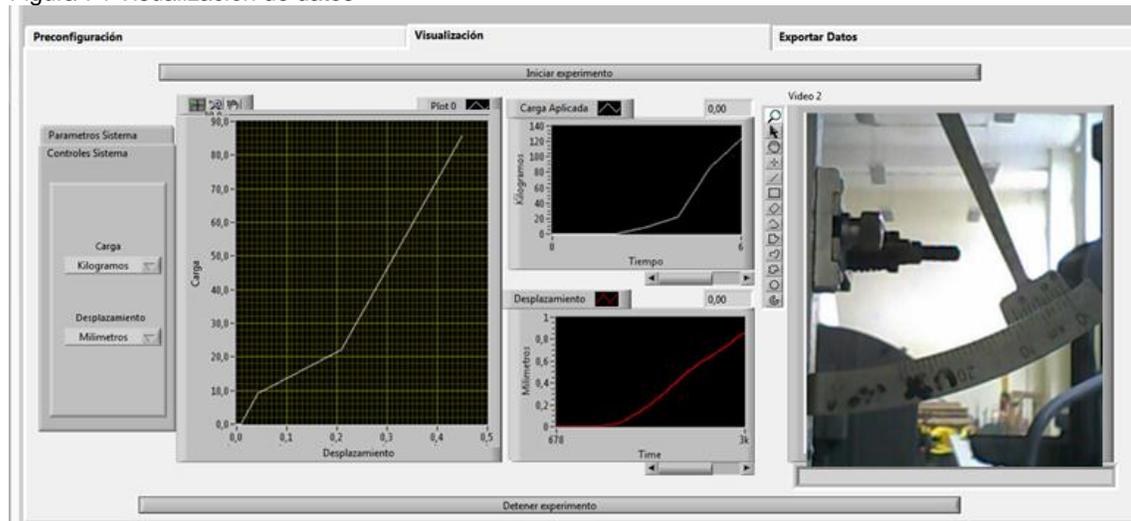


Fuente propia, abril de 2014

## Resultados

El módulo de visualización permite supervisar el recorrido paso a paso del desplazamiento y la Carga que se aplica a la probeta, en ella se encuentra la gráfica de Carga vs desplazamiento, y las gráficas de Carga con respecto al tiempo al igual que la de desplazamiento, en el recuadro de la derecha se muestra el video que visualiza todo el ensayo, ver Figura 74.

Figura 74 Visualización de datos



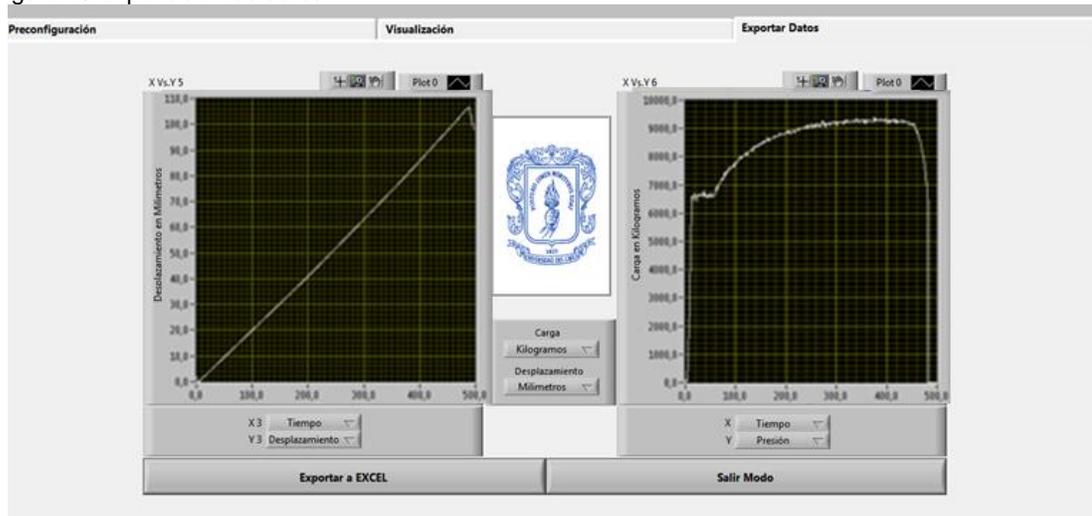
Fuente propia, abril de 2014

El ensayo finaliza cuando la probeta se rompe, dejando como valores importantes el valor pico de carga y el desplazamiento que hubo en este transcurso del ensayo, a continuación se presentan las gráficas finales de

Carga y desplazamiento con respecto al tiempo y se tiene la opción de exportar a Excel o simplemente salir del Modo, en este caso se exporto y se obtuvieron los datos y la gráfica final del ensayo, tiene la opción de guardar los datos al igual que el video, ver Figura 74.

**Análisis de resultados:** En el inicio de la prueba presento una deformación directamente proporcional al esfuerzo aplicado hasta el esfuerzo de fluencia, en donde empieza a ocurrir fluctuación de la carga con una relativa deformación al salir de la zona de fluencia, empieza a aumentar el esfuerzo máximo, ocurrido esto disminuye el esfuerzo debido a la reducción de área localizada, llevando a la falla inminente de la probeta, hasta el esfuerzo último.

Figura 75 Exportación de datos



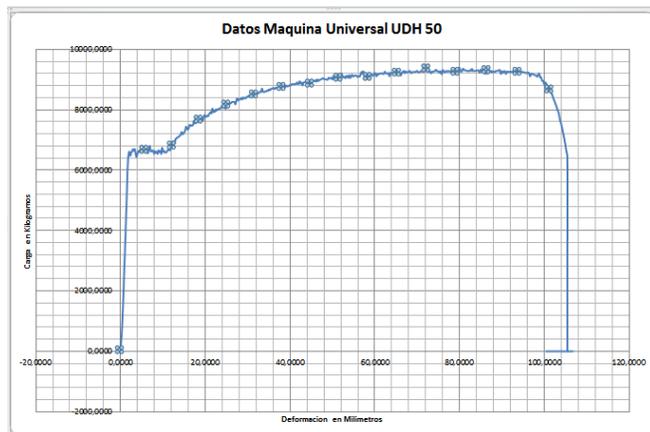
Fuente propia, abril de 2014

Al exportar los datos a Excel, estos se muestran en forma ordenada junto con una ficha técnica del material ensayado, ver Figura 76.

Figura 76 Datos exportados a Excel

Datos del Ensayo		
Deformación en Milímetros	Carga en Kilogramos	Fecha realización
0.0000	21,9943	09_04_14_hora_16_31_47
0.0000	85,6258	Cantidad de Datos 499
0.0000	34,7206	Tipo de Ensayo
0.0000	47,4469	tension
0.0917	251,0677	Material a Ensayar
0.2833	594,6779	acero
0.4833	1218,2666	Forma del Material
0.6833	1892,7606	varilla
0.8833	2732,6964	Dimensiones(largo,ancho,Diámetro)
1.0750	3470,8219	16mm*50cm
1.2750	4361,6630	Longitud Inicial
1.4667	5150,6936	50cm
1.6583	6054,2610	Longitud Final
1.8500	6486,9552	
2.0583	6614,2182	Carga Maxima
2.2667	6474,2289	
2.4750	6576,0393	
2.6833	6614,2182	
2.8917	6690,5760	
3.1000	6639,6708	
3.3083	6703,3023	
3.5167	6588,7656	
3.7333	6436,0500	
3.9417	6525,1341	

a) Datos del ensayo ordenados en Excel



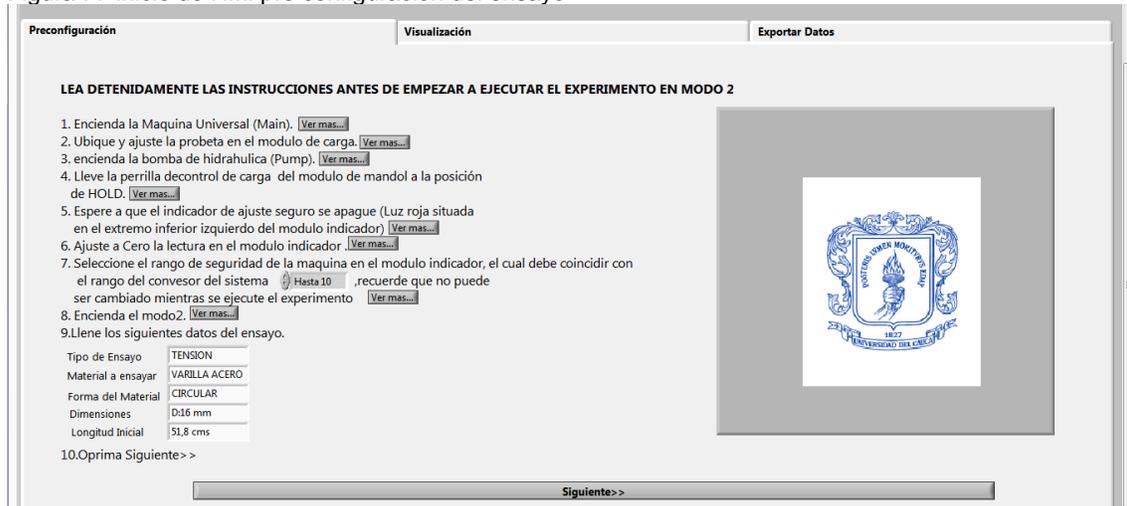
b) Grafica con puntos específicos en Excel

Fuente propia, abril de 2014

## - Prueba No.2

**Montaje:** El montaje para el ensayo de tensión es sencillo debido a que no se necesita ninguna clase de aditamentos, para esta prueba será el mismo montaje que se realizó para la prueba No.1, luego se inicia el software y se selecciona el modo de trabajo, se prosigue a llenar los datos correspondientes al material a ensayar para tener un registro estilo ficha técnica al final del ensayo en los resultados, ver Figura 77.

Figura 77 Inicio de HMI pre configuración del ensayo



Fuente propia, abril de 2014

Oprimir el botón de activación 'Modo 2' en el panel de operación principal, ver figura 77.

Figura 78 Botón de Activación 'Modo 2'



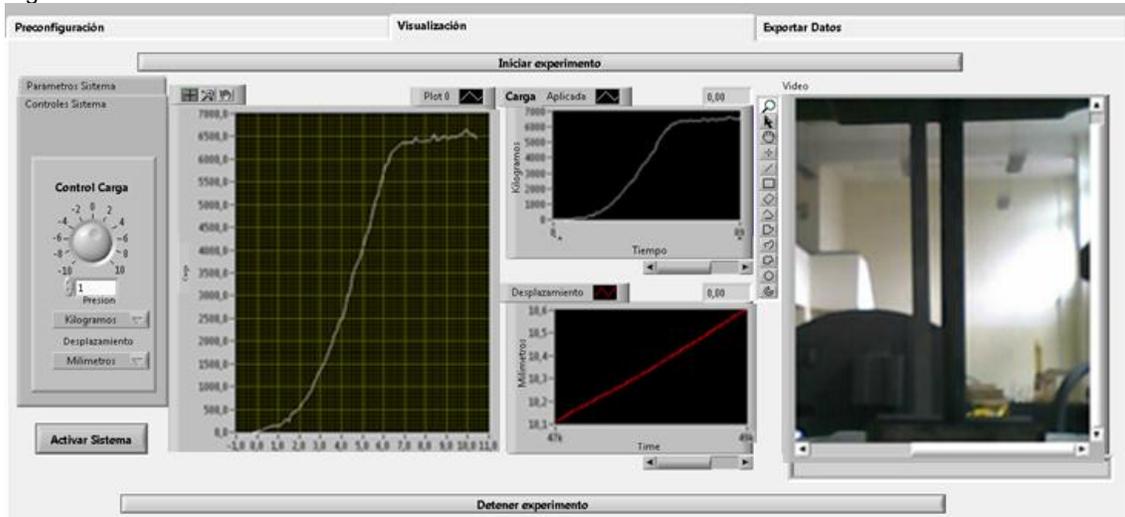
Fuente propia, abril de 2014

## Resultados

El módulo de visualización permite supervisar el recorrido paso a paso del desplazamiento y la Carga que se aplica a la probeta, en ella se encuentra la gráfica de Carga vs desplazamiento, y las gráficas de Carga con respecto al tiempo al igual que la de desplazamiento, en el recuadro de la derecha se

muestra el video que visualiza todo el ensayo, en el modo 2 se encuentra la perilla de velocidad, donde se manipula la velocidad de carga con que se aplica al ensayo, ver Figura 79.

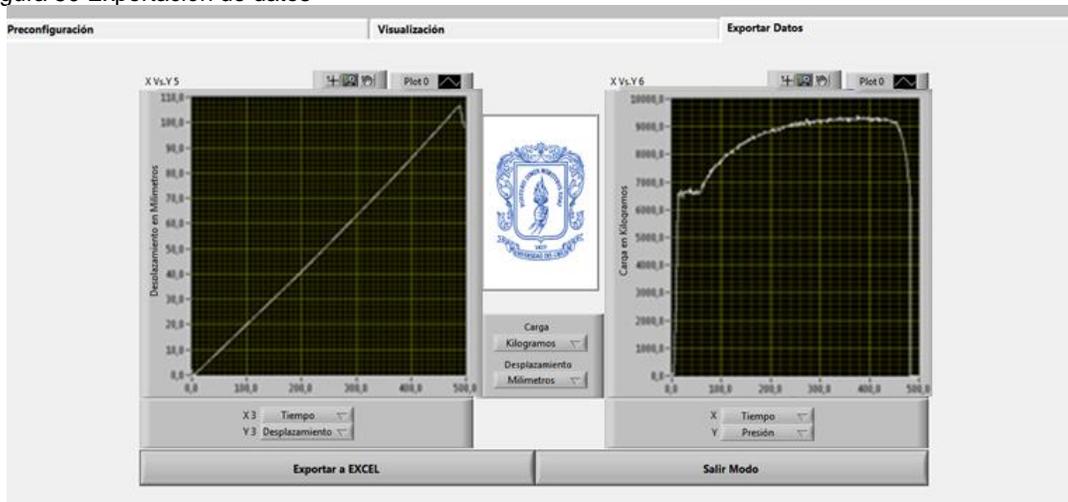
Figura 79 Visualización de datos



Fuente propia, abril de 2014

El ensayo finaliza cuando la probeta se rompe o antes, dependiendo de los requerimientos del ensayo, dejando como valores importantes el valor pico de carga y el desplazamiento que hubo en este transcurso del ensayo, a continuación se presentan las gráficas finales de Carga y desplazamiento con respecto al tiempo y se tiene la opción de exportar a Excel o simplemente salir del Modo, en este caso se exporto y se obtuvieron los datos y la gráfica final del ensayo, tiene la opción de guardar los datos al igual que el video, ver Figura 80.

Figura 80 Exportación de datos



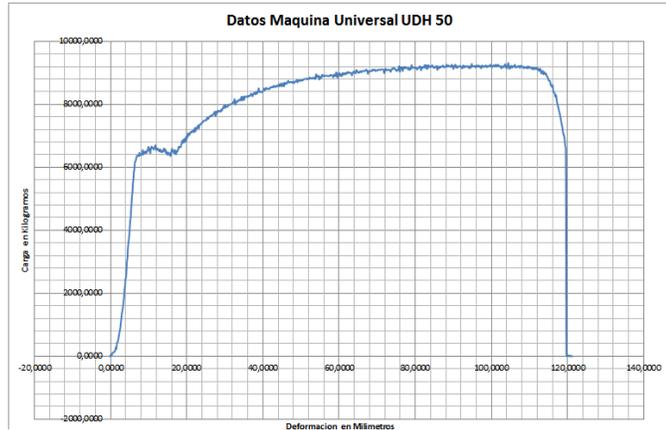
Fuente propia, abril de 2014

Al exportar los datos a Excel, estos se muestran en forma ordenada junto con una ficha técnica del material ensayado, ver Figura 81.

Figura 81 Datos exportados a Excel

Datos del Ensayo		
Deformación en Milímetros	Carga en Kilogramos	Fecha realización
-0.2000	0.0000	09/04/14 hora 15:56:57
0.0083	0.0000	Cantidad de Datos 833
0.0083	47.4469	Tipo de Ensayo
0.0083	9.2680	Tension
0.0083	34.7206	Material a Ensayar
0.0083	0.0000	Acero
0.0083	9.2680	Forma del Material
0.0083	21.9943	Varrilla
0.1250	34.7206	Dimensiones(largo,ancho,Diametro)
0.2417	21.9943	D16mm*51,8cm
0.3583	72.8995	Longitud Inicial
0.4833	98.3521	51,8cm
0.6083	111.0784	Longitud Final
0.7417	136.5310	
0.8750	136.5310	Carga Maxima
1.0000	136.5310	
1.1333	161.9836	
1.2583	225.6151	
1.3833	289.2467	
1.5167	238.3414	
1.6417	416.5097	
1.7750	441.9623	
1.9000	467.4149	
2.0333	556.4990	

a) Datos del ensayo ordenados en Excel



b) Gráfica con puntos específicos en Excel

Fuente propia, abril de 2014

## 4.2 Ensayo de compresión

Las pruebas de compresión se utilizan para definir la resistencia de los metales y aleaciones, esta prueba trata de conseguir que la probeta se rompa en un periodo relativamente corto. El ensayo de compresión se lleva a cabo mediante la aplicación gradual de una fuerza compresora a la probeta hasta llegar a la fractura de ésta.

### - Prueba No.3

En la Figura 82 a) se muestra la elaboración de un prisma en ladrillo y concreto en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca y en la Figura 82 b) se muestra el elemento con aditamentos necesarios según normas de construcción para el ensayo.

Figura 82 Elemento a comprimir Prisma tipo



a) Elaboración de prisma tipo  
Fuente: Tomado de [19], abril de 2014



b) Probeta Prisma tipo

**Montaje:** Se ensambla el aditamento No. 1 en el cabezal móvil del módulo de carga y se procedió a ubicar el prisma sobre la mesa del módulo de carga, ver Figura 83 a), se ubicó la cámara web en la parte trasera del módulo de carga para observar el comportamiento del prisma, es importante tener en cuenta que para este tipo de ensayos se deben proteger los ejes de la máquina de los residuos que sobran del prisma, para esto se colocan bolsas sobre los ejes, ver Figura 83 b).

Figura 83 Montaje ensayo de compresión de prisma



a) Vista frontal de montaje de prisma  
Fuente propia, abril de 2014



b) Vista lateral con cámara de montaje con prisma

Luego se inicia el software y se selecciona el modo de trabajo, luego se prosigue a llenar los datos correspondientes al material a ensayar para tener un registro estilo ficha técnica al final del ensayo en los resultados, ver Figura 84.

Figura 84 Inicio HMI pre configuración del ensayo

**SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISION DE LA MAQUINA SHIMADZU UDH 50**

Preconfiguración      Visualización      Exportar Datos

**LEA DETENIDAMENTE LAS INSTRUCCIONES ANTES DE EMPEZAR A EJECUTAR EL EXPERIMENTO EN MODO 2**

1. Encienda la Máquina Universal (Main). [Ver más...](#)
2. Ubique y ajuste la probeta en el módulo de carga. [Ver más...](#)
3. Encienda la bomba de hidráulica (Pump). [Ver más...](#)
4. Lleve la perilla de control de carga del módulo de mandol a la posición de HOLD. [Ver más...](#)
5. Espere a que el indicador de ajuste seguro se apague (Luz roja situada en el extremo inferior izquierdo del módulo indicador) [Ver más...](#)
6. Ajuste a Cero la lectura en el módulo indicador. [Ver más...](#)
7. Seleccione el rango de seguridad de la máquina en el módulo indicador, el cual debe coincidir con el rango del convector del sistema  , recuerde que no puede ser cambiado mientras se ejecute el experimento [Ver más...](#)
8. Encienda el modo2. [Ver más...](#)
9. Llene los siguientes datos del ensayo.
 

Tipo de Ensayo	compresión
Material a ensayar	Prisma
Forma del Material	Rectangular
Dimensiones	22*12*39
Longitud Inicial	39
10. Oprima Siguiente >>

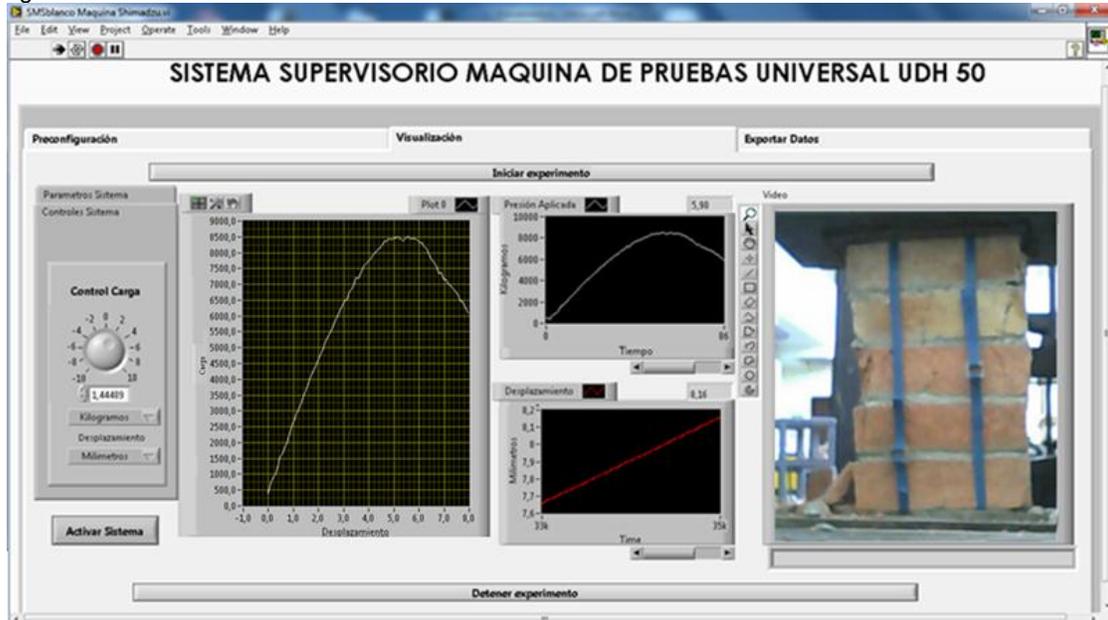
[Siguiente >>](#)

Fuente propia, abril de 2014

## Resultados

El módulo de visualización permite supervisar el recorrido paso a paso del desplazamiento y la Carga que se aplica al prisma, en ella se encuentra la gráfica de Carga vs desplazamiento, y las gráficas de Carga con respecto al tiempo al igual que la de desplazamiento, en el recuadro de la derecha se muestra el video que visualiza todo el ensayo, en el modo 2 se encuentra la perilla de velocidad, donde se manipula la velocidad de carga con que se aplica, ver Figura 85.

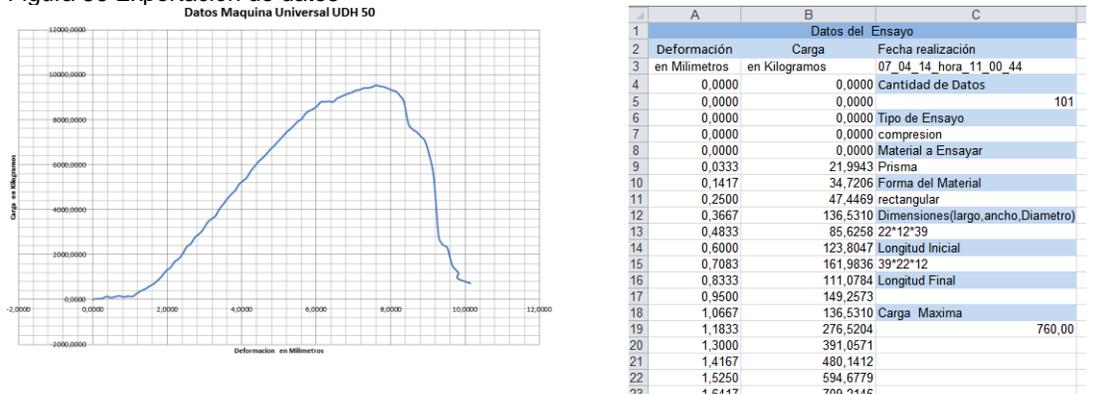
Figura 85 Visualización de datos



Fuente propia, abril de 2014

En la Figura 86 se aprecian los datos exportados a Excel, se muestran los primeros datos, pero en el archivo se tienen 101 datos que fue lo que arrojó el ensayo con los cuales se pueden realizar análisis detallados según se requiera.

Figura 86 Exportación de datos



Fuente propia, abril de 2014

#### - Prueba No.4

**Montaje:** Para realizar esta prueba se usó un murete de ladrillo artesanal, para el cual se utilizaron aditamentos diferentes a los de la máquina, para que el ensayo fuera seguro y viable; el murete fue protegido con una estructura en madera, a los extremos se ubicaron dos deformímetros para observar el comportamiento del murete ante la Carga, ver Figura 87.

Figura 87 Montaje ensayo de compresión con murete



a) Vista frontal de montaje de compresión en murete

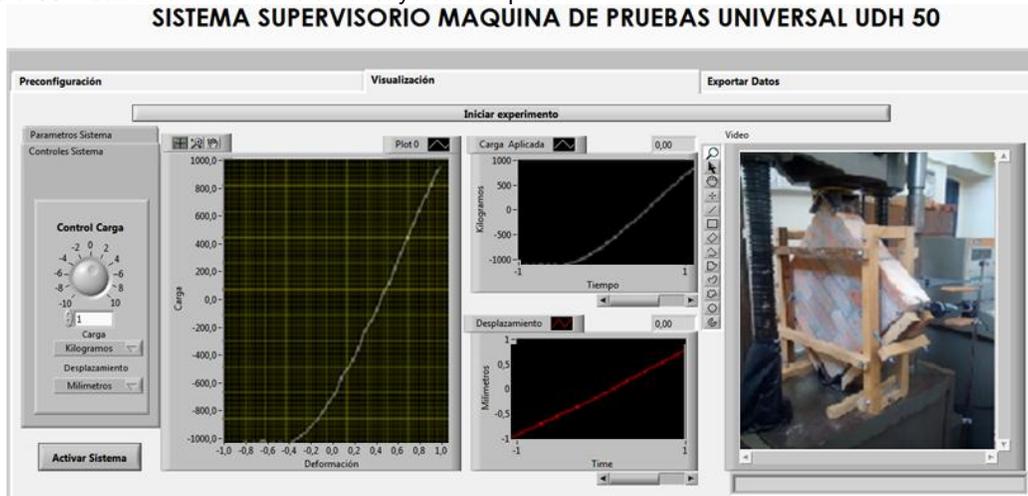


b) Vista cercana a montaje con cámaras en deformímetro para registro de datos

Fuente propia, abril de 2014

**Resultados:** El módulo de visualización permite supervisar el recorrido paso a paso del desplazamiento y la Carga que se aplica a la probeta, en ella se encuentra la gráfica de Carga vs desplazamiento, y las gráficas de Carga con respecto al tiempo al igual que la de desplazamiento, en el recuadro de la derecha se muestra el video que visualiza todo el ensayo, en el modo 2 se encuentra la perilla de velocidad, donde se manipula la velocidad de carga con que se aplica, ver Figura 88

Figura 88 Visualización de datos de ensayo de compresión

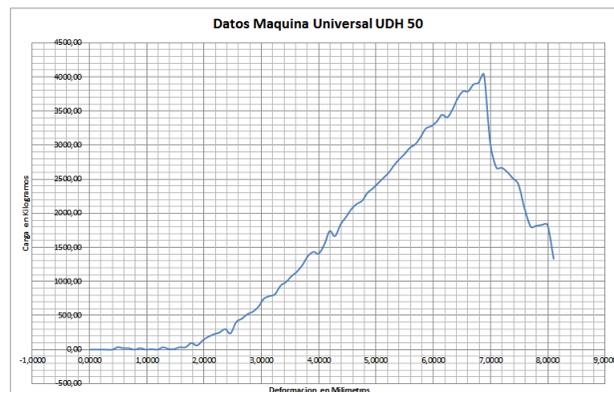


Fuente propia, abril de 2014

Al exportar los datos a Excel, estos se muestran en forma ordenada junto con una ficha técnica del material ensayado, ver Figura 89.

Figura 89 Datos exportados a Excel

Datos del Ensayo		
Deformación en Milímetros	Carga en Kilogramos	Fecha realización
0,0000	0,00	07_04_14_hora_11_51_33
0,0083	0,00	Cantidad de Datos
0,1000	0,00	89
0,2000	0,00	Tipo de Ensayo
0,2917	0,00	compresion
0,3917	0,00	Material a Ensayar
0,4917	0,00	murrete
0,5833	34,72	Forma del Material
0,6833	21,99	cuadrada
0,7833	21,99	Dimensiones(largo,ancho,Diametro)
0,8833	0,00	60*60
0,9833	21,99	Longitud Inicial
1,0833	0,00	60,00
1,1833	9,27	Longitud Final
1,2833	0,00	
1,3833	34,72	Carga Maxima
1,4750	9,27	
1,5750	34,72	
1,6750	34,72	
1,7750	98,35	
1,8750	60,17	
1,9750	136,53	
2,0667	187,44	
2,1667	225,62	



a) Datos del ensayo ordenados en Excel

b) Grafica con puntos específicos en Excel

Fuente propia, abril de 2014

### 4.3 Ensayo de flexión

**Montaje:** Para realizar el ensayo de flexión se ensambló el aditamento No. 2 en el cabezal móvil del módulo de carga y se procedió a ubicar el aditamento No. 3 en sobre la mesa del módulo de carga, se ubicó la cámara web en la parte transversal al ensayo para adquirir todo el detalle posible, ver Figura 90.

Figura 90 Montaje ensayo de flexión en varilla



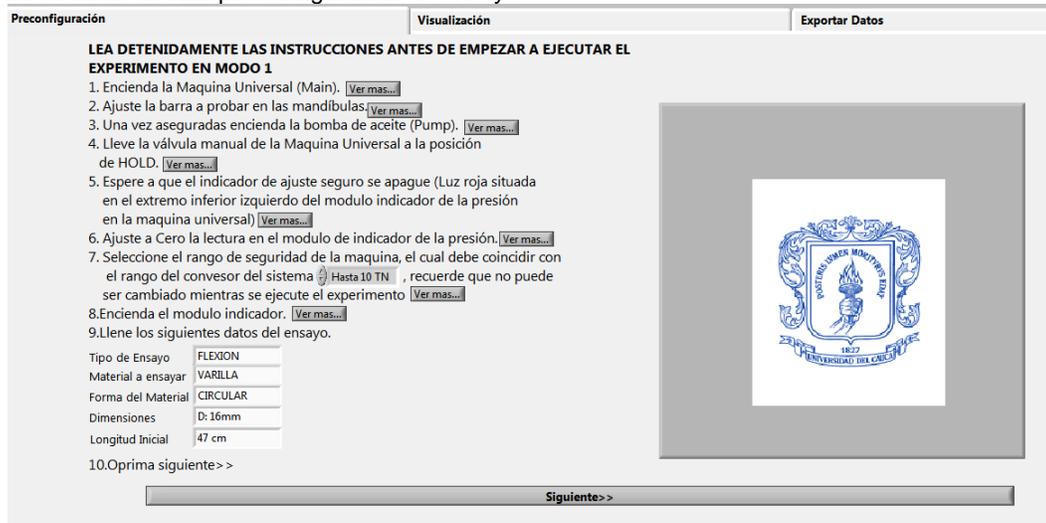
a) Vista frontal de montaje de flexión  
Fuente propia, abril de 2014

b) Vista cercana a montaje de flexión

## - Prueba No.5

Luego de escoger el modo de trabajo, se inicia pre configuración del software adicionándole los datos pertinentes del ensayo y del material a ensayar, ver Figura 91.

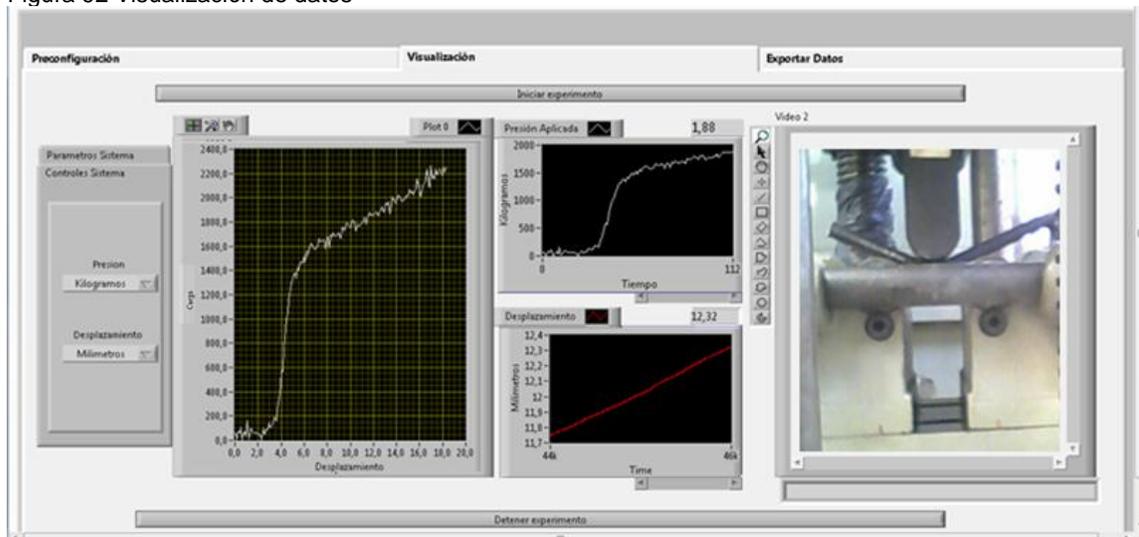
Figura 91 Inicio de HMI pre configuración de ensayo



Fuente propia, abril de 2014

**Resultados:** El módulo de visualización permite supervisar el recorrido paso a paso del desplazamiento y la Carga que se aplica a la probeta, en ella se encuentra la gráfica de Carga vs desplazamiento, y las gráficas de Carga con respecto al tiempo al igual que la de desplazamiento, en el recuadro de la derecha se muestra el video que visualiza todo el ensayo, ver Figura 92.

Figura 92 Visualización de datos



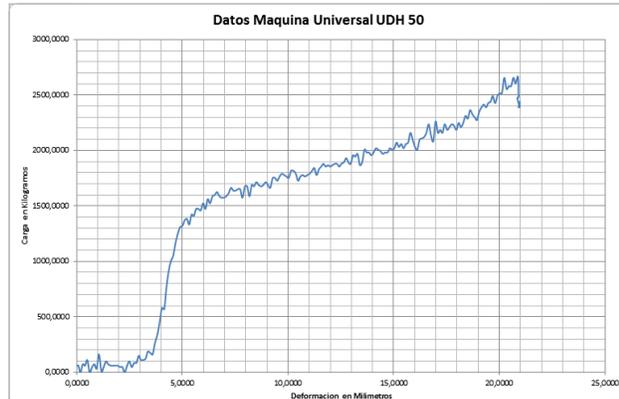
Fuente propia, abril de 2014

Al exportar los datos a Excel, estos se muestran en forma ordenada junto con una ficha técnica del material ensayado, ver Figura 93.

Figura 93 Datos exportados a excel

Datos del Ensayo		
Deformación en Milímetros	Carga en Kilogramos	Fecha realización
0,0000	60,1732	07_04_14_hora_17_39_43
0,0750	60,1732	Cantidad de Datos 211
0,1750	0,0000	Tipo de Ensayo
0,2833	72,8995	Flexion
0,3917	60,1732	Material a Ensayar
0,5000	111,0784	Varrilla
0,6083	0,0000	Forma del Material
0,7250	47,4469	Circular
0,8333	72,8995	Dimensiones(largo,ancho,Diametro)
0,9417	34,7206	D16mm*36
1,0500	161,9836	Longitud Inicial
1,1667	9,2680	36,00
1,2750	47,4469	Longitud Final
1,3833	98,3521	
1,4917	72,8995	Carga Maxima
1,6083	60,1732	
1,7167	60,1732	10cm
1,8250	60,1732	
1,9333	60,1732	
2,0500	47,4469	
2,1583	47,4469	
2,2667	0,0000	
2,3833	60,1732	
2,4917	98,3521	
2,6000	47,4469	

a) Datos del ensayo ordenados en Excel



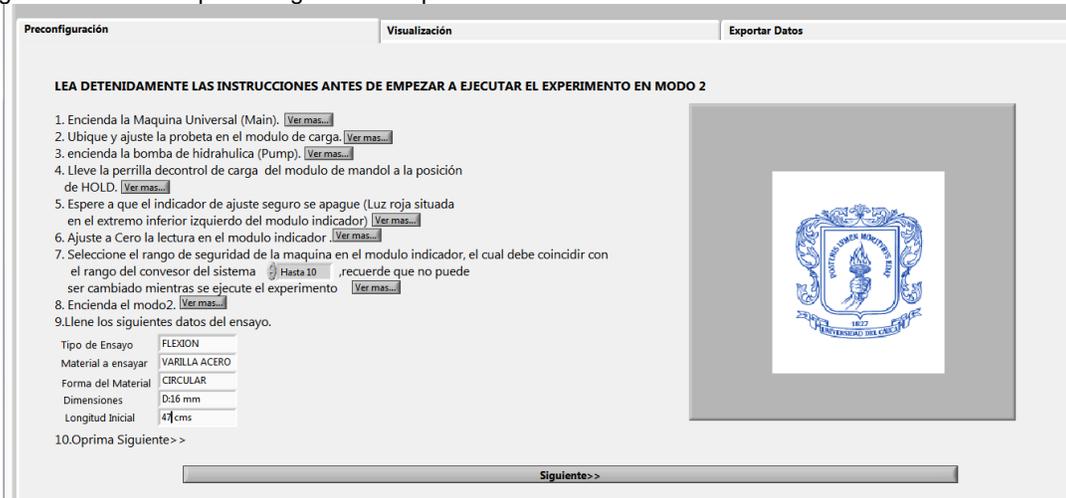
b) Grafica con puntos específicos en Excel

Fuente propia, abril de 2014

### - Prueba No.6

Se utiliza el mismo montaje que la prueba anterior, pero en modo 2. Luego de escoger el modo de trabajo, se inicia pre configuración del software adicionándole los datos pertinentes del ensayo y del material a ensayar, ver Figura 94.

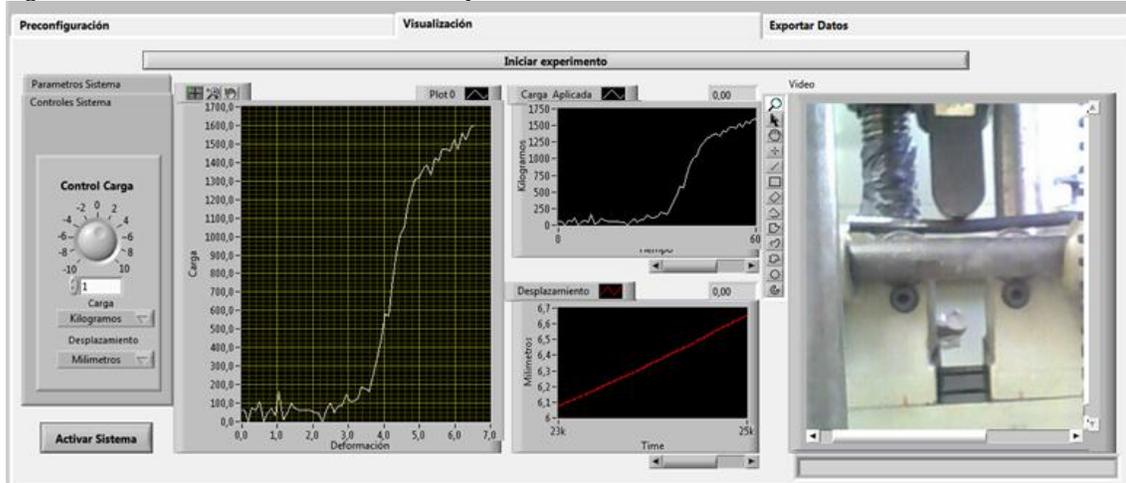
Figura 94 Inicio MHI pre configuración de parámetros



Fuente propia, abril de 2014

**Resultados:** El módulo de visualización permite supervisar el recorrido paso a paso del desplazamiento y la Carga que se aplica a la probeta, en ella se encuentra la gráfica de Carga vs desplazamiento, y las gráficas de Carga con respecto al tiempo al igual que la de desplazamiento, en el recuadro de la derecha se muestra el video que visualiza todo el ensayo, ver Figura 95.

Figura 95 Pantalla de visualización de ensayo



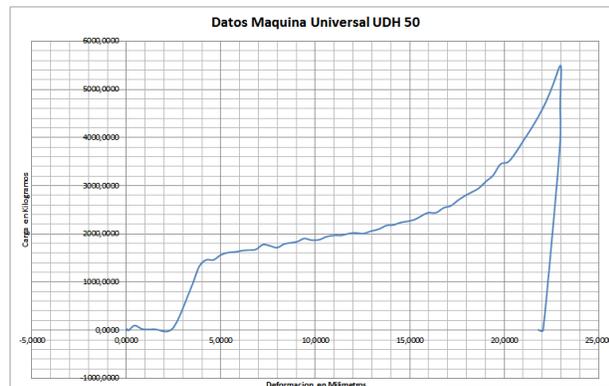
Fuente propia, abril de 2014

Al exportar los datos a Excel, estos se muestran en forma ordenada junto con una ficha técnica del material ensayado, ver Figura 96.

Figura 96 Datos exportados a Excel

Datos del Ensayo		
Deformación en Milímetros	Carga en Kilogramos	Fecha realización
0,0000	21,9943	07_04_14 hora 17_48_28
-0,0083	0,0000	Cantidad de Datos 88
0,0417	21,9943	Tipo de Ensayo
0,0667	21,9943	Flexion
0,0667	9,2680	Material a Ensayar
0,0667	0,0000	Varrilla
0,1333	0,0000	Forma del Material
0,4417	98,3521	Circular
0,8750	21,9943	Dimensiones(largo,ancho,Diametro)
1,4833	21,9943	D16mm*47cm
2,4417	34,7206	Longitud Inicial
3,3667	823,7513	47cm
3,8500	1320,0770	Longitud Final
4,2250	1460,0663	Carga Maxima
4,6167	1561,8768	
4,9917	1612,7820	
5,3833	1625,5083	
5,7583	1650,9609	
6,1000	1663,6872	
6,4750	1676,4135	
6,8500	1778,2239	
7,2333	1752,7713	
7,6000	1714,5924	
7,9750		

c) Datos del ensayo ordenados en Excel



d) Grafica con puntos específicos en Excel

Fuente propia, abril de 2014

## ANALISIS COMPARATIVO

Se realizó un análisis comparativo entre los datos que muestra la máquina Shimadzu y los datos medidos por el sistema de supervisión y monitoreo implementado en la máquina Shimadzu para verificar una vez más la relación entre ellos; se tomaron datos respectivos durante un ensayo de tracción minuto a minuto y posteriormente se realizó una tabla comparativa, obteniendo un porcentaje de error aplicando la ecuación (2), ver Tabla 28.

$$\% \text{ error} = \frac{(\text{Datos Software} - \text{Datos Maquina})}{\text{datos Software}} \quad (2)$$

Tabla 28 Comparativo de datos indicados por la maquina Shimadzu vs Datos medidos por el sistema de supervisión y monitoreo de la maquina Shimadzu

Tiempo (min)	Datos maquina (Ton)	Datos Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu	Porcentaje de error
1	5,32	5,3	0,38
2	6,2	6,25	0,80
3	6,07	6,11	0,65
4	6,6	6,58	0,30
5	6,9	6,89	0,15
6	7,28	7,33	0,68
7	7,7	7,72	0,26
8	7,83	7,87	0,51
9	8,03	8,08	0,62
10	8,21	8,17	0,49
11	8,35	8,4	0,60
12	8,48	8,54	0,70
13	8,57	8,6	0,35
14	8,66	8,67	0,12
15	8,72	8,71	0,11
16	8,78	8,76	0,23
17	8,82	8,8	0,23
18	8,86	8,89	0,34
19	8,9	8,89	0,11
20	8,91	8,92	0,11
21	8,92	8,92	0,00
22	8,92	8,94	0,22
23	8,92	8,92	0,00
24	8,92	8,98	0,67

Fuente propia, abril de 2014

Al comparar los resultados obtenidos en la máquina y los arrojados por el Sistema de supervisión y monitoreo de la máquina Shimadzu se observa que el programa se encuentra debidamente calibrado, obteniéndose valores similares con respecto a los resultados obtenidos, se observa que el máximo porcentaje de variación es de 0,8 % el cual es aceptable, analizando las dimensiones con las que se trabaja.

## **CAPITULO 5 CONCLUSIONES**

En comparación con las herramientas que la máquina poseía, el nuevo sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu, brinda mayor eficiencia, facilidad en su funcionalidad, presentando características de visualización, adquisición, manipulación y captura de video, de las variables que interactúan en el proceso de cada ensayo.

Con la implementación y desarrollo de este proyecto se pone en funcionamiento la válvula de control automático de carga de la máquina Shimadzu permitiendo emular el funcionamiento del modo manual por medio del modo 2 aprovechándose todas las ventajas que brinda la ejecución de este modo como es la ejecución de los ensayos a velocidades constantes.

Con la realización de este proyecto la máquina Shimadzu dispone de funciones que en la actualidad, son de gran necesidad para quienes la utilizan .La máquina con el sistema de monitoreo y supervisión permite adquisición de datos del desplazamiento vertical de la mesa del cabezal móvil y de la carga aplicada por el cilindro a la probeta, permite la visualización de las curvas de los datos adquiridos(Carga Vs Desplazamiento), la manipulación de la válvula de control automático de carga, la captura de video en tiempo real y la exportación de los datos a Microsoft Excel

A partir de los modelos ISA 88, el estándar S5.1 y la correcta definición de los requerimientos de automatización del proyecto, se permite realizar la correcta documentación del sistema compuesta por las ingenierías básica, conceptual y detallada, permitiendo el desarrollo de una solución óptima y funcional del proyecto.

La entrega formal al Ingeniero encargado del Laboratorio de estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca del “Sistema de monitoreo y supervisión de la máquina Shimadzu” permite generar un valioso aporte al programa de Ingeniería Civil en el campo de la automatización de sus herramientas de trabajo, junto con la documentación detallada del sistema que se convierte en una valiosa guía de apoyo para los trabajos futuros.

## **TRABAJOS FUTUROS**

El sistema de monitoreo y supervisión no se encuentra limitado a la implementación de nuevas funciones, mediante un estudio detallado y resolviendo las dudas de ingenieros y estudiantes, se pueden adicionar nuevos módulos: Se propone la realización de un trabajo en visión de máquina que permita obtener los datos de las deformaciones de las probetas evitando errores en el agarre de las mordazas.

## Referencias Bibliográficas

- [1] F T Habicht, *Maquinas Herramientas Modernas*. Mexico: Continental S.A, 1963
- [2] *Historia de la Maquina-Herramienta*, Cuarta ed.: Metal Univers, 2002.
- [3] Alfred H. Schutte, *Catalogo General de Maquinas-Herramientas, 1913*, 1913.
- [4] *Manual de Mecanica Industrial\_ Neumatica e Hidraulica*. Madrid, España: Cultura S.A.
- [5] William F. Smith and Javad Hashemi, *Fundamentos de la ciencia e Ingenieria de Materiales*, Cuarta ed.
- [6] Humberto Garcia, Entrevista, 2013, Primera reunion.
- [7] Hibbeler R, *Mecanica de Materiales*, Tercera ed. Mexico D.F: Prentice-Hall Hispanoamericana SA.
- [8] R L Mott, *Resistencia de materiales aplicada*, Tercera ed. Mexico D.F: Prentice- Hall Hispanoamericana, 1999.
- [9] Riley W, *Mecanica de Materiales*, Primera ed., Limusa Wiley, Ed. Mexico D.F.
- [10] ISA. ANSI/ISA- S88.01-1995. Estados Unidos: La Organizacion, 2006.
- [11] Luis Alfonso Anaya, Responsable Laboratorio de Estructuras, 2013, Entrevista.
- [12] SHIMADZU CORPORATION, *Instructions for use of "Shimadzu Universal Testing Machine"*. Kyoto, Japan: Norma.
- [13] National Instruments. [Citado Septiembre 2013] User Guide and Specifications NI USB 6008. Sitio Web disponible: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303m.pdf>
- [14] Datasheet LM 317 K. [Citado Septiembre 2013] Sitio Web disponible: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22752/STMICROELECTRONICS/LM317K.html>
- [15] Datasheet NRP-07. [Citado Septiembre 2013] Sitio Web disponible. <http://www.datasheetdir.com/NRP-07+download>
- [16] Datasheet MOSFET IRF540. [Citado Octubre 2013] Sitio Web disponible.. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/17799/PHILIPS/IRF540.html>
- [17] Datasheet DIODO 1N4004. [Citado Octubre 2013] Sitio Web disponible <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/14621/PANJIT/1N4004.html>
- [18] Simulador Montajes de potencia CA De\_SIMU. [Citado Octubre 2013] Sitio Web disponible.. <http://ielectricidad.jimdo.com/automatizacion-y-control/>

- [19] Lady Carolina Ibarra Perdomo and Jesus David Peña Campo, "Montaje y elaboracion de ensayos a compresion en prismas y compresion diagonal en muretes de mamposteria," Popayán, Tesis pregrado 2014.
- [20] C. Paredes, "Construccion de una prensa hidrauliza manual para montaje y desmontaje de rodamientos rigidos.," Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, Tesis Tecnología 2011.
- [21] Jackeline Lopez Ocampo and Miguel Fernando Montoya Vallejo, "Conceptualizacion y desarrollo de la metodologia inversa de una mquina universal de ensayos de 40 KN con objeto de diseñar una de 100 KN," Universidad Tecnologica de Pereira, Pereira, Tesis Pregrado 2003.
- [22] Fabricante Maquina Universal. [Citado Octubre 2013] Sitio Web disponible [Citado Octubre 2013] Sitio Web disponible. <http://www.shimadzu.com/>
- [23] Bruno Bellini, "Sensores de presion utilizados en las plataformas de fuerza aplicadas al estudio de la posturografia," Universidad de la Republica, Montevideo, 2009.
- [24] Jose Roldan Viloria , *Prontuario de Mecanica Industrial Aplicada*. España: Paraninfo, 2002.
- [25] National Instruments. [Citado Octubre 2013] Sitio Web disponible <http://www.ni.com/labview/esa/>