



**METROLOGÍA, CONVERSIÓN DE UNA MÁQUINA DE PRUEBAS UNIVERSAL
PARA LA CALIBRACIÓN DE PATRONES DE MEDICIÓN DE FUERZA.**

TESIS

PRESENTADA A LA
JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

GUILLERMO CALLÉN ÁLVAREZ.

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1 995.

08
T(3638)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**METROLOGÍA, CONVERSIÓN DE UNA MÁQUINA DE PRUEBAS UNIVERSAL
PARA LA CALIBRACIÓN DE PATRONES DE MEDICIÓN DE FUERZA,**

tema que me fuera aprobado por la dirección de la escuela,
con fecha 29 de julio de 1994.



GUILLERMO CALLÉN ÁLVAREZ

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO
VOCAL 1ro.
VOCAL 2do.
VOCAL 3ro.
VOCAL 4to.
VOCAL 5to.
SECRETARIO

Ing. Julio Ismael González Podszueck.
Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra.
Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano.
Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez.
Br. Fernando Waldemar De León Contreras.
Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor.
Ing. Francisco Javier González López.

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO
EXAMINADOR
EXAMINADOR
EXAMINADOR
SECRETARIO

Ing. Julio Ismael González Podszueck.
Ing. Miguel Angel Zetina Toralla
Ing. José Arturo Estrada Martínez
Ing. Orlando Furlán Cámbara
Ing. Francisco Javier González López.

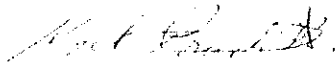
Guatemala, 10 de octubre de 1995.

Ingeniero
Jorge Chilo Siguere Rockstroh
Director de Escuela
Ingeniería Mecánica
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Señor Director.

Atendiendo a la designación que se me hiciera como Asesor del Trabajo de Tesis, **Metrología, conversión de una máquina de pruebas universal para la calibración de patrones de medición de fuerza**, solicitado por el estudiante, Guillermo Callén Álvarez, previo a optar al Título de Ingeniero Mecánico y luego de la revisión de su contenido, me permito informarle que el trabajo desarrollado satisface el Protocolo propuesto. Por lo anteriormente expuesto, junto con el estudiante me hago responsable del contenido del presente trabajo de Tesis y recomiendo que sea aprobado.

Atentamente,


Ing. Noel Prado Barragán
Colegiado No. 2901

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-I-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador del área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado METROLOGIA, CONVERSION DE UNA MAQUINA DE PRUEBAS UNIVERSAL PARA LA CALIBRACION DE PATRONES DE MEDICION DE FUERZA, del estudiante Guillermo Callén Alvarez, recomienda la autorización.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. José Armando Estrada Martínez
Coordinador de Área

Guatemala, noviembre de 1,995.

/bedei.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA




FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Apartado Postal 217-I-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

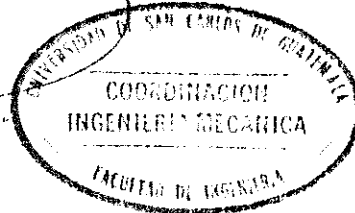
El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Area Complementaria, al trabajo de tesis titulado Metrología, Conversión de una Máquina de Pruebas Universal para la Calibración de Patrones de Medicion de Fuerza, del estudiante Guillermo Callén Alvarez, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Jorge C. Siguere Rockstroh
DIRECTOR DE ESCUELA

Guatemala, noviembre de 1, 995.

/bedei



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Jorge C. Síguere Rockstroh, al trabajo de tesis titulado Metrología, Conversión de una Máquina de Pruebas Universal para la Calibración de Patrones de Medición de Fuerza, presentado por el estudiante universitario Guillermo Callén Álvarez, procede a la autorización para la impresión del mismo.

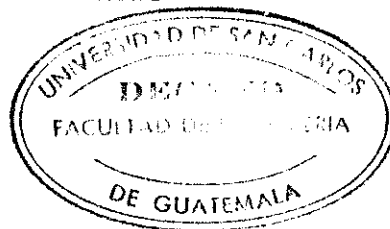
IMPRIMASE

ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK

DECANO

Guatemala, enero de 1,996.

/bedei.



ACTO QUE DEDICO

A:

- Dios Creador de todas las cosas.
- mis padres Guillermo Callén Castellanos y Colombia Eleonora Álvarez Hernández de Callén. Con todo mi amor y respeto.
- mis abuelos Lucio Álvarez González (Q.E.P.D) y Berta Hernández M. de Álvarez (Q.E.P.D). Por el ejemplo que siempre fueron para mi.
- mi esposa María de los Ángeles López Gularte de Callén. Gracias por todo su amor y apoyo.
- mis hermanos Berta Eleonora, Danilo Ernesto y Colombia.
- mis sobrinos Lucio Valerio, Valentina y María Renée.
- mi madrina Vini Odilí Romero de Luna y Angie Luna R.
- mis suegros Rubén Trujillo y Margarita Luz Gularte de Trujillo.
- mis cuñados Oswaldo, Luciana, Otto, María del Carmen, María Olivia, Cristina y Helmut, Carolina y Erwin, Karla y Erick.
- mis amigos Víctor Hugo, Karin e hijos.
Carlos.
Haroldo, Magdalena e hija.
Rodrigo.
Renato y Susy.
Alejando y María del Rosario.
Mynor, Jaquie e hijos.
Víctor Manuel, Claudia e hijo.

Agradecimiento a:

Ing. José Víctor Aragón, por su valiosa colaboración.

Ing. Noel Prado B.

Miguel Antonio Godoy M.

Edgar Ochoa.

Mario Moscoso.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

I.C.A.I.T.I.

y muy especialmente a mi amigo Joaquín García

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	I
ÍNDICE DE TABLAS	III
GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS	IV
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1	
1. DETERMINACIÓN DE LA UTILIDAD DE LA CONVERSIÓN	3
1.1 MÁQUINAS DE PRUEBAS EXISTENTES EN GUATEMALA	3
1.1.1 EMPRESAS QUE UTILIZAN ESTE SERVICIO	10
1.2 REVISIÓN DE EMPRESAS QUE UTILIZAN CELDAS DE CARGA	11
CAPITULO 2	
2. ANÁLISIS FÍSICO DE LA METROLOGÍA EN LAS MEDICIONES DE FUERZA.	19
2.1 ANÁLISIS FÍSICO DE LA FUERZA	19
2.2 ANÁLISIS FÍSICO DE LA MASA	22
2.3 LOS CONCEPTOS DE FUERZA Y MASA	23
2.4 PRINCIPIOS DE MEDICIÓN DE FUERZA	24
CAPITULO 3	
3. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE PRUEBAS UNIVERSAL	28
3.1 SISTEMA DE CARGA	29
3.2 SISTEMA DE PESADO	30
3.3 SISTEMA DE INDICACIÓN	32

3.4	LÍMITES DE INCERTEZA	35
CAPITULO 4		
4.	PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE MEDICIÓN DE FUERZAS	37
4.1	TRANSDUCTOR DE FUERZA	38
4.2	SISTEMA DE INDICACIÓN	40
4.3	LÍMITES DE INCERTEZA	41
CAPITULO 5		
5.	DISEÑO DE LA CONVERSIÓN DE LA MÁQUINA DE PRUEBAS UNIVERSAL PARA LA CALIBRACIÓN DE PATRONES DE MEDICIÓN DE FUERZA.	42
5.1	ASPECTOS TEÓRICOS	42
5.2	ASPECTOS TÉCNICOS	51
CAPITULO 6		
6.	EJECUCIÓN PRÁCTICA DE LA CONVERSIÓN	53
6.1	ELEMENTOS NECESARIOS	53
6.2	EJECUCIÓN DE LA CONVERSIÓN	58
6.3	PROBLEMAS PRESENTADOS	61
CONCLUSIONES		63
RECOMENDACIONES		65
BIBLIOGRAFÍA		66
ANEXO, FACTORES DE CONVERSIÓN		68

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	NOMBRE	PÁGINA
1.1	MÁQUINA UNIVERSAL DE CEMENTOS PROGRESO	9
1.2	PUENTE WHEATSTONE	12
1.3	SISTEMA DE DOSIFICACIÓN CIBAREX	13
1.4	MÁQUINA DE COMPRESIÓN CON CELDA DE CARGA	14
1.5	CELDA DE CARGA PARA CONTROL DE TENSIÓN	15
1.6	CELDA DE CARGA PARA PESAJE	16
1.7	CELDA DE CARGA PARA CONTROL DE VOLUMEN	17
2.1	GRÁFICA FUERZA VRS. ACELERACIÓN	22
2.2	OBJETO SIN FUERZAS APLICADAS	26
2.3	OBJETO COMPRIMIDO POR UNA FUERZA	26
3.1	MÁQUINA DE PRUEBAS UNIVERSAL DE LA U.S.A.C.	28
3.2	SISTEMA DE CARGA	30
3.3	CÁPSULA	31
3.4	TUBO DE BOURDON	33
3.5	SISTEMA DE INDICACIÓN	33
4.1	MÁQUINA DE FUERZA	37
4.2	PANEL DE CONTROL	37
4.3	PRESIÓN HIDROSTÁTICA EN UN PUNTO	38
4.4	SISTEMA DE DOS CILINDROS	39

5.1	MÁQUINA DE PRUEBAS DEL ICAITI	43
5.2	FUNCIONAMIENTO INTERNO DE LA MÁQUINA	44
5.3	SISTEMA DE INDICACIÓN	45
5.4	DIAGRAMA DE FUERZAS	47
5.5	SISTEMA DE CONTROL DE FUERZA	48
5.6	GRÁFICA FUERZA VRS. CORRIENTE	49
5.7	GRÁFICA FRECUENCIA VRS. TIEMPO	49
6.1	AUTÓMATA CON MÓDULOS DE ENTRADA Y SALIDA	55
6.2	SENSOR SITRANS P	56
6.3	VARIADOR DE VELOCIDAD	56
6.4	PANTALLA TD 390	57
6.5	SISTEMA DE TUBERÍAS DE INDICACIÓN	58
6.6	DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE CONTROL	60

ÍNDICE DE TABLAS

3.1	DATOS DE CALIBRACIÓN DE UNA MÁQUINA DE PRUEBAS UNIVERSAL	36
5.1	DATOS DEL MOTOR ELÉCTRICO	51

GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

Aceleración centrípeta:

aceleración que hace que un cuerpo en movimiento gire al rededor de un punto fijo.

Análogo:

un indicador análogo normalmente utiliza una aguja que gira en forma continua.

ASTM:

iniciales de la Asociación Americana para la Prueba de Materiales.

Autómata:

computadora electrónica de uso industrial que se utiliza para realizar en forma automática procesos repetitivos.

Calibración:

conjunto de operaciones establecidas, bajo condiciones específicas, que relaciona el valor indicado por un instrumento de medición y el correspondiente valor conocido de la magnitud medida.

Celda de carga:

dispositivo electromecánico que varía su resistencia eléctrica en forma proporcional a la variación de sus dimensiones.

Chumacera:

cojinete de rozamiento que aloja un eje giratorio.

COGUANOR:

iniciales de la Comisión Guatemalteca de Normas, dependencia del Ministerio de Economía.

Compresión:

esfuerzo que tiende a disminuir la longitud de un material.

Corriente alterna CA:

corriente eléctrica que varía respecto del tiempo en forma senoidal.

Corriente directa CD:

corriente eléctrica cuyo valor no varía respecto del tiempo.

Cremallera:

engranaje lineal cuyo movimiento es en línea recta.

Digital:

un indicador digital presenta la magnitud medida por medio de valores discretos, normalmente a través de una pantalla que muestra números.

Estático:

estado físico en el que no existe movimiento relativo entre los cuerpos.

Exactitud:

la estrechez del ajuste entre una medición y el valor real de lo medido.

Flexión:

esfuerzo que tiende a producir una curvatura a lo largo del material al cual se aplica la carga.

Frecuencia eléctrica:

cantidad de veces por segundo que se repite el ciclo senoidal de la corriente alterna.

Fuelle:

instrumento diseñado para recoger y almacenar aire en su interior. Tiene la apariencia de un acordeón.

Hidráulico:

se refiere a un sistema que tiene agua en su interior, sin embargo, el término se aplica para cualquier líquido.

ICAITI:

iniciales del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial.

Incerteza:

rango estimado de valores dentro del cual una medida incierta se acerca al valor real.

Intensidad eléctrica:

magnitud eléctrica que se refiere a la cantidad de electrones que circulan en el interior de un conductor.

Máquina de pruebas universal:

instrumento de medición que mide los niveles de fuerza soportados por los materiales, sometiéndolos a cargas de compresión, tracción o flexión.

Metrología:

campo de conocimiento concerniente a las mediciones.

Neumático:

se refiere a un sistema que tiene aire en su interior.

Norma:

regla que define un conjunto de pasos que se deben seguir para realizar determinada operación.

Patrón:

medida material, instrumento de medición o sistema, destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o más valores conocidos de una magnitud, para comparación con otros instrumentos de medición.

Piñón:

engranaje pequeño que impulsa un sistema.

PTB:

iniciales del Instituto Federal de Física y Tecnología, en Alemania.

SI, Sistema Internacional de Unidades:

sistema de unidades utilizado tanto en trabajos científicos como técnicos. Es una versión modificada y actualizada del Sistema Métrico Decimal.

Tracción:

esfuerzo que tiende a aumentar la longitud del material.

Voltaje:

magnitud que expresa la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. Entre estos puntos puede circular corriente eléctrica.

Introducción.

Una máquina de pruebas universal es un equipo de medición cuyo propósito principal es medir los niveles de fuerza soportados por los materiales. Al determinar estos niveles de fuerza, es posible conocer las características mecánicas y el comportamiento de dichos materiales al ser sometidos a cargas reales. Todo esto se hace con la finalidad de seleccionar los materiales adecuados para las diversas aplicaciones de la industria.

En Guatemala existen varias empresas e instituciones que cuentan con una máquina de pruebas universal. Todas estas máquinas son utilizadas para realizar ensayos destructivos de materiales que serán utilizados, principalmente, en la industria de la construcción. En estos ensayos se determinan las cargas máximas a las cuales pueden ser sometidos los materiales antes de fallar y las cargas que les pueden ser aplicadas para su operación dentro de rangos de seguridad establecidos.

La importancia de obtener datos reales al medir las propiedades mecánicas de los materiales se ve claramente si notamos que está en juego la seguridad de personas, construcciones, carreteras, máquinas, etc.

En esta tesis se diseña la conversión de la máquina de pruebas universal del ICAITI para calibrar patrones de medición de fuerza. Con esto se logrará obtener en esta y otras máquinas, siempre y cuando sean calibradas, periódicamente, mediciones confiables dentro de los límites que exigen las normas.

Por lo expuesto anteriormente, la realización de la conversión de la máquina de pruebas universal presentada en este trabajo de tesis es de gran beneficio para muchos sectores de la industria, tanto a nivel nacional como centroamericano, ya que el ICAITI es una entidad que sirve a toda Centro América.

El propósito de la conversión es lograr la aplicación de una fuerza constante y de valor conocido a un elemento de medición de fuerza y comparar el valor de la fuerza aplicada con el valor de la medición del elemento. En otras palabras, se necesita hacer un ensayo no destructivo aplicando al elemento bajo prueba, una fuerza de valor constante. Al hacer la comparación, se conocerá la exactitud de las mediciones hechas por este elemento.

Para diseñar la conversión, se hará un estudio detallado de la forma en que opera una máquina de pruebas universal. Seguidamente, se describirá la forma en que ha de realizarse y los elementos necesarios para llevar a cabo la conversión. Es necesario seleccionar elementos que cumplan con las necesidades del proyecto. Posteriormente, se hará un diseño detallado de las partes: mecánica y eléctrica de la conversión.

Finalmente, se utilizarán celdas de carga patrón, cuyas lecturas de la fuerza aplicada sobre ellas es un dato real, para fijar los valores de fuerza que serán aplicados, posteriormente, a los patrones a calibrar.

Capítulo 1

1 Determinación de la utilidad de la conversión.

Para determinar si la conversión de la máquina de pruebas universal tiene realmente utilidad en nuestro medio, especialmente a nivel industrial, es necesario tocar algunos puntos. Se hará, entonces, un estudio de algunas empresas que poseen máquinas de pruebas universales, de las empresas que utilizan el servicio de ensayos destructivos utilizando este tipo de máquinas y de empresas que utilicen celdas de carga en cualquier parte de su proceso de producción o control de calidad.

1.1 Máquinas de pruebas universales existentes en Guatemala.

Una "máquina de pruebas universal" es una máquina utilizada para realizar ensayos destructivos de materiales de todo tipo. Estos ensayos pueden ser pruebas de tracción, compresión o flexión. La máquina indica, ya sea por medios análogos o digitales, las cargas que soportan los materiales bajo prueba. Como se verá adelante, una de las industrias que más utiliza los servicios de este tipo de máquina es la de la construcción, debido a la exigencia en cuanto a factores de seguridad en los materiales de construcción.

Se realizaron visitas a varias empresas, universidades e instituciones que cuentan con una o varias máquinas universales. En cada una de ellas se tomaron datos como marca, rangos de trabajo, pruebas realizadas, forma y periodicidad de calibración, etc. Todos estos datos, referentes a sus máquinas universales. A continuación, se presentan los resultados de las visitas.

1. Empresa **Monolit,**
laboratorio de control de
calidad.
- marca de la máquina **Baldwin**
- número de serie **26001-1**
- año **1 943**
- tipo de indicador **análogo**
- rangos de trabajo **0 - 1 200 libras**
0 - 6 000 libras
0 - 30 000 libras
- tipo de calibración **no la han calibrado debido a**
que la instalaron hace menos
de un año, sin embargo,
tienen proyectado hacerlo
cada año.
2. Empresa **Cementos Progreso,**
laboratorio de concreto.
- marca de la máquina **ELE ADR 2000**
- número de serie **1568 3 1103**
- año **-**
- tipo de indicador **digital**
- rangos de trabajo **10 - 100 kN**
50 - 2 000 kN
- tipo de calibración **cada año, con patrones que**
pertenecen al laboratorio.
La empresa ELE, fabricante de

la máquina, también hace calibraciones a esta máquina.

3. Empresa **Cementos Progreso, laboratorio de concreto.**
marca de la máquina **ELE Autotest 250**
número de serie **1482 3 1041**
año **-**
tipo de indicador **digital**
rangos de trabajo **10 - 250 kN**
tipo de calibración **cada año, con patrones que pertenecen al laboratorio.**
La empresa ELE, fabricante de la máquina, también hace calibraciones a esta máquina.

4. Empresa **U.S.A.C. Centro de Investigaciones de Ingeniería.**
marca de la máquina **Baldwin**
número de serie **044-1670**
año **1 959**
tipo de indicador **análogo**
rangos de trabajo **0 - 300 kg**
0 - 600 kg
0 - 3 000 kg
0 - 12 000 kg

- tipo de calibración 0 - 60 000 kg
cada 6 meses con anillos de
compresión, los cuales no son
calibrados.
5. Empresa **GINSA**
marca de la máquina **INSTRON 4301**
serie -
año -
tipo de indicador **digital**
rangos de trabajo **0 - 1 000 lbf**
0 - 5 000 N
tipo de calibración -
6. Empresa **DURALITA**
laboratorio de control de
calidad.
marca de la máquina **LAMACO Switzerland**
serie -
año -
tipo de indicador **digital**
rangos de trabajo **0 - 6 000 N**
tipo de calibración **la calibran con una balanza**
electrónica cuya lectura debe
coincidir con la de la
máquina.

7. Empresa I.C.A.I.T.I.
marca de la máquina **Losenhausenwerk**
serie **13 622**
año **1 950**
tipo de indicador **análogo**
rangos de trabajo **0 - 1 T**
0 - 2 T
0 - 5 T
0 - 10 T
tipo de calibración **cada año con celdas de
carga patrón pertenecientes al
ICAITI. Esta es la máquina que
se convertirá en este trabajo de
tesis.**
8. Empresa **Universidad Rafael Landívar**
marca de la máquina **SATEC Systems INC.**
serie **180178-2A**
año **1 987**
tipo de indicador **digital**
rangos de trabajo **0 - 600 lb**
0 - 2 400 lb
0 - 12 000 lb
0 - 60 000 lb

En la figura 1.1 se muestra un aspecto general de una de las máquinas de Cementos Progreso. Esta máquina puede tener indicador digital o análogo como la de la figura.

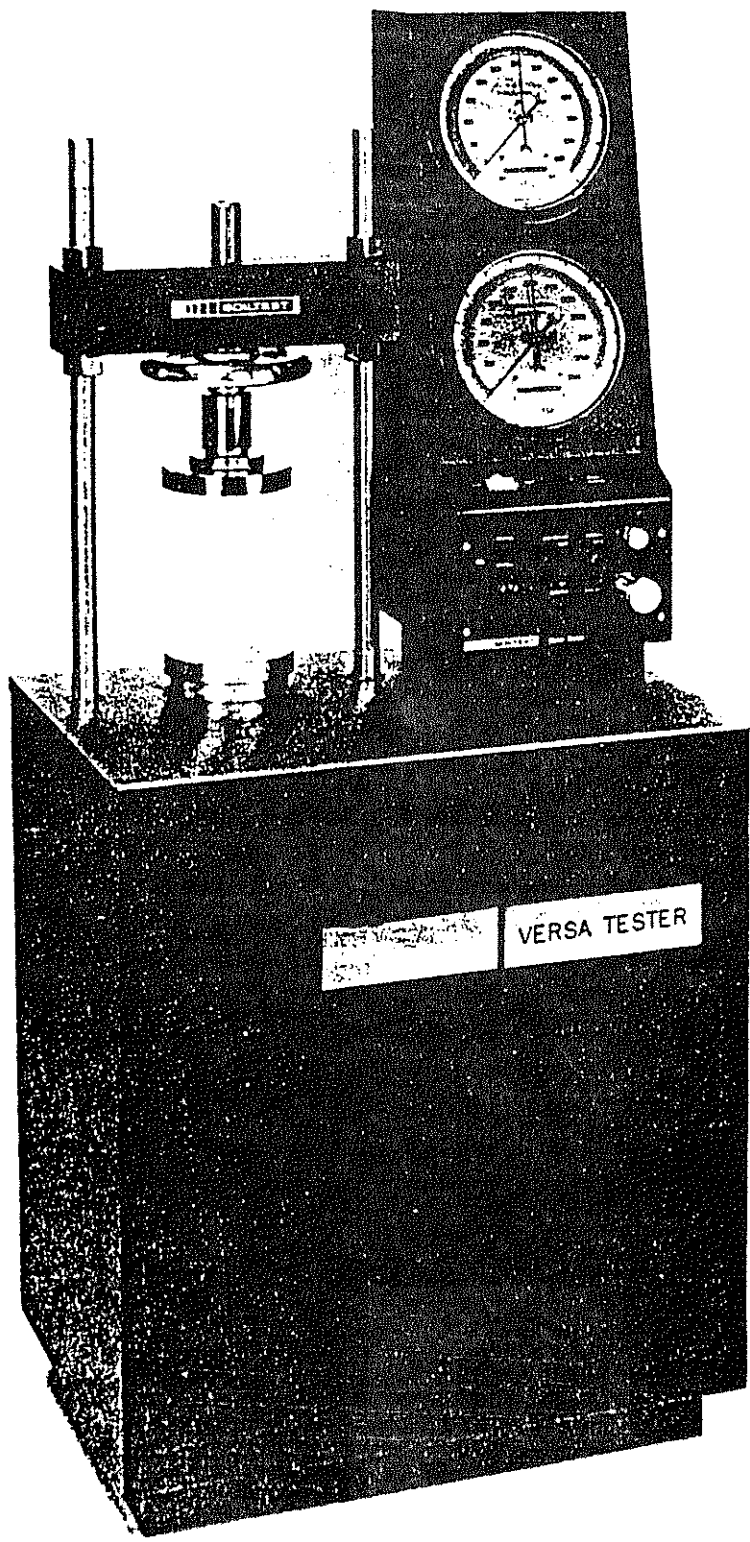


figura 1.1 máquina universal de Cementos Progreso

1.1.1. Empresas que utilizan este servicio.

Se realizó un estudio de algunas empresas que utilizan los servicios de ensayo de materiales con máquinas de pruebas universales, tanto propias como de otra institución o empresa. Algunos de los ensayos se hacen con fines didácticos pero la mayoría, se realiza para controlar la calidad del producto terminado que produce la empresa que contrata el servicio.

En la fábrica de varillas de acero de construcción INDETA ubicada en el municipio de Mixco, Guatemala, utilizan el servicio de la máquina de la U.S.A.C. para determinar la resistencia a la tracción de probetas de acero cuya materia prima es importada y de características desconocidas.

En la fábrica CONSTRUBLOCK, ubicada en la cabecera departamental de Huehuetenango, dedicada a la producción de bloques bibro-compactados utilizan también los servicios de la máquina de la U.S.A.C. para determinar el cumplimiento con las normas COGUANOR referentes a la resistencia a la compresión de los bloques. Esto lo hacen en forma periódica llevando muestras tomadas al azar de los lotes de producción al laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la U.S.A.C.

En la fábrica MONOLIT, en San Miguel Petapa, dedicada a la producción de planchas prefabricadas de concreto y electromalla, realizan pruebas de corte y tensión en las soldaduras de electromalla y de tensión en varillas de acero, trefiladas, pruebas que realizan de acuerdo con normas A.S.T.M. Estas pruebas las realizan en la máquina del laboratorio ubicado en la planta.

En Cementos Progreso, cuya planta de producción está ubicada en la zona 6 de la ciudad de Guatemala, realizan pruebas de compresión y flexión en concreto y materiales cerámicos. Estas pruebas las realizan

máquinas propias ubicadas en la planta de la zona 6 y en otra planta que poseen en Sanarate, El Progreso.

En el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizan gran cantidad de pruebas, tanto con fines didácticos como de control de calidad. Estas pruebas comprenden compresión, tensión y flexión en materiales como acero, concreto, madera, lazos, pitas, bloques de concreto, etc. Los resultados de estas pruebas son certificados y entregados a las personas que solicitan las mismas.

En la fábrica de neumáticos GINSA ubicada en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, se realizan pruebas de tensión en materiales como cuerdas de nylon y poliéster, alambre de acero y hule vulcanizado, adhesiones (fibras de alambre y hule o cuerda y hule), etc. Estos materiales constituyen parte de la materia prima para la producción de neumáticos. Las pruebas son realizadas en el laboratorio de control de calidad de GINSA.

En la fábrica de productos de fibro-cemento, DURALITA, ubicada en el municipio de San Miguel Petapa, Guatemala, poseen una máquina de pruebas que puede ser utilizada solamente para ensayos de compresión. Esta máquina es utilizada para ensayar materiales cerámicos producidos en la planta.

1.2 Revisión de empresas que utilizan celdas de carga.

Las celdas de carga son dispositivos electromecánicos cuya resistencia eléctrica varía en forma lineal respecto de la variación de la

deformación física producida por una carga externa, dicha carga es aplicada sobre el medidor de presión que está unido a la celda.

Las celdas de carga son, generalmente, conectadas a un circuito eléctrico denominado "Puente Wheatstone".

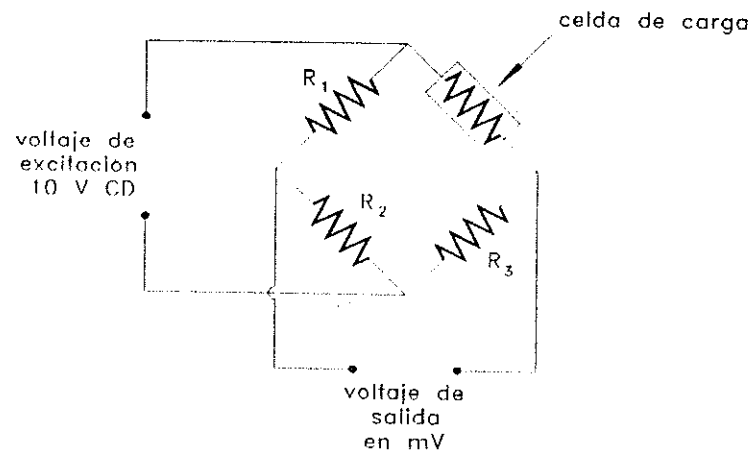


figura 1.2 puente wheatstone

En la figura 1.2 se muestra el puente Wheatstone. El voltaje de excitación, generalmente, es alrededor de 10 voltios de corriente directa y la señal de salida es del orden de los milivoltios. Los valores de las resistencias R_1 , R_2 y R_3 dependen del valor de la resistencia de la celda de carga. La señal de salida es procesada por un dispositivo electrónico que gobierna a una válvula, motor u otro dispositivo electro-mecánico de control en un proceso de producción.

El esquema anterior es utilizado por las empresas que se visitaron y que usan celdas de carga, en parte de sus procesos. Como se verá adelante, la mayor parte de aplicaciones encontradas en el campo están relacionadas con la medición de masa y la dosificación de materia prima para alimentar las líneas de producción.

En la empresa DURALITA poseen celdas de carga en dos partes del proceso de producción. Una de ellas es en el sistema de dosificación de cemento y caliza llamado Cibarex. El sistema, como se muestra en la figura 1.3, es formado por una tolva a la cual se alimentan la caliza y el cemento, uno a la vez.

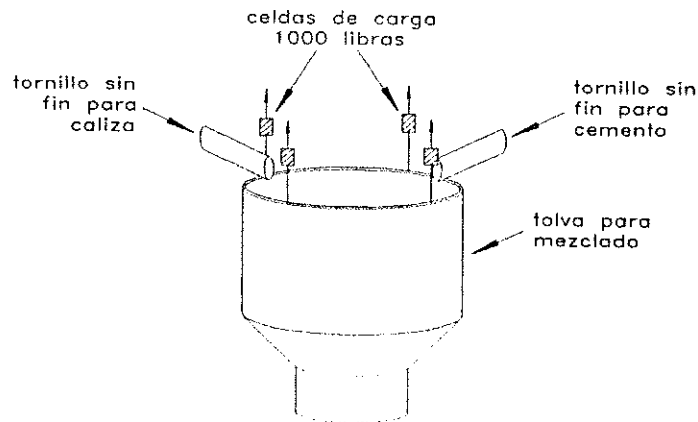


figura 1.3 sistema de dosificación Cibarex

La tolva es sostenida por cuatro tirantes de acero, en cada uno de los cuales hay colocada una celda de carga.

Cada una de las celdas soporta una carga de 1 000 libras. Las celdas de carga miden la masa del cemento y la caliza, los cuales caen en la tolva y la señal producida por las mismas es procesada por un autómata que gobierna los tornillos sin fin que alimentan la materia prima. Para calibrar el sistema completo, vacían la tolva y colocan una por una, cuatro masas conocidas. El autómata realiza una curva de masas que utilizan para la calibración del sistema.

La segunda aplicación de DURALITA es en la máquina de pruebas de compresión marca LAMACO cuyos datos fueron mostrados en la sección 1.1.

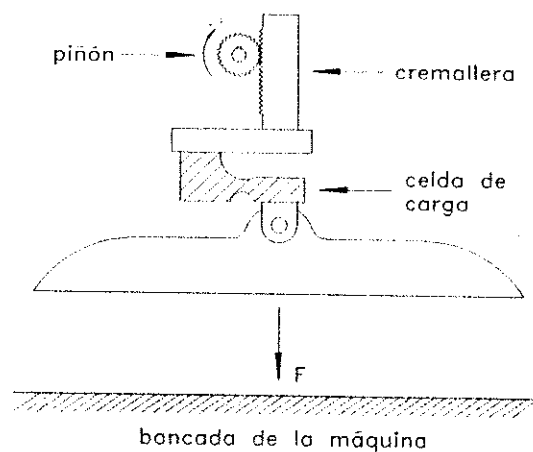


figura 1.4 máquina de compresión con celda de carga

Como se ve en la figura 1.4, la celda de carga se deforma detectando la fuerza producida sobre el material bajo prueba y la señal que produce es convertida a una indicación digital.

En la fábrica de neumáticos GINSA, utilizan una celda de carga sometida a compresión cuyo propósito es mantener constante la tensión en una fibra llamada "friction".

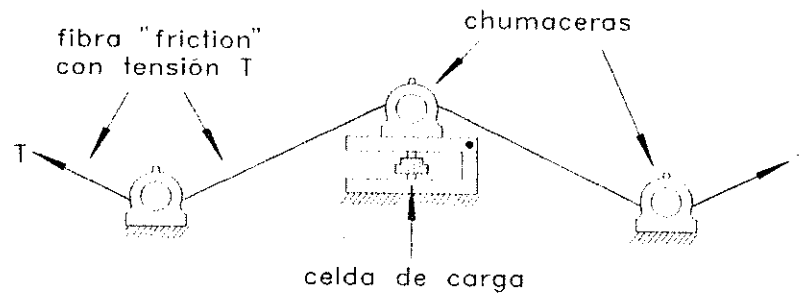


figura 1.5 celda de carga para control de tensión

Como se ve en la figura 1.5, la celda de carga detecta los cambios de tensión de la fibra. La señal producida por la celda de carga es procesada por un autómata que gobierna el motor que hace girar el rodillo donde se enrolla la fibra al final del proceso. La fibra "friction" es una lámina de tela que se impregna, de caucho, durante el proceso al cual es sometida en la máquina llamada "calandra", en la que opera la celda descrita anteriormente.

Una segunda aplicación en la fábrica Ginsa es un sencillo sistema de pesaje en el cual, la celda de carga sometida a tracción, se deforma de

acuerdo con la masa suspendida de ella. La figura 1.6 muestra la forma en que está montada esta celda.

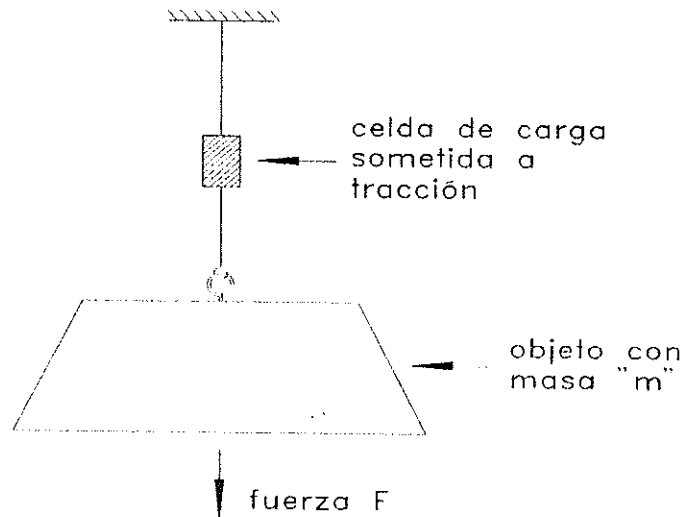


figura 1.6 celda de carga para pesaje

En la Cervecería Centroamericana, fábrica dedicada a la producción y envasado de cerveza, utilizan las celdas de carga en un sistema de medición de volumen de levadura. La levadura es un líquido, utilizado como materia prima para la producción de cerveza, que al ser agitado produce gran cantidad de espuma, por lo que resulta imposible medirlo con sensores de nivel de líquido. El sistema de medición es constituido por un tanque con cuatro patas, dos de las cuales son soportadas por celdas de carga sometidas a compresión. Las celdas

detectan la masa del líquido vertido en el tanque y como la densidad es conocida, se puede determinar el volumen.

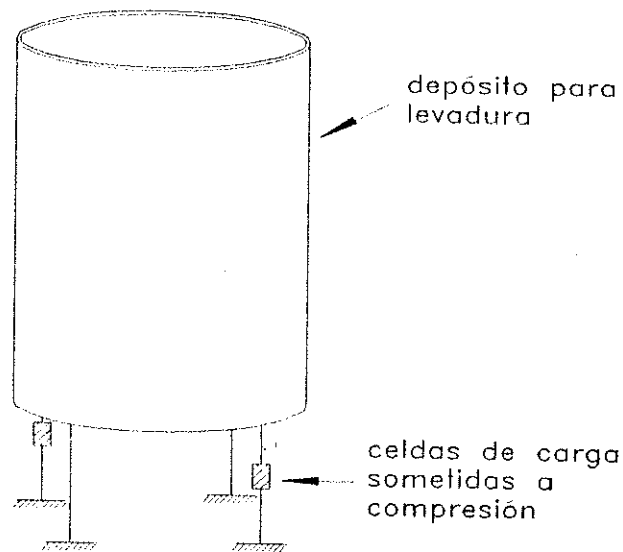


figura 1.7 celda de carga para control de volumen

La figura 1.7 muestra un esquema del sistema. La señal producida por las celdas es procesada por un autómata que gobierna las válvulas de llenado del tanque.

La mayor parte de las empresas visitadas manifestaron su interés por contar con un método normalizado para calibrar, tanto sus máquinas de pruebas universales como sus celdas de carga, debido a que están

conscientes de la importancia de la certeza de las mediciones que realizan.

El personal de estas empresas piensa que con un buen control metrológico, se puede competir a nivel nacional e internacional con productos de buena calidad. Obviamente, para competir con productos de buena calidad no deben descuidarse los otros aspectos del control de calidad, por ejemplo: calidad de la materia prima, procesos de producción, tiempo de entrega, etc.

Capítulo 2

2 Análisis físico de la Metrología en las mediciones de fuerza.

Antes de describir los conceptos utilizados en la medición de fuerza, se debe aclarar las definiciones físicas de fuerza y masa ya que por costumbre, estas tienden a confundirse debido al mal uso que frecuentemente se les da.

2.1 Análisis físico de la fuerza.

Intuitivamente, se tiene la idea de lo que significa fuerza. Si con el esfuerzo muscular se empuja un objeto, se le comunica una fuerza que lo hace moverse. Si se cuelga un objeto de un resorte, este hace una fuerza sobre el objeto y evita que caiga. El motor de un vehículo o una máquina, ejerce una fuerza que produce movimiento. Una de las fuerzas con que más contacto se tiene en la vida diaria es la fuerza gravitacional con que todos los cuerpos son atraídos por la tierra y que, comúnmente, se denomina peso; el peso es una fuerza, pero, normalmente se confunde con la masa. Las fuerzas gravitacionales así como las magnéticas y eléctricas actúan a distancia, sin necesidad del contacto directo entre los cuerpos.

Las tres leyes del científico inglés Sir Isaac Newton (1642-1727), llamadas también leyes del movimiento o de Newton, explican el efecto de las fuerzas externas sobre el movimiento de un cuerpo.

La primera ley de Newton, que se refiere al caso en el que no actúan fuerzas externas sobre un cuerpo, establece que si no existe una fuerza, un cuerpo en reposo permanece en reposo y uno en movimiento, continúa moviéndose en una línea recta y con velocidad constante. Esta ley es también llamada el principio de inercia y en otras palabras, afirma que ningún cuerpo es capaz de alterar por si solo su estado de reposo o

movimiento, sin la intervención de alguna influencia externa; se dice entonces que todo cuerpo tiene inercia.

La primera ley de Newton da la definición de fuerza. Al establecer que, fuerza es aquella acción por la cual cambia el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo y que este cambio sólo se produce al actuar una fuerza; esta ley define la fuerza como aquello que tiende a producir un cambio en el movimiento del cuerpo sobre el cual actúa.

La segunda ley de Newton, indica el valor numérico del cambio de movimiento en función de la magnitud y dirección de la fuerza que actúa sobre determinado objeto. Para enunciar esta ley es necesario conocer los conceptos en ella involucrados. Uno de estos conceptos es la cantidad de movimiento. La cantidad de movimiento de un cuerpo es proporcional a su masa y a la velocidad a la que se mueve. Es fácil entender esta proporcionalidad si pensamos en dos objetos cuyas masas sean muy distintas moviéndose a la misma velocidad; por ejemplo: un autobús de pasajeros y una pelota de hule. Obviamente, es más fácil detener la pelota que el autobús, ya que ésta posee menor cantidad de movimiento por tener una masa menor. Por otro lado, es más fácil detener la misma pelota si rueda por el piso a baja velocidad que si es disparada por un lanzabolas a gran velocidad, debido a que a baja velocidad posee menor cantidad de movimiento. La cantidad de movimiento está definida entonces como mv , siendo m la masa y v la velocidad. Si se observa lo anterior, se nota que la cantidad de movimiento de determinado cuerpo solamente varía de acuerdo con los cambios de velocidad, ya que la masa permanece constante si es considerada solamente dentro de ciertos límites, como se verá posteriormente en la sección 2.2. La aceleración está definida como la rapidez del cambio de velocidad respecto del tiempo,

por lo tanto, la cantidad de movimiento es proporcional a la masa del mismo y a la aceleración. Nótese que si la dirección del movimiento cambia, aunque numéricamente la velocidad permanezca constante, la cantidad de movimiento varía debido a que existe una aceleración centrípeta que provoca el cambio de dirección.

Ahora se puede enunciar la segunda ley de Newton de la siguiente manera: el cambio de cantidad de movimiento es proporcional a la fuerza que lo provoca y tiene lugar en la dirección de la recta sobre la cual actúa dicha fuerza. En términos matemáticos se puede expresar esta ley en la siguiente forma:

$$F = \frac{mv}{t} \quad (2.1)$$

donde **F** es la fuerza, **m** la masa, **v** la velocidad y **t** el tiempo. Pero como $a=v/t$ donde **a** es la aceleración, entonces:

$$F = ma \quad (2.2)$$

Como se ve en las ecuaciones 2.1 y 2.2 en las que se involucra la cantidad de movimiento y el tiempo, la fuerza es proporcional a la variación de la cantidad de movimiento producida en la unidad de tiempo.

La unidad de medida de la fuerza expresada en el Sistema Internacional de Unidades SI, es el newton, cuyo símbolo es **N**. Un newton equivale a la fuerza necesaria para imprimir a una masa de 1 kg una aceleración de 1 m/s².

Finalmente, la tercera ley de Newton establece que a toda acción corresponde siempre una reacción igual y contraria. Para ilustrar esta ley recordemos el ejemplo del resorte en el que se suspende un objeto. El

objeto es atraído por la tierra por una fuerza gravitacional, sin embargo, no cae debido a que el resorte ejerce una fuerza de igual magnitud a la gravitacional pero con sentido contrario.

2.2 Análisis físico de la masa.

La masa es un término físico con el cual se expresa la cantidad de materia que posee determinado cuerpo y es una propiedad inherente del mismo. Si se observa la ecuación 2.2 de la segunda ley de Newton $F=ma$ notamos que tiene la forma de una recta que pasa por el origen de un sistema de coordenadas cuyas ordenadas y abscisas son la fuerza F y la aceleración a respectivamente y la pendiente de la recta es la masa m . Gráficamente, la recta se vería como en la figura 2.1:

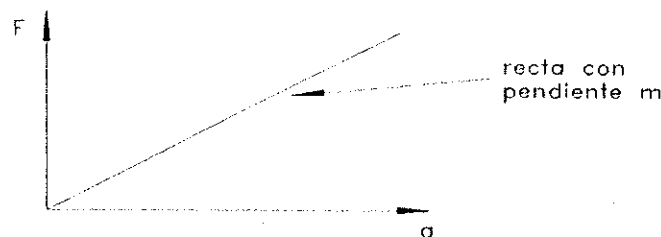


figura 2.1 la pendiente de la recta es la masa

se nota, entonces, que a mayor masa, mayor pendiente de la recta y, por lo tanto, aplicando una fuerza igual sobre esa masa mayor, se producirá una aceleración menor. La masa se puede considerar como constante

dentro de los límites de la mecánica clásica que son los que interesan en este trabajo. Sin embargo, es interesante hacer notar que desde el punto de vista relativista, la masa no es constante y tiende a aumentar conforme aumenta la velocidad a la que esta se mueve y puede llegar a ser infinita si la velocidad es igual a la de la luz.

$$m = \gamma m_0 \quad (2.3)$$

En la ecuación 2.3 m es la masa real de un cuerpo, m_0 es la masa en reposo y gamma (γ) representa la constante de Lorentz ¹ definida por la ecuación 2.4:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2.4)$$

donde v es la velocidad del objeto y c la velocidad de la luz. Si se observa el denominador ocurre que, si la velocidad tiende a cero, la constante de Lorentz tiende a uno y a medida que la velocidad se acerca a la de la luz, la constante de Lorentz tiende a infinito.

2.3 Los conceptos de fuerza y masa.

La mayor parte de las personas tienen una idea errónea del significado de los términos fuerza y masa. La masa de un cuerpo, también llamada masa inercial, representa, únicamente, la cantidad de masa que éste posee y es independiente del lugar donde se encuentre, de su temperatura o de su estado físico. Como se vió en la sección 2.2, mientras mayor sea la masa de un cuerpo, es más difícil de mover, es decir que, se necesita una fuerza más grande para imprimirle cierta aceleración. Se

¹. En honor al físico holandés H. A. Lorentz (1853 - 1928)

involucra, entonces, el concepto de fuerza que como se vió en la sección 2.1, es todo aquello que provoca un cambio en el estado de movimiento de un cuerpo. Los términos que más tienden a confundir son **masa** y **peso** debido a que, generalmente, la palabra peso es utilizada para designar la masa de un cuerpo. Sin embargo, el peso es una fuerza provocada por la atracción gravitacional que sufre todo cuerpo sobre la superficie terrestre y está dirigido siempre hacia el centro de la tierra. El valor numérico del peso o fuerza gravitacional está dado por la multiplicación de la masa por la aceleración gravitacional. La aceleración gravitacional varía ligeramente, dependiendo de la latitud. Comúnmente la referencia al peso de un objeto, se refiere, realmente, a la masa del mismo. La unidad de medida de masa en el SI es el kilogramo y su símbolo es **kg**. El peso del mismo objeto es la multiplicación de su masa por la aceleración gravitacional o gravedad y su unidad de medida es el newton.

2.4 Principios de medición de fuerza.

Hasta el momento se han definido los conceptos de masa y fuerza con algunos ejemplos fáciles de comprender, sin embargo, estas ideas no son de utilidad si no se puede conocer con exactitud su valor numérico. El kilogramo que es la unidad de masa y una de las unidades fundamentales del SI, es igual a la masa de un prototipo internacional llamado kilogramo patrón. Para determinar el valor numérico de la masa de determinado objeto, éste se compara con otro objeto cuya masa sea conocida con cierta exactitud. En el caso de la fuerza, el principio de medición es diferente. El newton es una unidad derivada del SI y como se vió en el numeral 2.1, está definido como la fuerza necesaria para producir una aceleración de 1 m/s^2 a una masa de 1 kg . Como se vió en el numeral 2.2

y en las líneas anteriores, la fuerza involucra movimiento ya que produce aceleración o, en otras palabras, cambio en el estado de movimiento de un objeto. Sin embargo, todas las mediciones de fuerza realizadas, experimentalmente, se hacen en forma estática. Básicamente, para realizar la medición de la fuerza se utilizan dos principios: transmisión de presión hidrostática y deformación de un elemento sólido.

La medición de fuerza por medio de presión hidrostática parte del hecho de que un fluido es, prácticamente, incompresible y utiliza el principio de vasos comunicantes de distintas áreas. Esto será explicado con detalle en la sección 4.1.

Por otro lado, la medición de fuerza mediante el principio de deformación de un elemento obedece a las leyes de la mecánica de los sólidos. Este principio es más fácil de entender ya que cotidianamente existe contacto con elementos que se deforman elásticamente. Se entiende por deformación elástica aquella que sufre un elemento cuando es sometido a determinada fuerza y que cuando esa fuerza es eliminada, el elemento recobra totalmente su forma original. Un ejemplo típico de deformación elástica es la del resorte de una pesa para medidas comerciales de masa. Cualquier aparato para medir masa que cuente con un elemento deformable, lo que está midiendo, realmente, es una fuerza, pero como se ve en la ecuación 2.2, la masa es directamente proporcional a la fuerza y el factor de proporcionalidad es la aceleración de la gravedad cuyo valor es conocido y es por eso que el valor proporcionado por ese tipo de aparato es el de la masa del objeto medido. En las siguientes dos figuras se muestra un objeto de forma cúbica sometido a una fuerza nula (figura 2.2) y a una fuerza F_1 (figura 2.3):

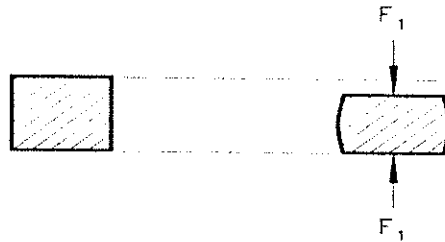


figura 2.2 objeto libre fig 2.3 objeto con fuerza aplicada

en la figura 2.2 no existe ninguna deformación ya que no ha sido aplicada ninguna fuerza al elemento. En la figura 2.3 se nota una deformación debida a la aplicación de la fuerza F_1 . Esta deformación desaparece al dejar de aplicar la fuerza F_1 regresando al estado de la figura 2.2. La deformación es siempre la misma si la fuerza aplicada es siempre igual. Dicho en otras palabras, la deformación es directamente proporcional a la fuerza aplicada y el factor de proporcionalidad depende del material con que esté hecho el cubo de las figuras 2.2 y 2.3. Si se encuentra una manera de medir las deformaciones producidas sobre el cubo por las fuerzas aplicadas, se tiene una forma exacta de medir dichas fuerzas. Las celdas de carga son elementos electromecánicos cuya resistencia eléctrica varía directamente proporcional a su deformación. Estos dispositivos se adhieren a una de las paredes del cubo mostrado en las figuras 2.2 y 2.3 y detectan cualquier deformación al cambiar el valor de su resistencia eléctrica. Estas variaciones son traducidas a una lectura de fuerza o de masa por circuitos electrónicos de alta exactitud. Por el principio de deformación de un

elemento sólido, ya sean resortes en aparatos mecánicos o celdas de carga en aparatos electrónicos, funciona gran parte de los instrumentos de medición de masa que se encuentran en el mercado.

Capítulo 3

3 Principios de funcionamiento de la máquina de pruebas universal.

En este capítulo se describirá el funcionamiento de la máquina de pruebas universal, tomando como base la máquina del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, C.I.I. Esta es una máquina marca Baldwin, con indicador análogo, como se describió en la sección 1.1 y es utilizada para ensayos de tracción, compresión y flexión de diversos materiales. En la figura 3.1 se muestra el aspecto general de la máquina.

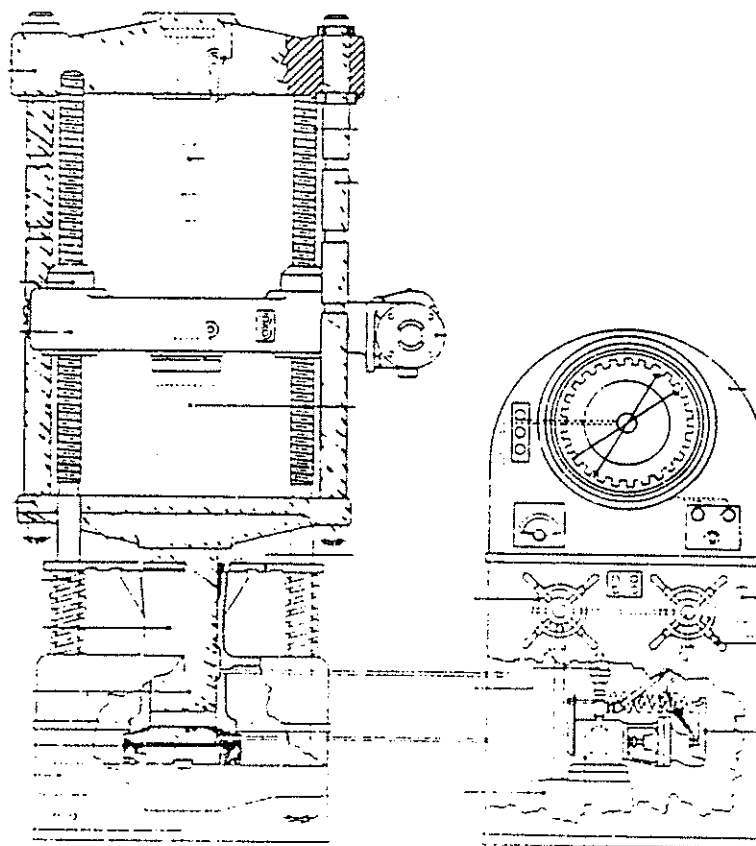


figura 3.1 máquina de pruebas universal de la U.S.A.C.

3.1 Sistema de carga.

El sistema de carga es uno de los tres componentes básicos de esta máquina de pruebas universal. Es en dicha parte de la máquina donde se colocan los materiales a ser ensayados.

Este sistema está constituido de la siguiente manera: una bancada, rígidamente anclada al suelo, soporta el sistema de carga completo. Dentro de esta bancada se ubica un cilindro hidráulico que proporciona la fuerza para las pruebas. Este cilindro hidráulico mueve hacia arriba tanto a la mesa como a la cruceta de tensión, las cuales están unidas por columnas de metal. Entre la mesa y la cruceta de tensión se encuentra la cruceta ajustable, que puede ascender o descender, dependiendo del tamaño del elemento bajo prueba. Durante el ensayo, la cruceta ajustable debe permanecer sin movimiento. Esta cruceta ajustable está sostenida a la base de la máquina por dos tornillos. Un motor eléctrico, por medio de un mecanismo de tornillo sin fin la puede hacer subir o bajar según lo demande la prueba a realizarse. Cuando la prueba da inicio, una bomba manejada por un motor eléctrico, ubicada en la consola de control de la máquina, acciona al cilindro hidráulico que como se dijo anteriormente, mueve hacia arriba la mesa y la cruceta de tensión. En la figura 3.2, mostrada en la siguiente página, se ve un esquema general de los componentes del sistema de carga.

Si el elemento bajo prueba está colocado entre la mesa y la cruceta ajustable, la prueba es de resistencia a la compresión. Si por el contrario, el elemento es colocado entre la cruceta ajustable y la cruceta de tensión, la prueba es de resistencia a la tracción.

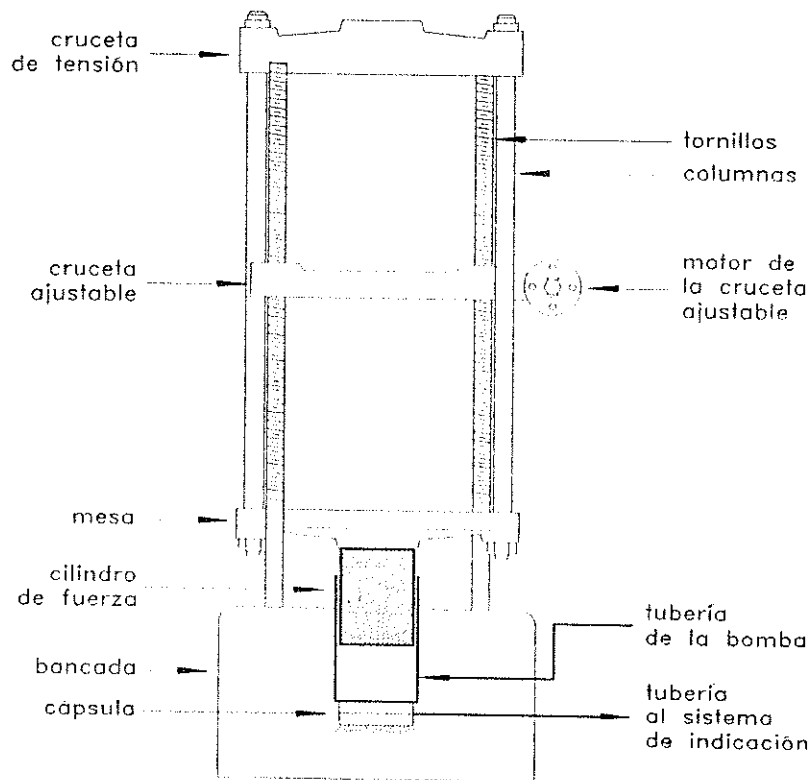


figura 3.2 sistema de carga

3.2 Sistema de pesado.

El segundo componente de la máquina de pruebas universal es el sistema de pesado, también llamado cápsula. El objetivo de este componente es hacer mediciones de fuerza más exactas. La forma en que opera para conseguir mayor exactitud es la siguiente: un sistema de cilindro y pistón está ubicado directamente debajo del cilindro de fuerza descrito en la sección 3.1. A la cabeza de dicho pistón está colocado un

diafragma flexible y entre ese diafragma y la cabeza del cilindro existe una pequeña cámara de aceite mineral. El pistón no tiene contacto con el cilindro para evitar pérdidas por fricción.

Durante las pruebas, el cilindro hidráulico presiona al pistón y éste, a su vez, provoca una deflexión en el diafragma que produce aumento de presión en el aceite mineral ubicado entre el diafragma y la cabeza del pistón. Este aceite mineral es utilizado para accionar el sistema de indicación.

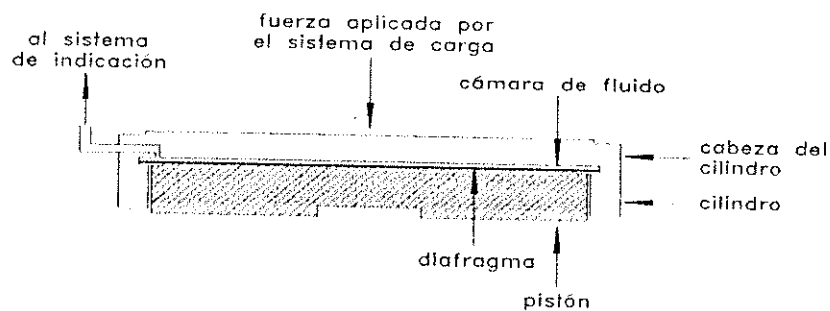


figura 3.3 cápsula

En la figura 3.3 se muestra el diagrama de la cápsula. El sistema de aceite mineral utilizado para la indicación de las mediciones es llenado una sola vez y mantenido con cierta presión inicial. La cantidad de aceite mineral y la presión inicial debe verificarse, periódicamente, y, dentro del sistema no deben permanecer partículas de aire, ya que, éstas afectan la exactitud de las mediciones.

Algunas máquinas de pruebas universales más antiguas que la de la U.S.A.C. no cuentan con el sistema de pesado o cápsula. Este es el caso de la máquina marca Baldwin de la empresa MONOLIT. En esta máquina, el aceite hidráulico del cilindro es utilizado, directamente, por el sistema de indicación, lo que provoca mediciones de menor exactitud.

3.3 Sistema de Indicación.

Finalmente, el tercer componente es el sistema de indicación. Este sistema puede ser análogo o digital según la máquina en cuestión. La máquina de la U.S.A.C. utiliza un sistema de indicación análogo "Tate-Emery", accionado por mecanismos hidroneumáticos. El principio de funcionamiento de este sistema es muy sencillo y será descrito a continuación.

La presión hidrostática del aceite mineral, proveniente del sistema de pesado o cápsula, entra directamente a un dispositivo de medición de presión llamado medidor de tubo de Bourdon. El tubo de Bourdon tiene la apariencia de una C y se le da forma aplanando un tubo cilíndrico y, luego, doblándolo para obtener la forma de la C. Se sella uno de los extremos del tubo y se le ajusta a un mecanismo indicador. Cuando la presión se aplica al extremo abierto del tubo, tiende a enderezarse a su forma original y mueve alguna parte del sistema indicador. En la figura 3.4 se muestra un tubo de Bourdon.

En el extremo cerrado del tubo de Bourdon de la máquina de pruebas universal está colocada una lengüeta cuyo objetivo es abrir el paso de aire de una boquilla neumática.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

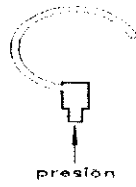


figura 3.4 tubo de Bourdon

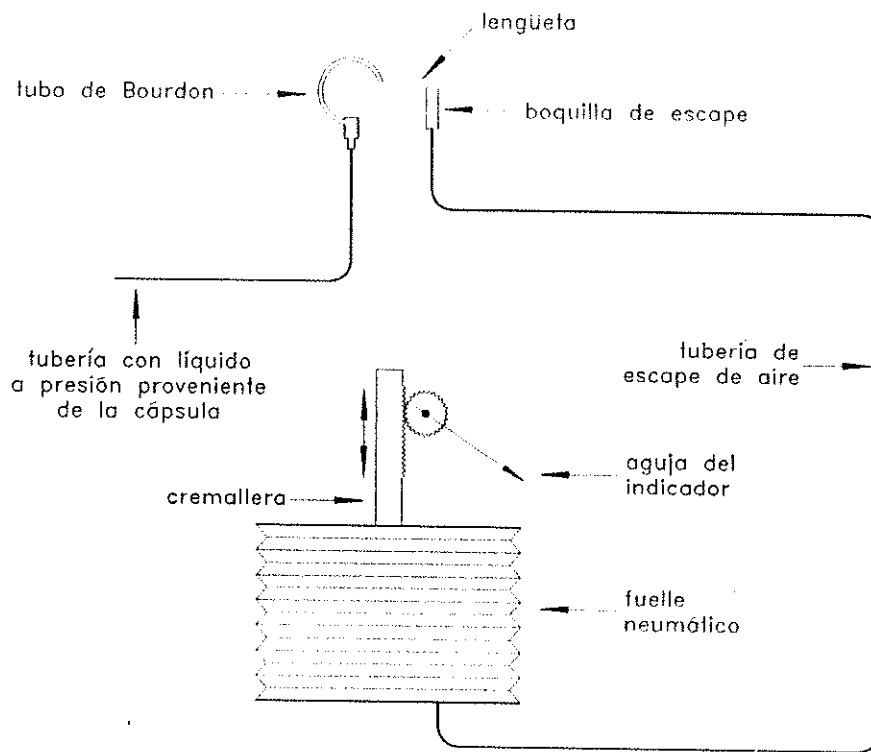


figura 3.5 sistema de de indicación

Como se ve en la figura 3.5, la parte neumática del sistema de indicación está acoplada directamente a la aguja indicadora. Cuando una prueba da inicio, el fuelle se llena de aire proveniente de un compresor ajeno a la máquina de pruebas. La base del fuelle está fija a la máquina y en la parte superior está sujeta una cremallera, la cual al subir o bajar hace girar un engranaje al que está acoplada la aguja del indicador. El fuelle tiene un escape de aire a través de un tubo que termina en una boquilla. Antes de que la prueba da inicio, la lengüeta sujeta al tubo de Bourdon obstruye completamente el orificio de salida de la boquilla. Cuando comienza a aumentar la presión dentro del tubo de Bourdon, la lengüeta se eleva y deja escapar el aire del interior del fuelle, el cual se contrae moviendo la cremallera sujeta en su parte superior. Este movimiento de la cremallera hace girar la aguja del indicador. Mientras mayor es la fuerza ejercida por el cilindro hidráulico sobre el material bajo prueba, mayor es la presión transmitida a través de la cápsula hacia el tubo de Bourdon. Este tubo se deforma y la lengüeta deja escapar una cantidad mayor de aire, lo que provoca la contracción del fuelle, el movimiento de la cremallera y, finalmente, el movimiento de la aguja directamente sobre la escala en libras del indicador.

El sistema de indicación cuenta con tantos tubos de Bourdon y boquillas como escalas tenga, ya que las presiones hidráulicas variarán de acuerdo a la fuerza que se esté midiendo. Para mayores fuerzas, se necesitan tubos de Bourdon más fuertes. Con un selector de escala, se selecciona alguno de estos tubos de Bourdon para determinada prueba.

Por otro lado, las máquinas que cuentan con indicadores digitales operan bajo principios diferentes. Generalmente, la fuerza es detectada por deformaciones en celdas de carga y las señales producidas por éstas.

son procesadas en pequeños computadores que, finalmente, despliegan el valor de la fuerza en pantallas digitales.

3.4 Límites de incerteza.

La incerteza, es decir, la falta de exactitud en las mediciones hechas por una máquina de pruebas universal dependen de varios factores. Los años de uso del equipo, el mantenimiento que se le da, el ambiente de trabajo y la frecuencia de las pruebas, son algunos de los factores que influyen en la exactitud de las mediciones. Por ejemplo, sistemas hidráulicos con partículas de aire en su interior o sistemas neumáticos con fugas, provocan altos niveles de inexactitud. En general, deben seguirse todas las recomendaciones del fabricante de la máquina en cuanto a mantenimiento, calibración y operación del equipo para lograr la operación óptima.

En la tabla 3.1 se muestran los resultados de una calibración hecha a la máquina de pruebas de la empresa MONOLIT, con un anillo de compresión More house para 30 000 libras que, a su vez, no es calibrado, periódicamente.

El error promedio de esta prueba es de 0.90 %, el cual es aceptable para las pruebas que se realizan en esta máquina, aunque no se sabe si es del todo real ya que, como se dijo anteriormente, los anillos utilizados no tienen certificado de calibración reciente.

Calibración con anillo Morehause		
Máquina Baldwin de Monolit		
máquina	carga real	% de error
5 000	4 982	0.37
10 000	9 880	1.22
15 000	14 849	1.01
20 000	19 815	0.93
25 000	24 766	0.95

tabla 3.1 datos de calibración de una máquina de pruebas universal

Capítulo 4

4 Principios de funcionamiento de la máquina de medición de fuerzas.

Una máquina de fuerzas es utilizada para generar en el laboratorio, fuerzas exactas de valor conocido. El objetivo de la generación de dichas fuerzas es la calibración de celdas de carga o algún otro equipo de medición de fuerza. La máquina en la que se basa esta investigación es una máquina estándar de fuerzas del Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), traducido al español, Instituto Federal de Física y Tecnología, ubicado en Braunschweig, Alemania. Esta máquina puede generar fuerzas entre 200 kN y 16.5 MN. Las figuras 4.1 y 4.2 muestran la máquina y el pánel de control, respectivamente.



figura 4.1 máquina de fuerza

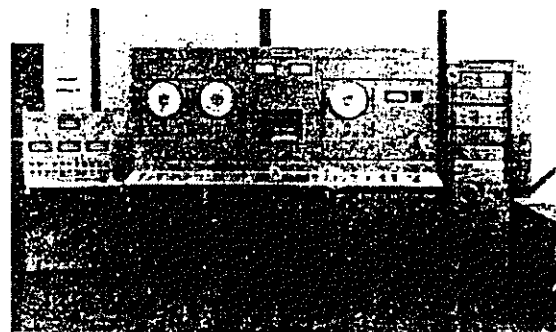


figura 4.2 pánel de control

4.1 Transductor de fuerza.

Esta máquina de fuerzas opera bajo el principio de transmisión de presión hidrostática utilizando un fluido como transductor de fuerza.

Para entender el principio de medición de fuerza por transmisión de presión hidrostática, es necesario recordar una de las propiedades más importantes de los fluidos que dice que: la fuerza ejercida por un líquido sobre una superficie cualquiera es siempre perpendicular a esa superficie. Además, la presión viene definida por la ecuación 4.1:

$$P = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

donde **P** es la presión, **F** es la fuerza en newtones y **A** es el área en m².

Si se considera un recipiente conteniendo un líquido de densidad conocida (ρ) como el de la figura 4.3:

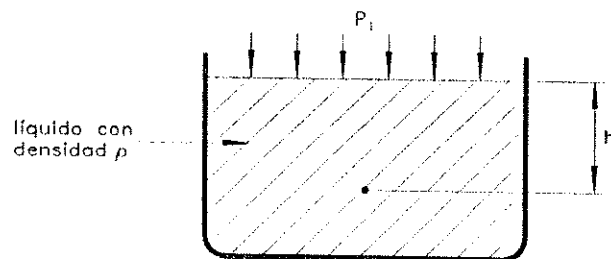


figura 4.3 presión hidrostática en un punto

se puede definir la presión en determinado punto en su interior, como la presión ejercida sobre la superficie del líquido sumada a la presión producida por el peso del líquido mismo, de acuerdo a la ecuación 4.2:

$$P = P_i + \rho gh \quad (4.2)$$

en la que P_i es la presión ejercida sobre la superficie del líquido, ρ la densidad del líquido, g la gravedad y h la altura medida desde la superficie hacia el punto en cuestión. El valor numérico de P_i está dado por la ecuación 4.1 y todo el resto de valores es conocido, por lo que se puede determinar el valor numérico de la presión en cualquier punto.

Ahora, considérese un sistema formado por dos cilindros de distinto diámetro con sus respectivos pistones, comunicados por la parte inferior y llenos con el mismo líquido de densidad conocida como se muestra en la figura 4.4.

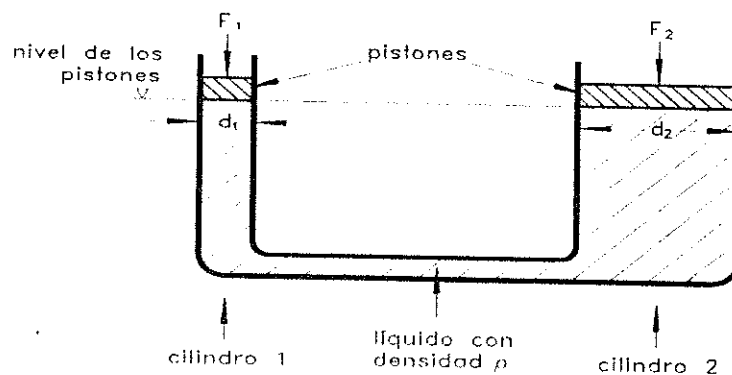


figura 4.4 sistema de dos cilindros

Asúmase que no existe fricción entre las paredes de los cilindros y los pistones y que las cabezas de los pistones se encuentran al mismo nivel. Es fácil ver que para que el sistema esté en equilibrio, las fuerzas F_1 y F_2 aplicadas sobre los cilindros deben producir presiones idénticas sobre las superficies del líquido. Sin embargo, si se ve la ecuación 4.1, se nota que las fuerzas F_1 y F_2 necesarias para producir la misma presión en los cilindros son distintas, ya que las áreas A_1 y A_2 son distintas para los dos pistones. Entonces, debe cumplirse la igualdad mostrada en la ecuación 4.3:

$$P = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (4.3)$$

donde las fuerzas deben ser mayores, tanto mayores sean las áreas. Si se observa la ecuación 4.3 se nota que si se conoce una de las dos fuerzas, que no es más que el peso de un objeto con masa conocida, se puede determinar la otra fuerza, ya que las áreas son conocidas. Con este principio funcionan las llamadas **máquinas de pesos muertos**, que son utilizadas para producción o medición de fuerzas o para la calibración de medidores de presión o fuerza. En el lado de carga se coloca una por una las masas calibradas y en el lado de trabajo, los aparatos a ser calibrados.

4.2 Sistema de indicación.

Las máquinas de fuerza que operan con el principio de pesos muertos descrito en la sección 4.1, utilizan masas calibradas para la producción de fuerzas. Dichas masas son colocadas, una a una, sobre el pistón de menor diámetro, produciendo, con esto, fuerzas de mayor magnitud en el pistón de mayor diámetro, donde se colocan los

manómetros o medidores de fuerza a ser calibrados. El pistón de menor diámetro es el de carga y el de mayor diámetro, el de trabajo.

Cuando las masas son colocadas en el lugar correspondiente, el sistema completo comienza a oscilar, tomando cierto tiempo en llegar a un equilibrio que garantice la producción de la fuerza con ciertos límites de exactitud. En las máquinas con sistema de indicación mecánico existe una aguja que indica cuándo el sistema llegó al equilibrio suficiente para tomar una medida exacta. Existen, además, máquinas con indicadores digitales que operan bajo principios electrónicos para indicar al operador el equilibrio del sistema.

4.3 Límites de incerteza.

La incerteza en las mediciones realizadas en una máquina estándar de fuerza depende de muchos factores, por ejemplo: el tamaño de los cilindros y la exactitud dimensional en su manufactura son de vital importancia, ya que de esta exactitud depende la exactitud de las áreas de transmisión de fuerza. En la máquina estándar de fuerzas del P.T.B., el problema fue resuelto utilizando en el lado de trabajo del sistema, cuatro pistones en lugar de uno solo. Para la producción de fuerzas de 16.5 MN, era necesario utilizar en el lado de trabajo un cilindro de 920 mm de diámetro con una carrera de 2 500 mm de longitud. Este cilindro se sustituyó por cuatro de 465 mm de diámetro con carreras de 1 000 mm cada uno. Con este cambio se logró una incerteza de 0.01 % del valor medido. Con soluciones como esta, se pueden lograr mayores exactitudes en las mediciones, ya que el mercado demanda equipos que cada vez deben ser mejores y más exactos.

Capítulo 5

5 Diseño de conversión de la máquina de pruebas universal para la calibración de patrones de medición de fuerza.

En este capítulo se hará un estudio de la forma en que funciona la máquina de pruebas del ICAITI, cuyos datos y características fueron mostrados en la sección 1.1. Además, se diseñará en forma detallada la conversión que debe hacerse en dicha máquina. En el capítulo 3 se hizo una descripción del funcionamiento de la máquina de la Universidad de San Carlos de Guatemala, sin embargo, la máquina del ICAITI, que es la que se convertirá en este trabajo de tesis, tiene un funcionamiento ligeramente diferente, especialmente, en lo que se refiere al sistema de indicación.

5.1 Aspectos teóricos.

Una máquina de pruebas universal es utilizada para determinar las características mecánicas de los materiales. Para ello, muestras con tamaños y formas normalizadas son sometidas a fuerzas que aumentan gradualmente, hasta ser destruidas por la máquina. Cuando la conversión de la máquina esté terminada, el operario de la misma podrá realizar una prueba sobre un elemento cualquiera, específicamente, una celda de carga, elevando la fuerza hasta que llegue a un valor determinado que se mantendrá constante. Los valores de la fuerza fijados por el operador serán conocidos y con esto se logrará calibrar la celda de carga. Esta celda podrá ser utilizada para calibrar otras máquinas de prueba o para operar debidamente calibrada en un instrumento de medición o en un proceso de producción.

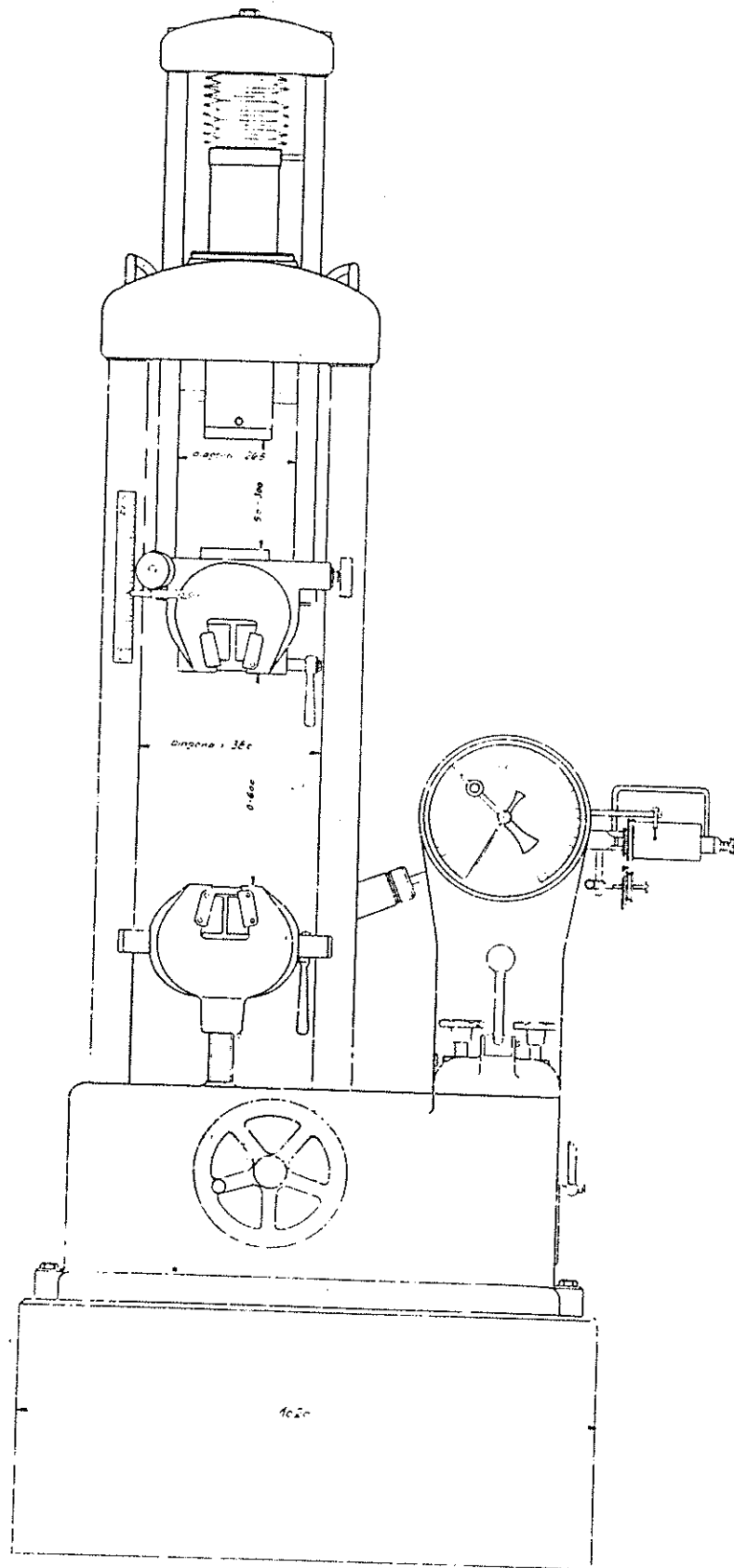


figura 5.1 máquina de pruebas del ICAITI

Ahora se verá la forma en que opera la máquina de pruebas del ICAITI. En la figura 5.1 de la página anterior se muestra el aspecto exterior de esta máquina.

Como se puede observar, a diferencia de la máquina descrita en el capítulo 3, en la que la mesa en la parte inferior y la cruceta de tensión en la parte superior del sistema de carga son elevadas al mismo tiempo por un cilindro hidráulico colocado debajo de todo el sistema, en esta máquina es la parte central del sistema de carga la que es elevada por un cilindro hidráulico colocado en la parte superior del sistema. Sin embargo, el principio por el cual es ejercida la fuerza sobre el elemento bajo prueba, es el mismo, a saber: transmisión de presión hidráulica producida por una bomba de aceite y ejercida por un cilindro sobre el espécimen bajo prueba.

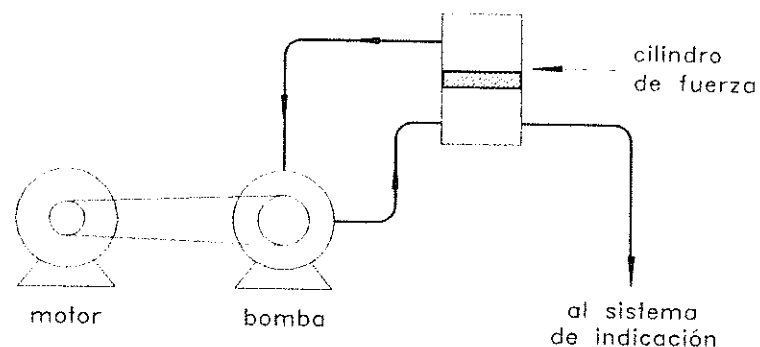


figura 5.2 funcionamiento interno de la máquina

En la figura 5.2 se muestra un esquema general del funcionamiento interno de la máquina de pruebas a convertir.

La bomba de aceite es impulsada por un motor eléctrico cuyas características serán mostradas en la sección 5.2. El motor acciona la bomba valiéndose de una faja de sección en "V". El fluido a alta presión llega a través de una tubería directamente al cilindro de fuerza. La alta presión hidráulica hace subir al pistón que se encuentra en el interior del cilindro y la fuerza ejercida por este es transmitida por medios mecánicos al elemento bajo prueba hasta destruirlo.

Del cilindro de fuerza sale un tubo de derivación con el fluido a presión que acciona el pequeño cilindro hidráulico utilizado en el sistema de indicación.

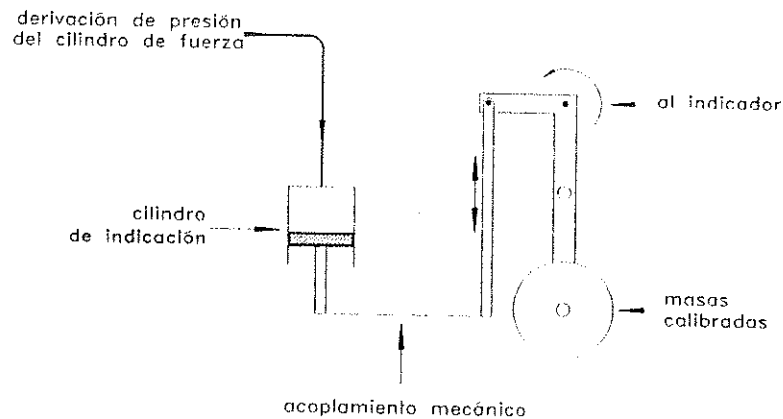


figura 5.3 sistema de indicación

Es en esta parte donde se ve claramente la diferencia entre esta máquina y la estudiada en el capítulo 3 que en su sistema de indicación utiliza un sistema que combina elementos neumáticos e hidráulicos.

En la figura 5.3 se muestra el sistema de indicación. El cilindro de indicación mueve hacia abajo al pistón en su interior. Este pistón, a su vez, por medio de un acoplamiento mecánico hace descender una barra cuyo movimiento tiene solamente un grado de libertad, es decir, de arriba hacia abajo en forma longitudinal. En la parte superior del sistema de indicación están colocadas dos barras en forma de escuadra rígida. Una de estas barras es corta y la otra larga y están unidas a la máquina por un pivote en la unión de las dos. En la barra larga están colocados dos pines cortos cuya función es recibir un juego de tres masas calibradas en posiciones diferentes.

Estas masas tienen la forma de un disco con agujero en el centro. Según el número de masas colocadas y las posiciones en donde se ubiquen es el rango de fuerzas que la máquina puede producir. En otras palabras, las escalas de medición de la máquina se fijan colocando las masas en los pines adecuados. La función específica de estas masas es variar el torque producido por la barra larga al girar al rededor del pivote. Mientras mayores sean las masas colocadas y estén más lejos del pivote, mayor será el torque.

El torque, también conocido como momento "**M**" está definido, físicamente, por la ecuación 5.1:

$$M = d \times F \quad (5.1)$$

donde **d** es la longitud y **F** la fuerza. El producto cruz entre la longitud y la fuerza significa que la fuerza debe ser perpendicular a la longitud. En este caso, al girar la barra larga la fuerza producida por la masa de los discos no es perpendicular a la longitud, por lo que en este caso, como se muestra

en la figura 5.4, se toma en cuenta únicamente la componente de la fuerza perpendicular a la barra.

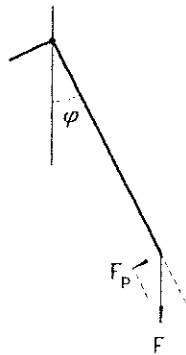


figura 5.4 diagrama de fuerzas

La componente perpendicular viene dada por la ecuación 5.2.

$$F_p = F(\text{sen}\varphi) \quad (5.2)$$

En la ecuación anterior, el ángulo **phi** es el formado entre la barra y la vertical, **F** es la fuerza producida por las masas y **F_p** es la componente de la fuerza que realmente produce el torque.

Finalmente, en el pivote al rededor del cual gira el sistema de las dos barras en ángulo recto, está acoplado un mecanismo de engranajes que hace girar a la aguja del indicador. Al girar esta aguja, marca sobre la carátula graduada la fuerza producida por la máquina sobre el objeto bajo prueba.

La forma en que se piensa convertir la máquina es eliminando este sistema de indicación cuando la máquina se utilice para calibración. En su lugar se colocará un sensor de presión que produce una señal eléctrica que varía respecto del tiempo en forma proporcional a la presión. Esta señal será procesada por un autómata el cual, a su vez, controlará un variador de velocidad conectado al motor eléctrico que impulsa la bomba.

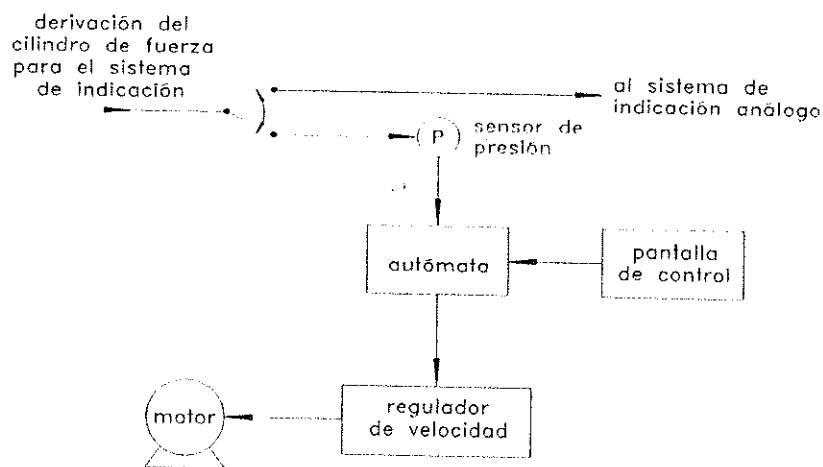


figura 5.5 sistema de control de fuerza

En la figura 5.5 se muestra un diagrama de la forma en que estará integrado el sistema.

Un pequeño dispositivo de entrada y salida de datos estará conectado al autómata para controlar el sistema.

El variador de velocidad hace variar la frecuencia de la energía eléctrica con que se alimenta el motor. Esta variación de frecuencia hace variar la velocidad del motor eléctrico y este, a su vez, hace a la bomba de aceite producir un menor o un mayor valor de presión sobre el cilindro de fuerza, según sea el caso. Con esta variación de presión en el cilindro de fuerza, también varía la presión en el sensor conectado en lugar del sistema de indicación.

En otras palabras, el autómatas es un computador que recibe en forma de intensidad eléctrica la magnitud de la presión en el sistema de indicación de la máquina. Cuando el autómatas nota que la intensidad eléctrica aumenta, le ordena al variador de velocidad que disminuya la frecuencia para bajar la velocidad del motor. En el caso contrario, cuando la intensidad eléctrica decrece, la frecuencia aumenta haciendo más alta la velocidad del motor. Con esto, la bomba produce una presión menor o mayor según sea el caso. Sin lugar a dudas, el autómatas es capaz de producir variaciones tan pequeñas en la frecuencia, que la presión se mantiene,

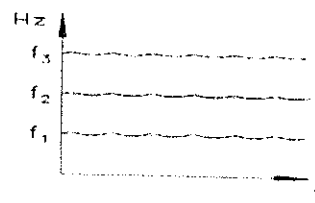
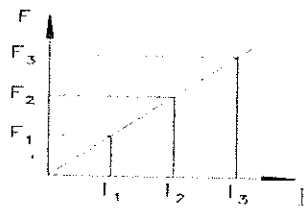


figura 5.6 fuerza vrs. corriente

figura 5.7 frecuencia vrs. tiempo

prácticamente, constante. En las figuras 5.6 y 5.7 se muestra la gráfica de calibración inicial del sistema y la de frecuencia.

La calibración inicial del nuevo sistema demanda la utilización de celdas de carga patrón. La celda de carga patrón deberá ser colocada en la máquina como un elemento bajo prueba. Se fijarán valores de fuerza conocidos, los cuales se leerán en las celdas de carga patrón. Cada valor de fuerza corresponde a una intensidad determinada. Recuérdese que esta intensidad es producida por el sensor de presión como señal analógica y es procesada por el autómata. En la figura 5.6 se muestra la gráfica con la relación entre la fuerza y la intensidad eléctrica y en la figura 5.7, se muestra una gráfica en la que cada frecuencia con valor constante respecto del tiempo, corresponde a una fuerza determinada. Esta frecuencia, como se dijo antes, es la frecuencia producida por el variador de velocidad del motor. Evidentemente, esta frecuencia será normalmente, diferente de los 60 ciclos por segundo de la red de alimentación eléctrica.

Anteriormente se dijo que para la conversión se eliminará por completo el sistema actual de indicación de la máquina. Esto se hará por medio de una válvula de accionamiento manual que trasladará el aceite hidráulico al sensor de presión, siempre que se realicen las calibraciones. La razón por la que se pensó de esta manera es que cuando el sistema actual de indicación de la máquina está activado, las masas colocadas en los pines de la barra giratoria hacen variar el torque de rotación. Al aumentar este torque, también aumenta la presión necesaria en el cilindro de indicación para mover todo el sistema. Al eliminar este sistema, se elimina también toda influencia exterior que pueda incidir sobre la presión que el nuevo sistema convertido debe controlar.

5.2 Aspectos técnicos.

Se verán, ahora, algunos datos necesarios para la selección del equipo que se utilizará para llevar a cabo la conversión.

marca	Lachsenwerk Miedersedlitz
tipo	AD 16/6
serie	1364956
frecuencia	50 Hz
voltaje delta/estrella	220/380 V
corriente delta/estrella	2.46/1.42 A
factor de potencia	0.73

tabla 5.1 datos del motor

Para seleccionar el variador de velocidad se necesita conocer los datos del motor eléctrico mostrados en la tabla 5.1.

Por otro lado, para seleccionar el sensor de presión es necesario saber que el fluido dentro del sistema es un aceite hidráulico para cilindro cuya característica principal es la de comportarse como un fluido, prácticamente incompresible que soporta altas presiones. Además, el cilindro del sistema de indicación trabaja con presiones entre $1 \text{ E} + 08$ y $4 \text{ E} + 08$ pascales. La temperatura de trabajo no excede los 40 grados centígrados. El sensor de presión deberá producir una señal analógica de corriente eléctrica que será procesada por el autómata.

La conversión de la máquina de pruebas universal conlleva el control de dos parámetros principales; el primero de ellos es la presión en el sistema

de medición y, el segundo, la velocidad del motor eléctrico. Sabiendo esto, se necesita seleccionar un autómata que controle por medio de un ciclo de regulación una señal analógica de corriente eléctrica producida por el sensor de presión como señal de entrada y una segunda señal analógica dirigida hacia el regulador de velocidad como señal de salida. El ciclo de regulación es el programa dentro del autómata que gobierna los parámetros mencionados anteriormente para mantener la presión constante.

Además de lo anterior, es necesario buscar un sistema mecánico que permita al operador, antes de iniciar su trabajo en la máquina, seleccionar si la utilizará para hacer calibraciones o para hacer pruebas normales de tracción o compresión.

Capítulo 6

6 Ejecución práctica de la conversión.

Ahora se hará la selección del equipo necesario para ejecutar la conversión de la máquina, se mostrarán los diseños tanto en la parte mecánica como en la parte eléctrica y, por último, se hará una breve descripción de los problemas presentados para realizar este trabajo. Además de todo esto, es necesario considerar que todo el equipo a utilizar debe ser de alta exactitud ya que las aplicaciones de medición y, especialmente, las de calibración de equipo, como en este caso, demandan mucha exactitud, aunque por ello se sacrifique el costo.

6.1 Elementos necesarios.

En la sección 5.2 se mostraron algunos datos necesarios para seleccionar el equipo que se utilizará en la conversión. Estos datos son de mucha importancia, ya que solo conociéndolos bien se puede hacer una selección adecuada de los componentes a utilizar.

A) Para energizar el sistema de control es necesario contar con una línea de 24 V de corriente directa. Este voltaje lo proporciona una fuente de poder.

marca	SIEMENS
modelo	GSE5 931-8MD11
precio	Q 1 000.00

B) El elemento de control es el autómata que controla el proceso completo. Se seleccionó un autómata al cual se pueden conectar varios módulos de entrada y salida de datos. El autómata controla las variables

de entrada y salida, en este caso, la presión y la velocidad del motor eléctrico, respectivamente, regulando el proceso que sea necesario. El autómata seleccionado tiene un tiempo de respuesta adecuado para nuestra aplicación.

marca	SIEMENS
tipo	SIMATIC
modelo	S5-100U
precio	Q 2 200.00

Este precio incluye la CPU (unidad central de procesamiento), el conector frontal y la batería.

C) Al autómata debe conectarse un módulo de entrada analógica que es el que recibirá la señal proveniente del sensor de presión.

marca	SIEMENS
modelo	6ES5 464-8ME11
precio	Q 2 000.00

D) También debe conectarse al autómata un módulo de salida analógica que enviará una señal al variador de velocidad que controla al motor eléctrico.

marca	SIEMENS
modelo	6ES5 470-8MC12
precio	Q 2 600.00

Para acoplar eléctrica y mecánicamente al autómata y sus módulos de entrada y salida es necesario un módulo de bus. Este componente se detalla a continuación.

marca	SIEMENS
--------------	----------------

modelo **6ES5 700-8MA11**
precio **Q 450.00**

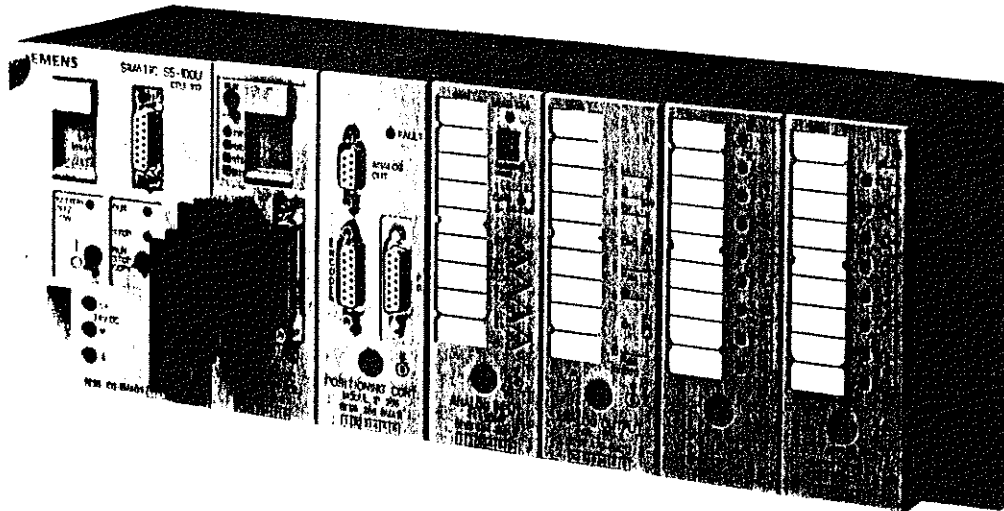


figura 6.1 autómata con módulos de entrada y salida

E) El sensor de presión debe producir una señal analógica entre 4 y 20 mA y debe soportar presiones en un rango entre $1 \text{ E} + 08$ y $4 \text{ E} + 08$ pascales. Para ello selecciónese el siguiente sensor:

marca **SIEMENS**
tipo **SITRANS P**
modelo **7MF4321-1GA00-1AA1**
precio **Q 15 000.00**

Este sensor soporta presiones en un rango entre $1.6 \text{ E} + 07$ y $5.0 \text{ E} + 08$ pascales que se adapta a las necesidades. Puede ser utilizado con líquidos o gases corrosivos o no corrosivos y proporciona la señal que se necesita. En la figura 6.1 se muestra un sensor de presión SITRANS P como el que se utilizará para la conversión. Este sensor no necesita indicador como el de la figura.

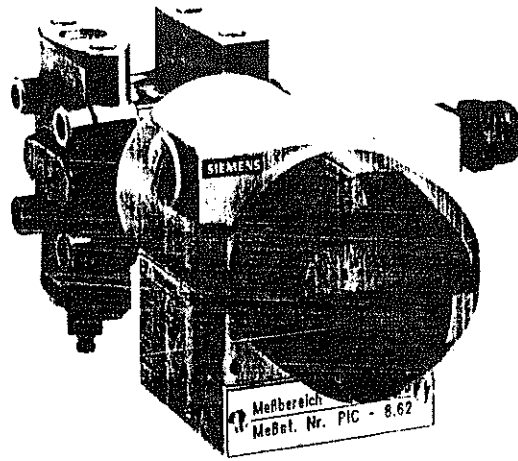


figura 6.2 sensor SITRANS P

F) El variador de velocidad del motor convierte el voltaje de entrada

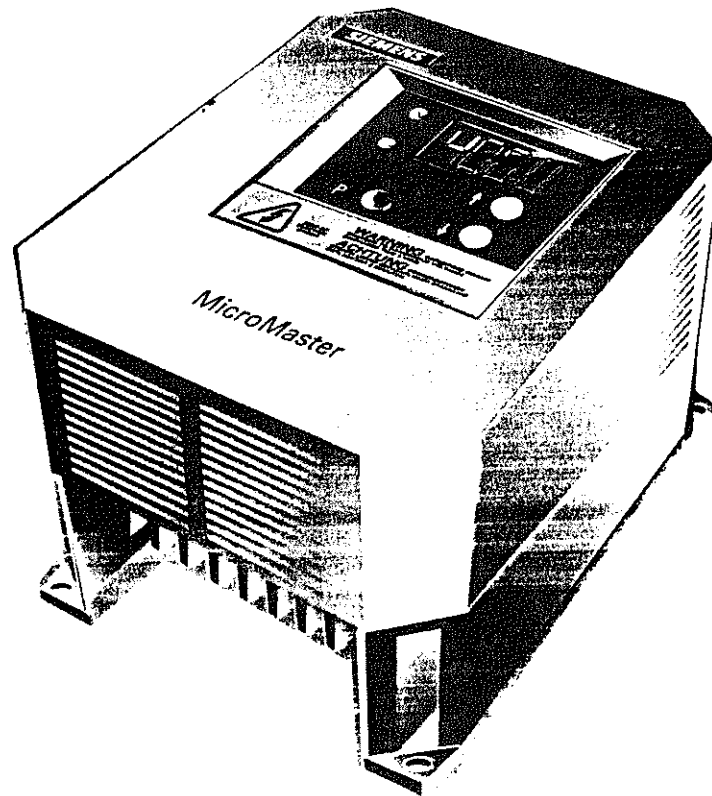


figura 6.3 variador de velocidad

monofásico de 220 V con frecuencia de 60 Hz a un voltaje trifásico de 220 V pero con frecuencia variable. Al variar la frecuencia, varía también la velocidad del motor.

marca	SIEMENS
tipo	SIMOVERT Micro Master MM55
modelo	6SE 3012-6BA00
precio	Q 2 300.00

En la figura 6.3 mostrada en la página anterior se muestra el aspecto exterior del variador de velocidad SIMOVERT.

G) Con una pequeña pantalla de despliegue de textos se podrá controlar al autómeta

marca	SIEMENS
modelo	TD 390
precio	Q 2 300.00

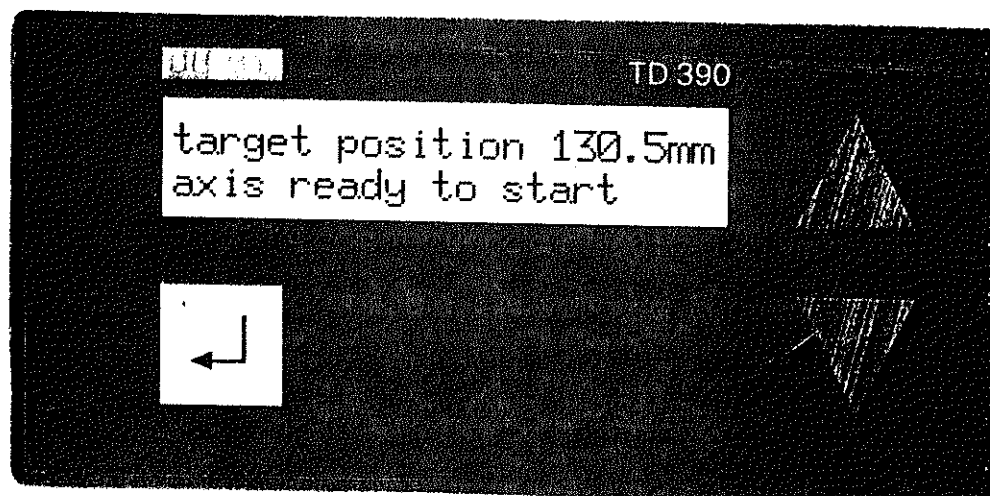


figura 6.4 pantalla TD 390

Además de todos los componentes detallados anteriormente, cuya función es la de controlar la presión del sistema de indicación de la máquina de pruebas universal, también son necesarios los elementos con los cuales el operador de la máquina pueda convertirla fácilmente al modo de calibración. Estos elementos son dos válvulas de bola y una te de 3/8 de pulgada. El costo de estos elementos es de, aproximadamente, Q 200.00.

El costo total de la conversión es de alrededor de Q 32 000.00.

6.2 Ejecución de la conversión.

La parte mecánica de la conversión implica que cuando el operador seleccione el modo de calibración solamente tendrá que eliminar el actual sistema de indicación, cerrando una válvula de bola

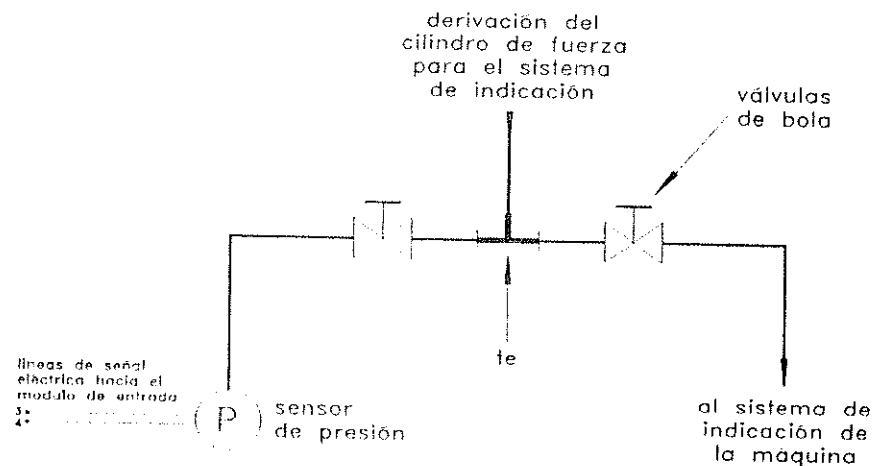
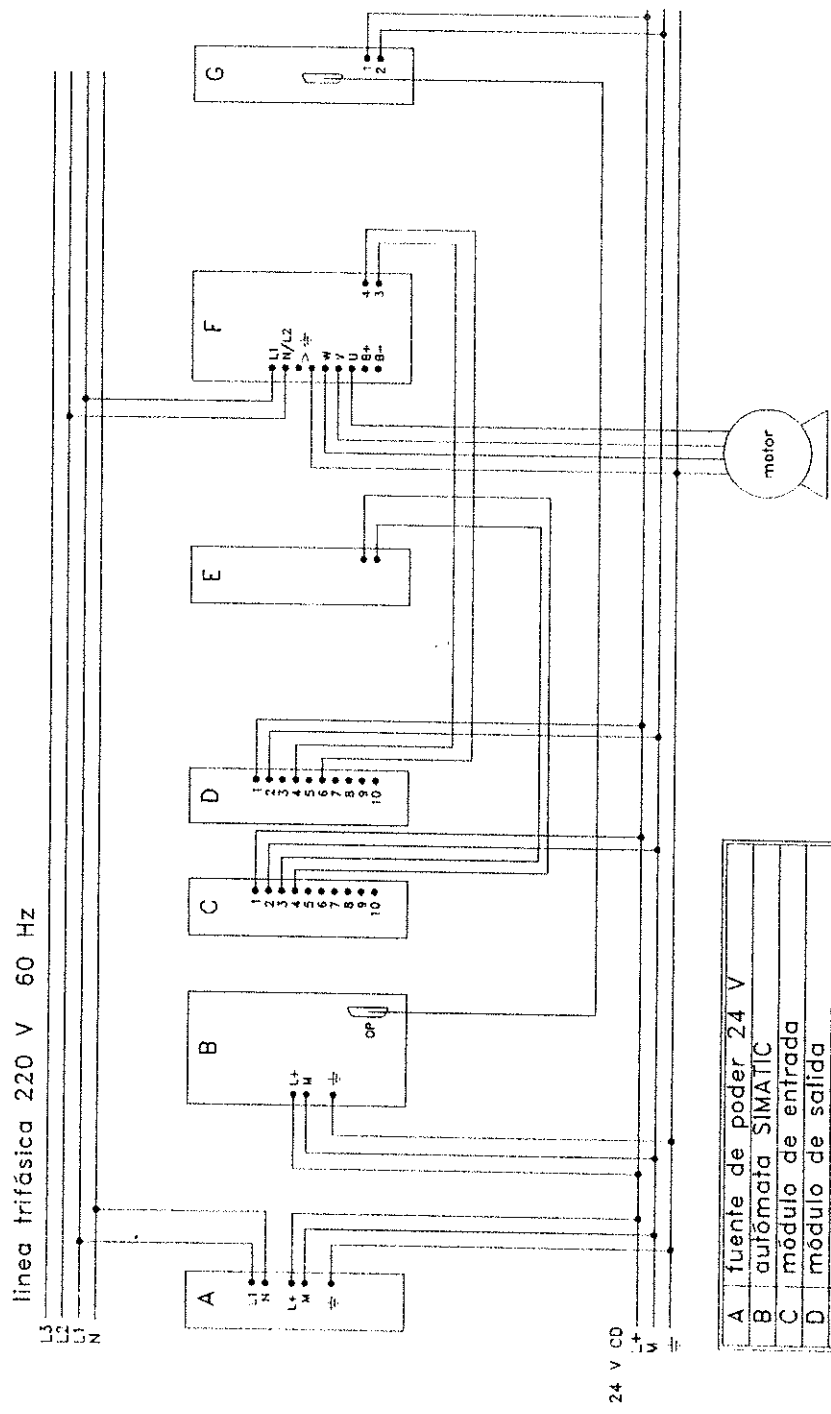


figura 6.5 sistema de tuberías de indicación

y abriendo otra válvula de bola que conecta la derivación del cilindro de fuerza al sensor de presión. En la figura 6.5 se muestra un diagrama de la forma en que quedarán conectadas las válvulas.

En la figura 6.6, en la página siguiente se muestra un diagrama de las conexiones eléctricas del sistema de control.



A	fuelle de poder 24 V
B	autómata SIMATIC
C	módulo de entrada
D	módulo de salida
E	sensor de presión
F	variador de velocidad SIMOVERT
G	pantalla de textos

6.3 Problemas presentados.

Una máquina de pruebas universal es un equipo de medición muy especializado. Pocas empresas en Guatemala utilizan estas máquinas para realizar sus ensayos de tracción, compresión y flexión y, aún, menos empresas cuentan con una de ellas. Uno de los principales obstáculos para la realización de este trabajo fue tener acceso a los manuales y a una de estas máquinas.

Para determinar la forma en que debe realizarse la conversión fue indispensable conocer los principios de operación de los sistemas de las máquinas de pruebas universales. Los sistemas de carga, pesado e indicación de la máquina de la Universidad de San Carlos de Guatemala se describieron en el capítulo 3, sin embargo, la máquina del ICAITI, que es la máquina que se convertirá, tiene un sistema de indicación diferente.

Específicamente, es el sistema de indicación de la máquina de pruebas universal el que se modificará para la calibración de patrones.

Se evaluaron tres opciones de conversión de la máquina; dos de ellas utilizaban una válvula solenoide o una válvula de control de presión en el sistema de carga para derivar la presión cuando excedía de cierto valor, estas eran controladas por transmisores de presión en el sistema de indicación. Sin embargo, por los niveles de exactitud necesarios se seleccionó la opción descrita en este trabajo de tesis, cuyo funcionamiento es electrónico y mecánico.

El costo del proyecto de, aproximadamente, Q 32 000.00 es razonable si se considera que el nuevo sistema será utilizado para realizar calibraciones de alta exactitud.

Otro de los problemas fue el hecho de que existiera un juego de masas que se colocan en una de las barras móviles del sistema de

indicación de la máquina. El cambio de ubicación de estas masas hace variar la presión interna existente dentro del cilindro de indicación. Sin embargo, al tomar en cuenta que la aguja y la escala de indicación es la misma para todos los rangos de fuerza, el cambio de presiones internas en el cilindro de indicación para medir diferentes valores de fuerza es evidente, aunque la posición de la aguja indicadora sea la misma. La forma en que se libró este obstáculo fue eliminando, completamente, el actual sistema de indicación de la máquina al utilizarla con fines de calibración.

En general, se encontró mucho interés y colaboración en el personal de las industrias visitadas. Todas las personas contactadas para realizar la investigación tienen conciencia de la importancia de las calibraciones del equipo de medición, especialmente, por las normas de calidad total que toman tanto auge en los últimos tiempos.

Conclusiones.

1. La máquina de pruebas universal del ICAITI cuenta con un cilindro hidráulico en la parte superior, el cual proporciona la fuerza para realizar las pruebas. La presión del líquido en el interior del cilindro es producida por una bomba de aceite accionada a través de una faja, por un motor eléctrico.

2. Del cilindro hidráulico de fuerza se deriva una tubería hacia el sistema de indicación de la máquina de pruebas universal. En esta parte es donde se colocarán los elementos de control para la regulación de presión y, por lo tanto, de la fuerza producida por la máquina.

3. Para convertir la máquina debe contarse con cuatro elementos básicos. A continuación se describen los elementos y las funciones que desempeñarán:
 - a) un sensor de presión que mide la presión del aceite en el sistema de indicación y produce una señal eléctrica para control;
 - b) un regulador de velocidad que controla la velocidad del motor eléctrico que impulsa a la bomba de aceite de acuerdo a una señal eléctrica que recibe como parámetro de entrada;
 - c) un autómata que recibe la señal del sensor de presión, la procesa y envía una segunda señal hacia el regulador de velocidad;
 - d) un dispositivo electrónico para ingreso de datos por medio del cual el operador define el valor de la fuerza que desea producir.

4. Cuando la máquina se utilice para calibración, el actual sistema de indicación quedará fuera de uso. Esto se hará para evitar la incidencia de los elementos del sistema de indicación sobre la presión en el sensor.

5. Para la calibración inicial del sistema, el ICAITI cuenta con celdas de carga patrón. Estas deberán ser puestas bajo prueba en la máquina ya modificada para fijar los valores de fuerza que la máquina debe producir. El autómatas guardará en su memoria el valor de corriente que produce el sensor de presión y el valor de corriente que debe enviar al variador de velocidad cuando la celda de carga patrón detecte un valor determinado de fuerza. De esta manera se fijarán tantos valores de fuerza como sean necesarios para que cuando el sistema esté en funcionamiento, el operador ingrese un valor de fuerza y la máquina la produzca, automáticamente y, en forma constante.

Recomendaciones.

1. El ICAITI no cuenta en la actualidad con el presupuesto necesario para la realización de la conversión descrita en el presente trabajo de tesis. Sin embargo, se puede afirmar que el costo de la conversión se podría recuperar en poco tiempo, ya que los servicios metrológicos son bien cotizados a nivel industrial.
2. Se recomienda realizar físicamente la conversión de la máquina, ya que con esto se lograrán altos niveles de exactitud en la producción de fuerzas, lo cual redundará en un mejor control metrológico en la industria, tanto en mediciones de fuerza como en mediciones de masa.

Bibliografía.

1. ACOSTA, Virgilio. Física moderna. Harla Harper & Row Latinoamericana, México. 1976.
2. ALVARENGA, Beatriz. Física general. Harla, México. 2da. edición, 1975.
3. Baldwin instruction sheet. Loading system. Baldwin-Lima-Hamilton Corporation, Philadelphia 42, Penna.
4. Baldwin instruction sheet. Tate-emery indicating system. Baldwin-Lima-Hamilton Corporation, Philadelphia 42, Penna.
5. Baldwin instruction sheet. Weighing system. Baldwin-Lima-Hamilton Corporation, Philadelphia 42, Penna.
6. PETERS, Manfred. Experiences and results of international comparison measurements of forces up to 1 MN. PTB-Mitteilungen.
7. POPOV, Egor P. Introducción a la mecánica de los sólidos. Limusa, México. 7ma. reimpresión, 1989.
8. SOISSON, Harold E. Instrumentación industrial. Limusa, México. 4ta. reimpresión.
9. WEILER, W. Design and calibration problems of the 15 MN hydraulic force standard machine. Braunschweig.

10. MICHEO ALMENGOR, Carlos. Optimización del proceso de control de calidad de la consistencia de fibra cemento, utilizando celdas de carga y autómatas. Tesis, junio de 1992.

11. Guía para el uso del sistema internacional de unidades (norma centroamericana ICAITI 4 001). División de normalización. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial ICAITI.

Anexo.

Factores de conversión

para convertir	a	multiplique por
longitud		
pulgada	metro	2.540 000 E - 02
fuerza		
kilogramo fuerza	newton	9.806 650 E + 00
libra fuerza	newton	4.448 222 E + 00
tonelada métrica	newton	9.806 650 E + 03
presión		
bar	pascal	1.000 000 E + 05
psi	pascal	6.894 757 E + 03

Nota: El metro, el newton y el pascal son las unidades del Sistema Internacional de Unidades para la longitud, fuerza y presión respectivamente.