



T  
621.67  
OCHd.  
ESPOL  
Escuela Superior Politécnica del Litoral

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**  
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción

**“Diseño y construcción de un Equipo  
Interfase de señales para un Sistema  
de Adquisición de Datos aplicado al  
Banco de Bombas Centrífugas del  
Laboratorio de Termofluidos de la  
FIMCP.”**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la Obtención del Título de:

**INGENIERO MECANICO**

Presentada por:

**Gustavo Javier Ochoa García**

Guayaquil - Ecuador

Año - 2002

## AGRADECIMIENTO

A la fuente de todo conocimiento, al  
único y sabio DIOS.

A mis padres, por su infatigable  
apoyo, incentivo y consejo.

A mis tías Ruth y Gloria, cuya  
colaboración, me ha permitido  
alcanzar esta meta.

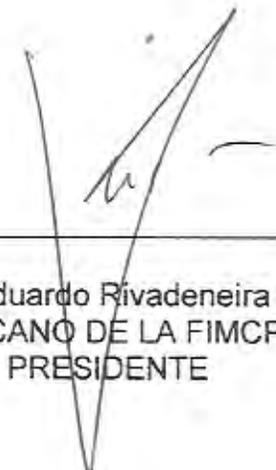
A mi director de Tesis Ing. Francis  
Loayza por su incalculable ayuda.

## DEDICATORIA



AI SEÑOR JESUCRISTO  
A MIS PADRES HÉCTOR  
ELOY Y RUTH NOEMÍ,  
A MIS HERMANOS  
A MIS AMIGOS

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



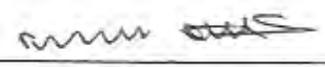
---

Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



---

Ing. Francis Loayza P.  
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. Francisco Andrade S.  
VOCAL



---

Ing. Mario Patiño A.  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Gustavo Javier Ochoa Garcia.

## RESUMEN

El presente trabajo es una respuesta a las demandas de la Ingeniería de nuestro tiempo, es el diseño del equipo que permite que lleguen hasta el computador todas las señales que provienen de las distintas variables que se miden en las prácticas realizadas en el Banco de Bombas del Laboratorio de Termofluidos de la FIMCP.

El primer capítulo describe las características del Banco de Bombas, es una descripción general de sus componentes y de los sensores que tradicionalmente eran utilizados para la medición de las variables de caudal, torque, rpm y presión, el cableado de los mismos, el lugar donde se encontraban sus indicadores y la forma como se realizaban las prácticas.

El segundo capítulo describe todos los parámetros que fueron necesario considerar para que las señales de sensores electrónicos llegaran hasta el computador. Entre los requerimientos se describen de señales electrónicas a señales de comunicación.

Sistema Modular Field Point, cuyas demandas, fueron los lineamientos para el diseño y construcción de una tarjeta electrónica acondicionadora de señales, las mismas que provienen de los sensores electrónicos que fueron instalados.

Se detalla cada sensor, sus requerimientos, funcionamiento, el diseño del circuito electrónico particular para cada caso, su instalación y cableado desde el origen de la señal hasta la llegada al equipo Field Point. Se puede observar en detalle cada circuito electrónico con sus componentes y en los apéndices las bases teóricas que sustentan su diseño. Este capítulo termina con las descripciones de una tarjeta electrónica que integra todos y cada uno de los circuitos independientes de cada sensor, la misma que es colocada en una caja de conexiones llamada Caja Pre-interfase, esta, viene a ser de gran importancia para el normal funcionamiento del sistema.

En el capítulo tres, detallo las curvas de calibración obtenidas de los sensores de caudal, presión y fuerza, así como el procedimiento que se siguió para cada caso.

En el capítulo cuatro describo los pasos que se deben seguir en la realización de cada práctica.

En la última parte de este trabajo se encuentran los apéndices con detalles tanto teóricos como especificaciones de todos los dispositivos utilizados, y creados para que el objetivo de este trabajo pueda ser una realidad.



## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VIII
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE PLANOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1 .....	2
1. BANCO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS .....	2
1.1. Descripción general de equipo .....	2
1.2. Características técnicas .....	5
1.3. Sensores e instrumentos tradicionales de medición.....	6
1.3.1. Medición de caudal .....	6

1.3.2. Medición de torque.....	6
1.3.3. Medición de RPM.....	7
1.3.4. Medición de presión.....	7
1.4. Ubicación de indicadores, cableado y conexiones.....	9
1.5. Prácticas realizadas en el banco de bombas.....	10
CAPITULO 2.....	15
2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TARJETA DE INTERFASE PARA ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES Y ALIMENTACIÓN DE SENSORES .....	15
2.1. Análisis de los requerimientos del sistema.....	19
2.1.1. Módulos de adquisición de datos.....	19
2.1.2. Fuente de poder.....	23
2.1.3. Protocolos de comunicación.....	24
2.2. Medición de Caudal:.....	26
2.2.1. Flujómetros de turbina.....	26
2.2.1.1. Diseño y coonstrucción de tarjeta acondicionadora de señal.....	28
2.2.1.1.1. Circuito de amplificación.....	30
2.2.1.1.2. Conversión de señal diente de sierra a señal cuadrada.....	35
2.2.1.2. Ubicación: Cableado e instalación.....	39
2.2.2. Medición indirecta a través de nivel (Método de canal abierto).41	

2.2.2.1. Sensores de baja presión .....	42
2.2.2.2. Diseño y construcción del circuito de alimentación .....	44
2.2.2.3. Ubicación: Cableado e instalación .....	45
2.3. Medición de torque.....	47
2.3.1. Celdas de carga .....	47
2.3.2. Diseño y construcción del circuito de alimentación.....	49
2.3.3. Diseño de piezas y elementos para instalación.....	50
2.3.4. Ubicación: cableado e instalación .....	52
2.4. Medición de RPM.....	53
2.4.1. Sensores optoacopladores.....	54
2.4.2. Diseño y construcción de un circuito de alimentación y acondicionamiento de señal.....	56
2.4.3. Piezas y elementos para instalación.....	62
2.4.4. Ubicación: cableado e instalación .....	64
2.5. Medición de presión .....	66
2.5.1. Sensores de alta presión .....	66
2.5.2. Diseño y construcción del circuito de alimentación.....	69
2.5.3. Diseño de piezas y elementos para instalación.....	70
2.5.4. Ubicación: cableado e instalación .....	70
2.6. Ensamble de los circuitos independientes a una sola tarjeta.....	74
2.7. Descripción de caja pre-interfase de señales.....	77

CAPITULO 3 .....	83
3. CALIBRACIÓN DE SENSORES.....	83
3.1. Sensores electromagnéticos .....	85
3.2. Sensores de alta presión.....	98
3.3. Sensor de baja presión .....	107
3.4. Sensores de Fuerza .....	109
CAPITULO 4 .....	113
4. DESARROLLO DE PRACTICAS PARA ESTUDIANTES.....	113
4.1. Manejo general del equipo .....	113
4.2. Calculo de las curvas características de las bombas.....	114
4.3. Bombas homólogas.....	115
4.4. Bombas en serie y en paralelo .....	116
CAPITULO 5 .....	118
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	118
APÉNDICES	
BIBLIOGRAFÍA	

## ABREVIATURAS

A	Ganancia
Amp	Amperio.
b	Término Independiente.
bits	Bits
C(n1,m1)	Factor para determinar el grado de polinomio que mayor se ajuste a los datos.
Cd	Coefficiente de descarga
cm	Centímetro.
COM	Común
CPU	Unidad central de proceso
d1, d2, d3, etc.	Diferencias entre la curva ajustada y los n valores medios observados a partir de los datos de calibración.
E/S	Entrada / salida
FP	FieldPoints (Punto de Campo)
g	Gramos.
g	gravedad
h	altura
HP	Caballos de fuerza
Hz	Hertz
Kbits /seg	Kilo bits por segundo
kW	Kilovatios
LED	Diodo Emisor de luz.
lts/seg	Litros por segundo
m	mertos
m1	Grado del polinomio de ajuste.
mA	Miliamperios
mm	Milímetro.
mseg. / div	Milisegundos por división
mV	Milivoltios

N	Newton
n1	Número de incrementos de valores diferentes de cero.
Ohm	Ohmio.
OPAMP	Amplificador Operacional
Oz	Onzas
P.V.C	Polivinilo cloruro
Psi	Libras por pulgada cuadrada
pulg	Pulgada
Q	Caudal
R	Resistencia eléctrica
r.p.m.	Revoluciones por minuto
R2	Correlación.
Seg.	Segundos
V	Voltios
V/div.	Voltios por división
VDC	Voltios de corriente directa

## SIMBOLOGÍA

$\Omega$	Ohmios.
$I_c$	Corriente de salida del detector.
$I_{cSat}$	Corriente de Saturación del Fototransistor.
$H_t$	Cabezal total
$P_m$	Potencia mecánica
$\eta$	Eficiencia total
FP-AI-110	Módulo Field Point de entradas analógicas 110
CTR-500	Módulo Field Point contador 500
FP-AI-111	Módulo Field Point de entradas analógicas 111
LM 741	Circuito integrado 741
$V_{in}$	Voltaje de entrada
$V_{out}$	Voltaje de salida
$V_{cc}$	Voltaje positivo de saturación
$y_f$	Altura de nivel de agua
$y_o$	Altura de nivel de agua desde el fondo hasta vértice de V
$\emptyset$	Diámetro
$V_s$	Voltaje de arranque de diodo emisor de luz
$I_{co}$	Corriente inducida a fototransistor
$I_c$	Corriente de saturación de fototransistor
$I_d$	Corriente que circula a través del diodo
$R_s$	Resistencia en circuito de diodo
$I_t$	Corriente inducida en fototransistor por luz infrarroja
$R_c$	Resistencia en circuito de fototransistor
A.O.T.	Iniciales de la casa proveedora de los Flujómetros

$S_{m1}$	Desviación residual estándar
$Y^*$	Ordenada de la ecuación de curva de calibración mediante regresión lineal
$Y$	Valor de ordenada de puntos obtenidos en calibración
up	Colocación de masas en orden creciente
down	Colocación de masas en orden decreciente

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Banco de Bombas .....	4
Figura 1-2	Distribución de Sensores a través del impeler .....	8
Figura 1-3	Diagrama funcional del banco de bombas .....	9
Figura 2-1	Diagrama funcional del Sistema de Adquisición de Datos .....	16
Figura 2-2	Esquema de Flujómetro.....	27
Figura 2-3	Flujómetro A:O:T: .....	28
Figura 2-4	Señal directa del sensor Electromagnético .....	29
Figura 2-5	Esquema general de circuito amplificador .....	31
Figura 2-6	Señal a la salida del amplificador .....	35
Figura 2-7	Circuito básico comparador: .....	36
Figura 2-8	Señal a la salida del circuito comparador, antes del diodo....	38
Figura 2-9	Señal a la salida del circuito comparador, luego del diodo.....	38
Figura 2-10	Bornera C: conexión de electromagnético .....	40
Figura 2-11	Esquema de de instalación.....	45
Figura 2-12	Sensor de nivel.....	46
Figura 2-13	Celda de Carga .....	48
Figura 2-14	Esquema de celda de carga .....	49
Figura 2-15	Dinamómetro, celda y piezas de instalación .....	51
Figura 2-16	Conexión de celda de carga .....	53
Figura 2-17	Instalación de optoacoplador .....	54
Figura 2-18	Geometría de optoacoplador .....	56
Figura 2-19	Esquema general de optoacoplador .....	57
Figura 2-20	Esquema con valores aplicados .....	60
Figura 2-21	Diagrama seguidor de voltaje .....	61
Figura 2-22	Esquema completo con seguidor de voltaje.....	61
Figura 2-23	Disco dentado trabajando con .....	63
Figura 2-24	Conexiones de optoacoplador .....	65
Figura 2-25	Sensor de alta presión.....	66
Figura 2-26	Diafragma y puente de Wheastone .....	68

Figura 2-27	Alimentación de sensor de presión.....	70
Figura 2-28	Succión en la bomba #1 .....	71
Figura 2-29	Sensores en la descarga de la bomba #1 .....	72
Figura 2-30	Sensor en succión de bomba #2 .....	73
Figura 2-31	Sensores a la descarga de bomba #2 .....	73
Figura 2-32	Tarjeta electrónica y su Pista.....	76
Figura 2-33	Bornera A .....	77
Figura 2-34	Bornera C: Señales de sensores excepto presión .....	78
Figura 2-35	Bornera D: Señales de sensores de presión.....	79
Figura 2-36	Caja pre-interfase con elementos fuera de ella.....	80
Figura 2-37	Caja pre-interfase armada .....	81
Figura 2-38	Equipo completo .....	81
Figura 2-39	Banco de bombas y caja pre-interfase.....	82
Figura 2-40	Caja pre-interfase en funcionamiento .....	82
Figura 3-1	Curva de calibración Flujómetro #1 .....	92
Figura 3-2	Curva de calibración Flujómetro #2 .....	97
Figura 3-3	Curva de calibración de 8-C3120143.....	101
Figura 3-4	Curva de calibración de 8-C3120013.....	102
Figura 3-5	Curva de calibración de 8-C3120124.....	103
Figura 3-6	Curva de calibración de 8-C3120127.....	104
Figura 3-7	Curva de calibración de 8-C3119976.....	105
Figura 3-8	Curva de calibración de 8-C3120304.....	106
Figura 3-9	Curva de calibración sensor de Bja Presión # 87.....	108
Figura 3-10	Curva de calibración , Celda Bomba #2.....	110
Figura 3-11	Curva de calibración, Celda Bomba #1.....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Características Técnicas del Banco de Bombas.....	5
Tabla 2	Variables de la desviación estándar.....	84
Tabla 3	Tabla de pulsos de acuerdo a cada abertura B1.....	90
Tabla 4	Tabla de calibración Bomba # 1.....	92
Tabla 5	Tabla de pulsos de acuerdo a cada abertura B2.....	93
Tabla 6	Tabla de calibración Bomba #2.....	97
Tabla 7	Masas Patrones.....	98
Tabla 8	Masas de Calibración.....	99
Tabla 9	Calibración ALTA PRESIÓN: 8-C3120143.....	101
Tabla 10	Calibración ALTA PRESIÓN: 8-C3120013.....	102
Tabla 11	Calibración ALTA PRESIÓN: 8-C3120124.....	103
Tabla 12	Calibración ALTA PRESIÓN: 8-C3120127.....	104
Tabla 13	Calibración ALTA PRESIÓN 8-C3119976.....	105
Tabla 14	Calibración ALTA PRESIÓN: 8-C3120304.....	106
Tabla 15	Calibración de sensor KPSI N° 87.....	108
Tabla 16	Tabla de calibración de celda de carga Bomba #2.....	110
Tabla 17	Tabla de calibración de celda de carga Bomba #1.....	111
Tabla 18	Ecuaciones y constantes de sensores.....	112

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1: Disco con agujeros.

Plano 2: Caja pre-interfase.

Plano 3: Caja de equipo Field Point.

Plano 4: Soporte para caja de Field Point.

## INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Mecánica posee un sin número de aplicaciones que hoy en día se vuelven más ágiles, flexibles y amigables con el uso de los programas de computación para lograr mejores resultados en el menor tiempo posible.

Un Sistema de Adquisición de Datos a través del computador, sea para monitoreo o control, es una de las herramientas que la informática ofrece para actualizar y mejorar equipos que pueden estar trabajando aún como ejemplos didácticos de los fenómenos físicos que se manejan en la ingeniería, tal como sucede con el Banco de Bombas del Laboratorio de Termofluidos de la FIMCP.

A continuación, en el presente trabajo pretendo plasmar una guía de los pasos que se han seguido para lograr la instalación de un sistema de estas características a un equipo como el Banco de Bombas, sin pasar por alto los detalles que comprenden a cada componente del sistema así como las sugerencias que a futuro podrían aplicarse para llegar a la automatización total del equipo aplicando el control sobre las variaciones de los fenómenos.

Este trabajo se complementa con otra tesis que detalla la programación que se realizó en el Lenguaje Labview 5.0 (1), para la realización de todas las prácticas, la recopilación automática de datos y la obtención de las curvas características de cada bomba o de ambas trabajando en serie o en paralelo.

# CAPITULO 1

## 1. BANCO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS

### 1.1. Descripción general de equipo

El objetivo de este equipo es que los estudiantes puedan comprender las propiedades básicas de una bomba centrífuga y las propiedades más complicadas asociadas con la operación de dos bombas en el mismo tiempo. Para cumplir este propósito son utilizadas dos bombas de características similares pero de diferente tamaño.

Los experimentos o prácticas que se pueden realizar en este equipo son los siguientes:

- Características externas de bombas centrífugas y cavitación.
- Bombas homólogas
- Bombas conectadas en serie y paralelo

Las bombas geométricamente similares pero de diferente tamaño se encuentran instaladas sobre un tanque de acero que

hace las veces de reservorio que tiene incorporado un vertedero en forma de V para medición de flujo en función del nivel de agua y del ángulo del vertedero. Normalmente los equipos operan como bombas centrífugas pero la más pequeña puede también operar como una turbina. La razón entre los diámetros de las dos bombas es 1 / 1.375.

Cada bomba es guiada por un motor de corriente continua de velocidad variable. El motor de la bomba pequeña es reversible y puede operar como generador durante la prueba de turbina. Cada motor posee su propia unidad de control de velocidad.

La bomba de mayor tamaño que es la bomba # 1 estaba provista originalmente de una ventana de acrílico que permitía observar el fenómeno de cavitación. En esta misma bomba tenemos sensores de presión que permiten la medición de la distribución de la presión a través del impeler.

Las dos bombas están conectadas mediante un sistema de tubería de P.V.C. y válvulas de globo manuales.

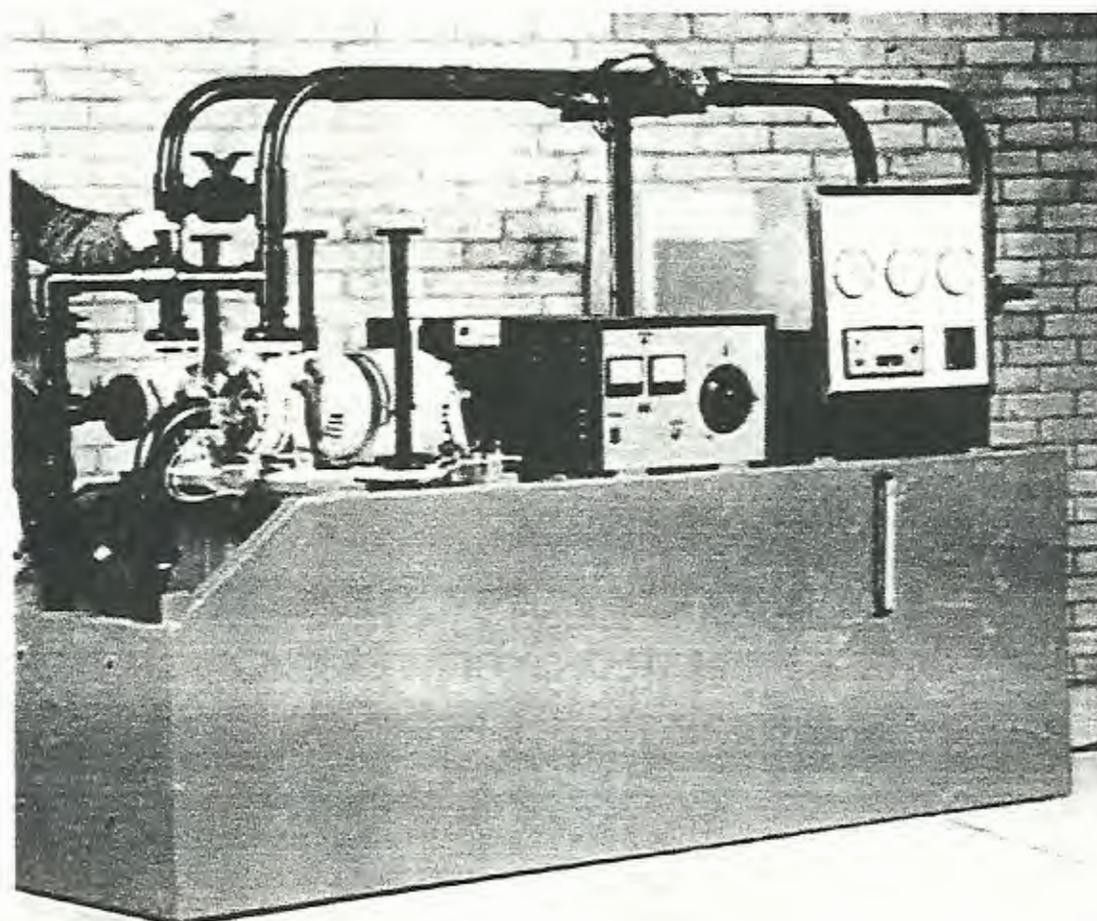


FIGURA 1-1BANCO DE BOMBAS

## 1.2. Características técnicas

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL BANCO DE BOMBAS

<p align="center"><b>Bomba #1</b></p> <p>Diámetro del impeler Máximo flujo Máximo cabezal de descarga</p>	<p>140 mm 6.5 lts. / seg. a 3000 r.p.m. 28 m a 3000 r.p.m.</p>
<p align="center"><b>Bomba #2</b></p> <p>Diámetro del impeler Máximo flujo Máximo cabezal de descarga</p>	<p>101.8 mm 2.5 lts. / seg. a 3000 r.p.m. 17 m a 3000 r.p.m.</p>
<p align="center"><b>Bomba #2 como Turbina</b></p> <p>Potencia de salida máxima Mejor eficiencia típica</p>	<p>305 W a 2100 r.p.m. 65%</p>
<p align="center"><b>Motores</b></p> <p>Potencia nominal Rango de velocidad</p>	<p>2.2 kW 0-3000 r.p.m.</p>
<p align="center"><b>Requerimientos eléctricos</b></p>	<p>200 – 240 V, 50/60 Hz, monofásico. Máximo consumo de potencia 5kW</p>
<p align="center"><b>Dimensiones</b></p>	<p>2440 mm long. X 790 mm ancho x 1720 mm altura.</p>

### **1.3. Sensores e instrumentos tradicionales de medición**

A continuación describo brevemente cuales fueron los elementos utilizados para la medición de las distintas variables en este equipo, de las cuales, la

#### **1.3.1. Medición de caudal**

Cada bomba está provista de un flujómetro electrónico de turbina, el cual permite la lectura directa de flujo en lts./seg. que era observada en un indicador ubicado en un panel junto con los indicadores de las otras variables. Cada bomba tiene su propio panel.

El flujómetro está ubicado en la descarga de la bomba del sistema y como se explicará más adelante trabaja con un sensor electromagnético basado en un imán permanente el cual emite una señal de voltaje cuando el campo magnético del mismo es perturbado por los álabes de la turbina del flujómetro.

#### **1.3.2. Medición de torque**

El torque es medido a partir de la lectura de la fuerza en un dinamómetro colocado en la carcasa del motor en

cual nos da lecturas directas de fuerza en Newtons y el estudiante al multiplicarla con la distancia del dinamómetro al centro del eje del motor, que es 0.165 m, calculaba el torque.

### **1.3.3. Medición de RPM**

La medición de r.p.m. se la realizaba utilizando también sensores

electromagnéticos, donde el campo magnético de los sensores era perturbado por un engrane de dientes rectos y por cada perturbación había una señal de voltaje que era llevada hasta un tacómetro que mostraba el valor de r.p.m. a través de un indicador en el panel de monitoreo.

Cada motor está provisto con un equipo independiente de control, donde a través de un reóstato podemos variar la velocidad de 0 a 3000 r.p.m.

### **1.3.4. Medición de presión**

La medición de presión se la realizaba con sensores del tipo Bourdon, tanto en la succión como en la descarga de la bomba, el valor de la presión era leído en un indicador

de pluma en el panel de monitoreo y los sensores estaban ubicados de la siguiente manera: un sensor en la succión de cada bomba, dos sensores a diferente distancia en la descarga.



FIGURA 1-2 DISTRIBUCIÓN DE SENSORES A TRAVÉS DEL IMPELER

En la bomba #1 existe aún un distribuidor de señales de presión que selecciona la señal entre los tres sensores de presión que se encuentran a lo largo del radio del impeleler de la bomba y la señal propia de succión.

### 1.4. Ubicación de indicadores, cableado y conexiones

Todas las lecturas, excepto las de fuerza, eran observadas en los paneles de monitoreo, uno por cada bomba y todas las líneas de señales, es decir, los cables y conductores de señales eran llevados al centro del equipo y mediante regletas agrupados hasta llegar a los paneles de monitoreo donde se encontraban los transductores e indicadores, tres indicadores de presión, un indicador de r.p.m, un indicador de flujo, son los que indicaban las variables en el panel de cada bomba.

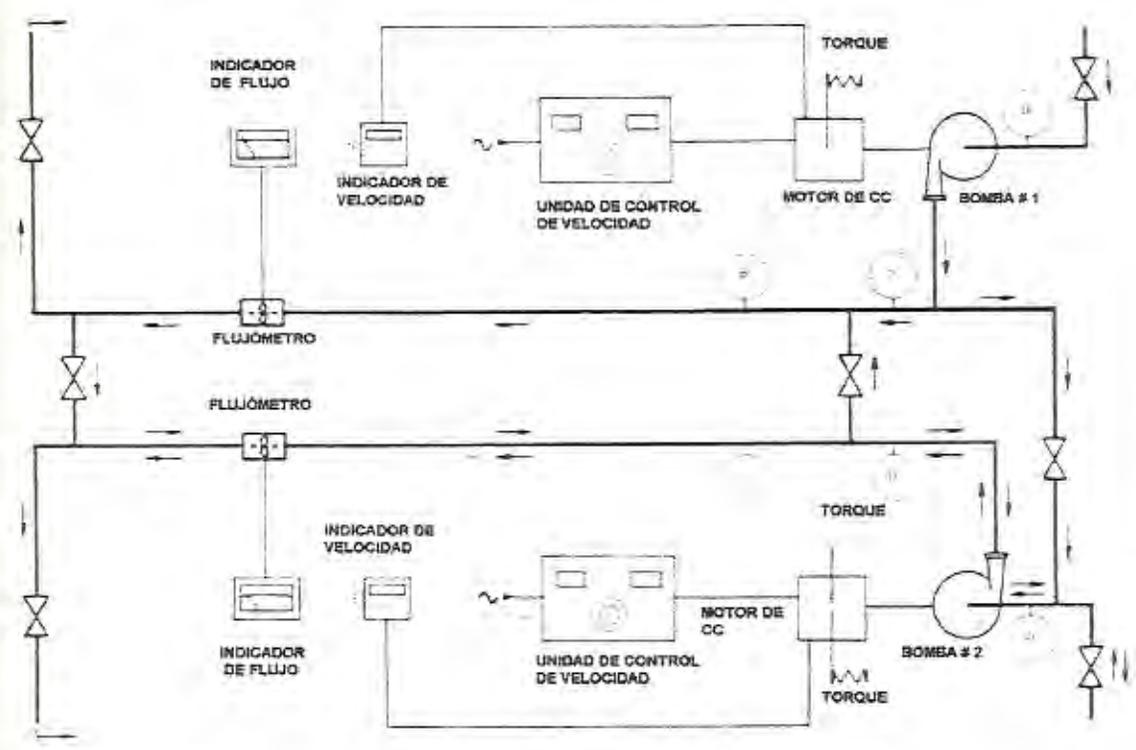


FIGURA 1-3 DIAGRAMA FUNCIONAL DEL BANCO DE BOMBAS

En el presente esquema se observa, no solo la distribución de los sensores en el equipo, sino la ubicación de las válvulas de globo que permiten el funcionamiento en serie, en paralelo, permiten trabajar a la bomba #2 como turbina y además permite cebar las bombas en un determinado momento.

### 1.5. Prácticas realizadas en el banco de bombas

A continuación describo brevemente la forma como se realizaban las prácticas en el banco de bombas.

La primera práctica realizada en este equipo es la Práctica # 4 de la Guía de Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la FIMCP, edición de Junio del 2001, y cuyo título es: *Características externas de bombas centrífugas y cavitación.*

Los objetivos de esta práctica son comprender el manejo y funcionamiento básico de la bomba centrífuga, determinar las características externas de una bomba centrífuga y observar el fenómeno de cavitación.

El procedimiento experimental aconseja cuidado en el enceramiento del dinamómetro y en la adecuada posición de las válvulas antes de poner en funcionamiento las bombas.

Se posiciona la velocidad del motor de la bomba #1 en 2500 r.p.m. y manipulando la válvula de descarga en varias posiciones se toman las lecturas de cabezal con la diferencia de presiones entre la descarga y la succión, se toma la lectura de fuerza en el dinamómetro y la lectura de caudal. Se repiten los mismos pasos en la bomba #2 con una velocidad de 1800 r.p.m.

En esta práctica se realizan las gráficas de cabezal total ( $H_t$ ), potencia mecánica ( $P_m$ ) y eficiencia total ( $\eta$ ) vs. caudal ( $Q$ ) para la bomba #1.

En la práctica #5 de la Guía mencionada tenemos la segunda práctica en este equipo cuyo título es: *Bombas homólogas*. El objetivo de la misma es predecir el funcionamiento de una bomba geométrica y dinámicamente similar (homóloga) a otra de características conocidas, luego comparar los resultados obtenidos experimentalmente con los teóricos.

Para esta práctica la bomba prototipo es la #1 y se incrementa la velocidad hasta 1500 r.p.m. y regulando la válvula, como en la práctica anterior, para cada posición se toman lecturas de caudal, presiones de succión y descarga, y se controla que la velocidad se mantenga constante.

Para la bomba #2 se realizan los mismos pasos pero la velocidad se incrementa hasta 2000 r.p.m. Luego usando los resultados obtenidos para esta bomba (modelo) y mediante los grupos adimensionales se estiman los parámetros  $H_t$ ,  $Q$ ,  $P_m$ , y  $\eta$  para la bomba #1. Por último, se realizan las gráficas de  $H_t$ ,  $P_m$ ,  $\eta$  vs.  $Q$  estimadas y las experimentales.

La última práctica realizada en este equipo es la #6 de la Guía antes mencionada y lleva por título: *Bombas conectadas en serie y paralelo*.

El objetivo de la misma es determinar las características de operación de bombas trabajando en serie y en paralelo y compararlas.

El procedimiento experimental para la operación en serie empieza incrementando la velocidad de la bomba #1 hasta 2500 r.p.m., colocando la válvula en posición de trabajo para conexión en serie; luego incrementamos la velocidad de la bomba #2 hasta 1800 r.p.m., regulamos el caudal mediante la válvula a la descarga de la bomba #2, controlando que la velocidad de los motores de las bombas se mantenga constante. Se toma las lecturas de cabezal entre la succión de la bomba #1 y la descarga de la bomba #2, lecturas de caudal para ocho posiciones de la válvula de descarga.

Para la operación en paralelo, las bombas funcionan en forma simultánea (con sus respectivas válvulas de descarga abiertas), con la válvula en posición de paralelo y se incrementan las velocidades de la bomba #1 y #2 hasta 2500 y 1800 r.p.m. respectivamente.

De esta manera para cada caso en esta práctica se calcula el cabezal total  $H_t$ .

Podemos darnos cuenta de que en cada práctica el estudiante tenía que tomar datos a partir de los paneles de monitoreo que se encuentran en los lados laterales del equipo (uno por cada bomba) y estos están colocados de manera opuesta, la señal de torque era leída en el dinamómetro en cada uno de los motores de las bombas; es decir, en las prácticas originales era necesaria la localización de las lecturas en los distintos lugares donde se hallaban los dinamómetros, tomar de manera manual los datos en los distintos indicadores de los sensores, y continuar trabajando en la misma forma que hace treinta años atrás; continuar trabajando de esta manera, atenta contra las herramientas de gran velocidad y precisión con las que contamos hoy en día como lo son los equipos procesadores de datos y los sensores electrónicos.

Expongo a continuación las ventajas de un sistema de adquisición de datos a través del computador:

- ✓ La rapidez del procesamiento de datos de los programas,
- ✓ La centralización de todas las variables monitoriadas y la observación de la variación que tienen estas a través del tiempo en un monitor de computadora.
- ✓ La gran capacidad de manejo, registro y almacenamiento de los datos, lo cual, redunda en la eficiencia de la utilización del tiempo en cada práctica.
- ✓ La facilidad de interpretación y manejo de las señales electrónicas que provienen del campo de trabajo.
- ✓ El aporte que el Laboratorio ofrece al estudiante en la familiarización de los equipos y dispositivos que son parte del diario trabajo de ingeniería en la industria moderna.

Con panorama del mejoramiento de las prácticas expuesto en este capítulo, describiré a continuación el trabajo realizado para lograr que las señales puedan llegar desde el banco de bombas hasta el computador, para lo cual centralizo mi atención a todos los requerimientos, demandas y construcción de dispositivos que este sistema implica.

## **CAPITULO 2**

### **2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TARJETA DE INTERFASE PARA ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES Y ALIMENTACIÓN DE SENSORES**

De manera general, los sistemas computarizados de instrumentación se clasifican en: sistemas de monitoreo y sistemas de control. En el caso de sistemas de monitoreo, se almacena y/o muestra la magnitud de la variable medida en una computadora. En el caso de los sistemas de control, existe una retroalimentación, la magnitud medida se utiliza para controlar una variable de manera que el valor medido se iguale con el valor deseado.

En la Figura 2-1 se muestra un sistema electrónico básico de medida y control, el cual está formado por los siguientes bloques:

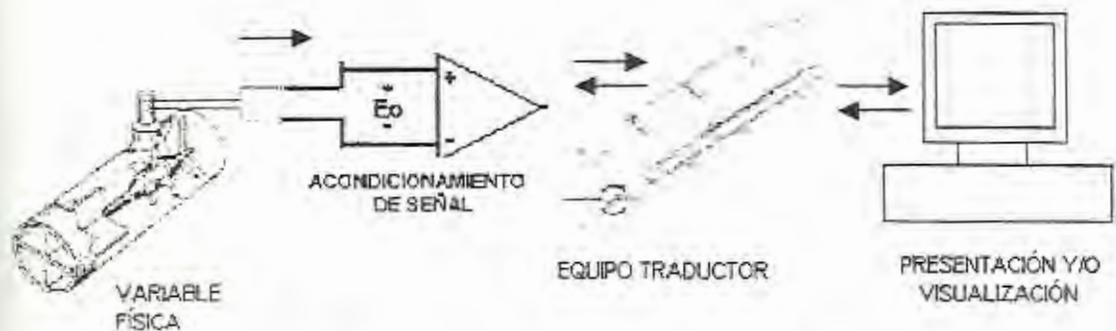


FIGURA 2-1 DIAGRAMA FUNCIONAL DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

En el bloque de detección se sensa la variable física tal como temperatura, presión, fuerza, intensidad luminosa, desplazamiento, etc., por medio del sensor-transductor. El cual es un dispositivo que detecta la variable física y efectúa una transformación ya sea eléctrica, mecánica, química, óptica (radiante), térmica, etc., para convertir la señal a una forma más manejable. En la mayoría de los casos, la variable física se transforma en una señal eléctrica, ya que esta es la forma de señal mas fácilmente medible.

El bloque de acondicionamiento tiene la función de adecuar la señal del sensor-transductor mediante un circuito el cual, dependiendo de la

aplicación específica, puede amplificar, acoplar las impedancias, aislar, filtrar, etc. dicha señal, con el fin de obtenerla adecuadamente para el medio de presentación.

Una vez que se logra una señal con el nivel y las características adecuadas, puede ser enviada a una computadora personal para su observación, procesamiento, registro y análisis de datos e información. Pero antes de ser enviada la señal analógica a la computadora tiene que pasar por una etapa de conversión de analógica a digital.

La fuente de alimentación proporciona la energía eléctrica adecuada a todos los componentes del sistema que así lo requieran.

Existe una inmensa variedad de transductores y con diversas características para poder seleccionarlos y aplicarlos en el área de instrumentación industrial. Los transductores se pueden clasificar de acuerdo a su principio de operación, aplicación, método de conversión de energía, tipo de señal de entrada o de salida, etc.

En este capítulo realizo un análisis de los requerimientos, los tipos de sensores, sus señales y el correspondiente diseño del circuito

corrector para la lectura del equipo traductor, se detalla la instalación de cada sensor y los elementos necesarios la misma.

En la sección 2.1 se hablará de los requerimientos para el correcto funcionamiento de este tipo de adquisición de datos y los mismos que delimitarán las características y alcance de los circuitos acondicionadores de señales. Entre estos requerimientos están el equipo modular Field Point, los tipos de comunicación digital, la fuente de la alimentación de energía de los sensores. Mientras que desde la sección 2.2 hasta la sección 2.5 se habla cada sensor utilizado en este sistema.

En la sección 2.7 describo la integración a una sola tarjeta cada circuito corrector de señales de los distintos sensores para formar la TARJETA PRE-INTERFASE de este sistema de adquisición de datos, la cual está colocada en una caja de conexiones de datos, la misma que he llamado CAJA PRE-INTERFASE, por ser el nexo entre las señales de campo y el equipo traductor de señales.

Las variables que necesitamos medir son: presión, caudal, RPM y fuerza y observar sus variaciones en el monitor de un computador. Para que esto sea posible, el equipo "traductor de señales" que será la interfase entre las señales corregidas de campo y el CPU del computador, es el sistema modular Field Point.

## 2.1. Análisis de los requerimientos del sistema

Comenzare describiendo brevemente los Módulos Field Point, sus requerimientos de alimentación de energía y sus condiciones para entrada y salida de señales.

### 2.1.1. Módulos de adquisición de datos

Field Point ( Punto de campo) es un sistema distribuido modular de E/S que incluye una variedad de módulos analógicos y digitales, los cuales son unidades que receptan señales electrónicas sean de voltaje o corriente, las cuales, traduce al lenguaje binario y comunica al computador por medio del protocolo de comunicación RS-232. Estas señales entonces pueden ser monitoreadas desde el software Fiel Point Explorer y a su vez desde el mismo software configurar los rangos de amplitud y tipos de señales que recepta cada módulo (1).

---

(1) Daniel Ramirez Campuzano, "Desarrollo de un Programa de Adquisición de Datos para el banco de bombas del Laboratorio de Termofluidos de la FIMCP" ( Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral)

El equipo Field Point incluye tres clases de componentes que lo hacen adaptable a cualquier aplicación:

2. Módulos E/S
3. Bases terminales
4. Módulo de red

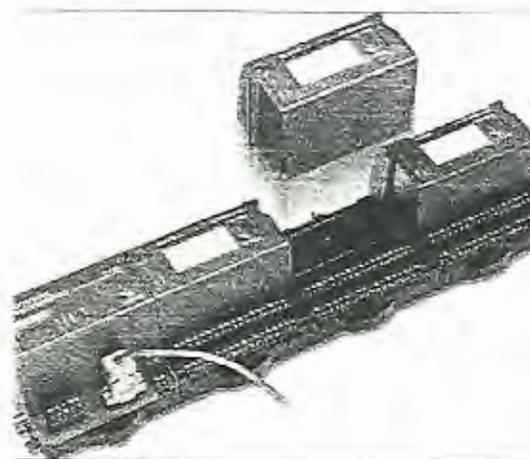


FIG. 2-1 BANCO DE MÓDULOS FIELD POINT

Los módulos de E/S específicos que utiliza nuestra aplicación son el contador CTR-500 para señales discretas o de pulsos, el FP-AI-110 para las señales analógicas de voltaje de los sensores y el FP-AI-111 para

las señales analógicas de corriente las especificaciones de los mismos, se describen en Apéndice H .

Las bases de terminal universal aceptan cualquier módulo de E/S de Field Point y proporcionan borneras en número máximo de 32 para la conexión de cables de señales de campo. Estas bases se insertan en un conector estándar tipo DIN o se pueden montar en un panel.



FIG. 2-2 BASE TERMINAL DE LOS MÓDULOS

El módulo de red es el FP-1000 y se comunica con los módulos locales de Entradas /Salidas (E/S) por medio del bus local formado por las bases de terminales conectadas. Actualmente, se pueden tener hasta 9 módulos en un banco y hasta 25 bancos en una red de

Field Points. Las opciones actuales para módulos de red incluyen protocolos de comunicación RS-232 y RS-485, Ethernet, y Fieldbus.

El FP-1000 proporciona una conexión a una red RS-232 usando un sencillo protocolo ASCII, más adelante se explica acerca de este protocolo de comunicación. Tiene también un repetidor aislado RS-485 incorporado para transparentemente añadir hasta 24 módulos de red FP-1001 al mismo puerto serial de la computadora.



FIG. 2-3 MÓDULO FP-1000

### 2.1.2. Fuente de poder

Para la alimentación del módulo de red FP-1000 se requiere una fuente de alimentación de 11-30 VDC para cada conjunto de Field Points.

El FP-1000 filtra y regula esta alimentación suministrada y provee energía para todos los módulos de Entrada / salida (I/O) del conjunto. Por lo tanto no es necesario proveer alimentación separadamente para cada módulo del conjunto. Si el dispositivo Entrada / salida de campo necesita ser alimentado separadamente, se pueden usar terminales suministradas en cada base de terminales para aquellas conexiones de suministro de poder. El conector de alimentación es un terminal conector de 4 pines tipo tornillo. Estos pines se muestran en la Figura siguiente

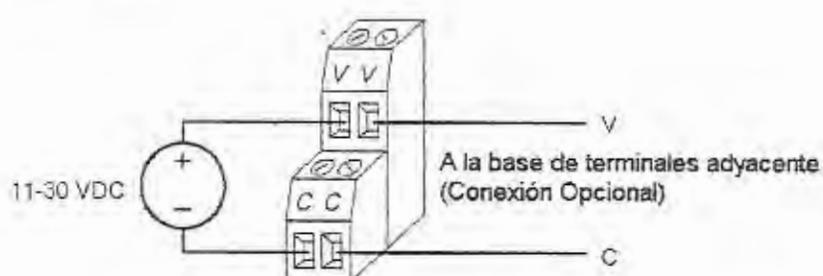


FIG. 2-4 CONECTOR DE ALIMENTACIÓN

Los dos terminales etiquetados V están internamente conectados al modulo de red, así como lo están los dos terminales etiquetados C. Para la operación del sistema Field Point la energía debe ser aplicada a un par V y C.

Los sensores también necesitan ser alimentados con voltaje de corriente continua así como los circuitos para el acondicionamiento de señales, debido a esto, contamos con otra fuente de corriente continua independiente cuyas opciones de voltaje son +12, -12, +5, -5, VDC y la respectiva señal de tierra. Esta fuente es utilizada comercialmente en la computadoras personales.

### 2.1.3. Protocolos de comunicación

Las opciones actuales para módulos de red incluyen protocolos de comunicación RS-232 y RS-485, Ethernet, y Fieldbus.

En la presente aplicación se utilizó el protocolo de comunicación RS-232, el cual, es un conector normalmente utilizado en mini computadoras, impresoras, módems y equipos de adquisición de datos.

Este protocolo fue originalmente especificado para comunicaciones de datos entre un dispositivo controlador y un dispositivo receptor con distancias de hasta 15 metros (50 pies) y con velocidades de hasta 19,200 bits / seg; en la actualidad el RS-232 es frecuentemente usado a velocidades de 115-230 Kbits / seg. El RS-232 está siendo también operado a distancias mayores de 25 metros. La habilidad para alcanzar esos parámetros de operación depende del ambiente y la calidad del cableado usado. De manera general, un sistema no puede proveer al mismo tiempo velocidades y distancias máximas.

El conector RS-232 tradicional fue un diseño con 25 pines. Sin embargo, algunos productos seriales ahora incluyen puertos seriales de 9 pines con (o en lugar de) la versión de 25 pines. Ambos tipos de puertos contienen las mismas 9 líneas de señales, aunque el número de los pines para especificar señales es diferente. Una conexión RS-232 completa incluye: transmisión, recepción, señal de tierra y algunas líneas para el control de transmisión y prevención de desbordamientos de datos.

Ahora que conocemos todos los parámetros necesarios para la instalación de un sistema de adquisición de datos utilizando el equipo modular Field Point, el siguiente paso es conocer el funcionamiento, requerimientos, demandas de energía y los tipos de señales de los sensores para las distintas variables en el banco de bombas.

## 2.2. Medición de Caudal:

### 2.2.1. Fluómetros de turbina

Los Fluómetros de turbina consisten en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal.

La velocidad del fluido ejerce una fuerza de arrastre al rotor; la diferencia de presiones debida al cambio de área entre el rotor y el cono posterior ejerce una fuerza igual y opuesta. De este modo el rotor está equilibrado hidrodinámicamente y gira entre los conos anterior y posterior sin necesidad de rodamientos axiales evitando así un rozamiento que necesariamente se produciría.

La velocidad del flujo puede ser medida simplemente y con buena exactitud por el conteo de pulsos que produce

la perturbación de cada alabe de la turbina al campo magnético que genera un proximitor que capta la perturbación y genera señales de voltaje que pueden ser observadas en un osciloscopio. De esta manera, el gasto volumétrico es proporcional al número de revoluciones del rotor y el total de pulsos puede considerarse como una indicación del gasto total. La frecuencia de los pulsos es proporcional a la velocidad del fluido.

El flujómetro de turbina utilizado es el mismo que originalmente se utilizó en el equipo desde sus inicios. Es de la casa A.O.T. y luce como muestra la figura:

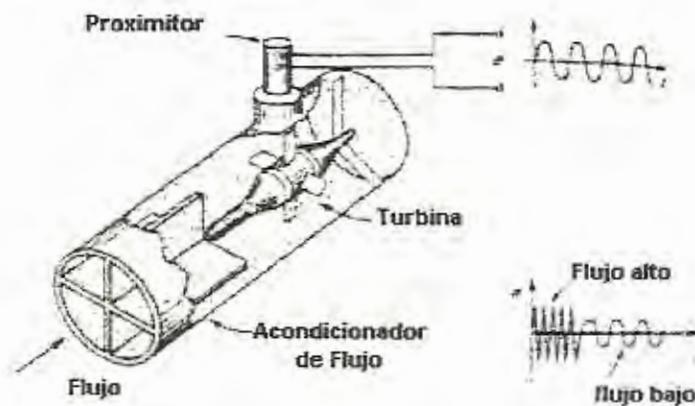


FIGURA 2-2 ESQUEMA DE FLUJÓMETRO



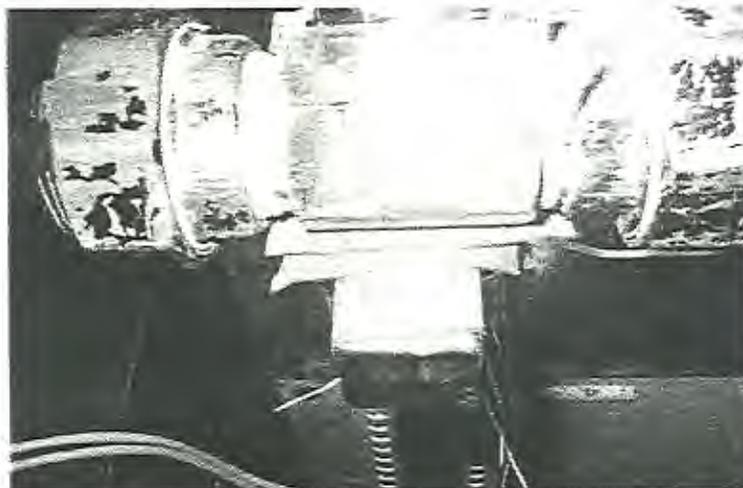


FIGURA 2-3 FLUJÓMETRO A.O.T.

#### **2.2.1.1. Diseño y construcción de tarjeta acondicionadora de señal**

De acuerdo a lo explicado en el análisis de los requerimientos del sistema es claro que la señal que ingresará a los módulos de adquisición de datos debe guardar ciertas características dependiendo de los requerimientos de cada módulo. De la misma manera varios de los sensores deben ser alimentados con un voltaje de corriente directa para su funcionamiento.

Esto puede conseguirse a través de una tarjeta electrónica que contenga los respectivos circuitos para

suplir los requerimientos de cada sensor y de cada módulo a utilizarse.

La señal que genera directamente el flujómetro es una señal tipo diente de sierra como se muestra en la Fig. 2-4 con una amplitud de 0.8 V y una frecuencia de 22.2 Hz donde la escala en el eje X del osciloscopio está configurado como 10 mseg. / div mientras que el eje Y tiene 0.2 V / div y el motor de la bomba gira a una velocidad de 2300 r.p.m.

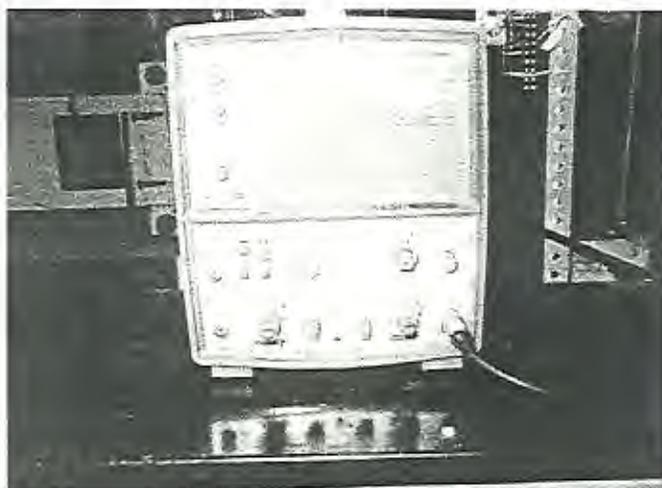


FIGURA 2-4SEÑAL DIRECTA DEL SENSOR  
ELECTROMÁGNÉTICO

Esta señal deberá ser captada por el módulo contador CTR-500, pero de acuerdo a los requerimientos, su señal debe tener una amplitud mínima de 8V, y de preferencia

debe ser una señal cuadrada o de pulsos para una mayor confiabilidad en el conteo, por lo cual, necesitamos amplificar y corregir esta señal manteniendo su frecuencia; esta es la misión de los circuitos de amplificación y de comparación que describo a continuación.

El circuito amplificador no elevará hasta 8V la señal ya que si lo hace la señal continuará siendo diente de sierra y nosotros necesitamos una señal cuadrada de pulsos para un eficiente conteo de pulsos, de manera que la señal se amplificará lo suficiente para que un circuito comparador pueda reconocer las variaciones de signo de la señal del flujómetro y pueda entregar pulsos de +11 y -11 VDC los cuales están sobre el valor mínimo requerido por el FP-CTR-500 que es 8 VDC

#### 2.2.1.1.1. Circuito de amplificación

Este diseño principia con la necesidad de tener un mínimo de 8 V en la amplitud de la señal que entra al módulo FP-CTR-500, para lo cual utilicé un circuito integrado LM 741, el cual es un amplificador operacional (OPAMP), cuyos

detalles se encuentran en el apéndice A, estableciendo con el mismo un *circuito básico amplificador no inversor*:

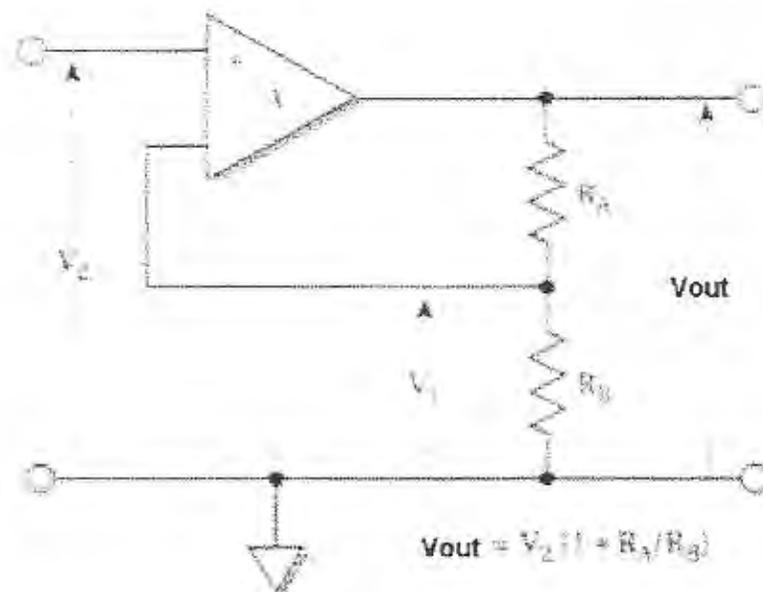


FIGURA 2-5 ESQUEMA GENERAL DE CIRCUITO AMPLIFICADOR

En el cual la ganancia viene dada por la fórmula:

$$A = (R_1 + R_2) / R_1 \quad \text{Ec.1}$$

El cálculo de las resistencias, se realizó basándonos en una ganancia de 5,5 ya que lo sugerible es amplificar con ganancias entre 1 y 10 por razones contempladas en el apéndice A; así pues, que en un primer momento, tomamos como

fija una resistencia comercial de 10 k $\Omega$  para R<sub>2</sub> y calculamos a partir de la fórmula (1) la resistencia R<sub>1</sub>, cuyo resultado es 2,2 k $\Omega$  que si podemos encontrar en el mercado.

$$R_1 = R_2 / (A - 1)$$

$$R_1 = 10 / (5,5 - 1) = 2,2 \text{ k}\Omega$$

El valor de R<sub>3</sub> es sugerible por los posibles aumentos en la amplitud de la señal de entrada, en nuestro caso es poca la utilidad pero no puede descartarse ya que aún en pequeñas amplitudes actúa como protector, el valor de 1 k $\Omega$  se justifica por ser un estándar en este circuito básico. También es necesaria esta resistencia debido a la señal offset (de compensación) del OPAMP, la cual es proporcional a la corriente de entrada, por lo tanto debemos limitar la corriente que entra al mismo.

Cuando probamos este circuito con las señales de los flujómetros observamos que cuando la señal de flujómetro era de frecuencia cero, esto implicaba que a la salida del circuito debería ser

cero; pero existía una señal de voltaje diferente de cero aunque sin frecuencia, de manera que teníamos que restringir más corriente a la entrada para mejorar el offset del OPAMP, así que adicione una resistencia de  $1K\Omega$  a la entrada cuyo retorno es la tierra para de esta manera limitar la corriente, pero esto implicaba la disminución a la mitad de la amplitud de manera que para mantener la amplitud de la salida del circuito tuve que aumentar la ganancia del mismo a de 5 a 11 reemplazando la resistencia de  $2,2K\Omega$  por una de  $1K\Omega$  y de esta manera mejoramos el offset de los circuitos integrados y mantenemos la ganancia total desde la salida del flujómetro hasta la salida del circuito de amplificación, la cual continúa siendo  $5,5 V_2$  donde es el voltaje de entrada al circuito amplificador.

De manera que el diagrama general de nuestro circuito amplificador no inversor es el siguiente:

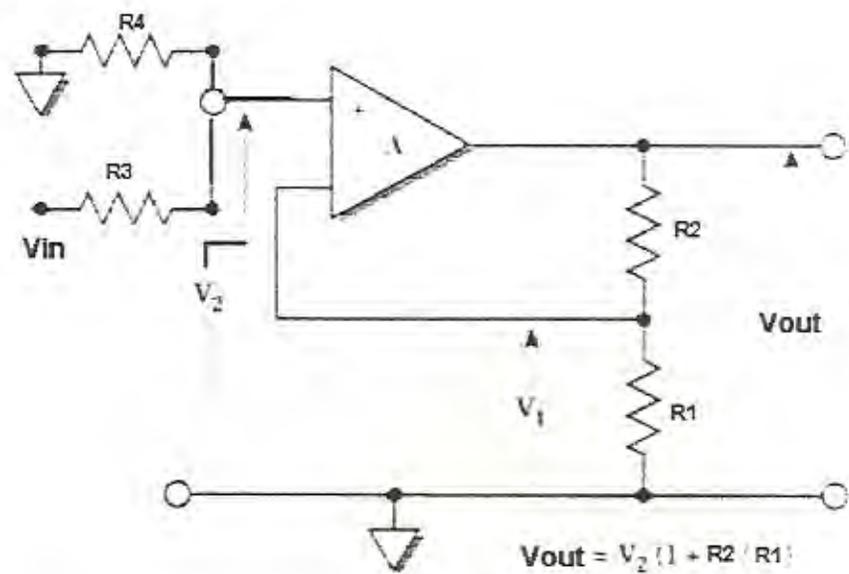


FIG. 2-5 ESQUEMA GENERAL CORREGIDO DE  
CIRCUITO AMPLIFICADOR

El mismo queda completo con los valores siguientes:

$R_1 = 1 \text{ K}\Omega$ ,  $R_2 = 10 \text{ K}\Omega$ ,  $R_3 = 1 \text{ K}\Omega$  y  $R_4 = 1 \text{ K}\Omega$ .

Podemos observar en el osciloscopio la diferencia en la amplitud a la salida de este circuito donde la señal sigue siendo tipo diente de sierra como se muestra, con una amplitud de 10 mV y la misma frecuencia de 22.2 Hz donde la escala en el eje X del osciloscopio está configurado como 10 m seg. / div mientras que el eje Y tiene 5 V / div y el motor de la bomba gira a una velocidad de 2300 r.p.m.

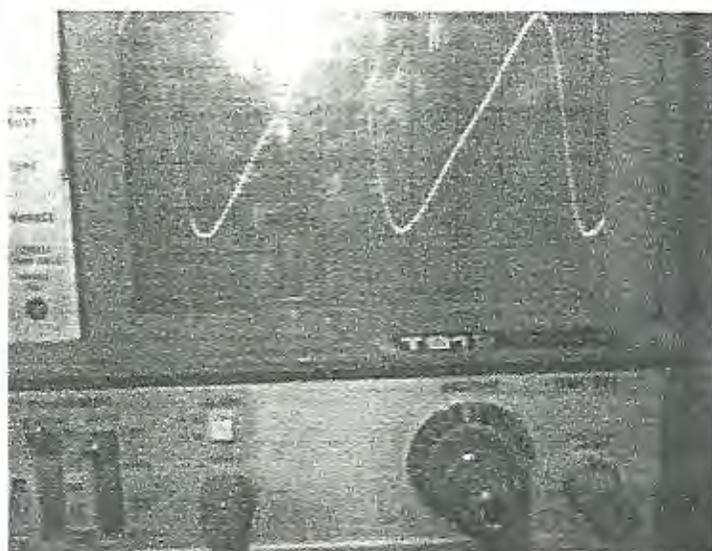


FIGURA 2-6 SEÑAL A LA SALIDA DEL AMPLIFICADOR

#### 2.2.1.1.2. Conversión de señal diente de sierra a señal cuadrada

La necesidad de obtener una señal de pulsos a con una frecuencia proporcional a la de las interrupciones de los álabes de la turbina al campo magnético del proximitor en el flujómetro, justificó la conversión de señal dientes de sierra a señal cuadrada, la misma que fue posible con un *circuito básico comparador*.

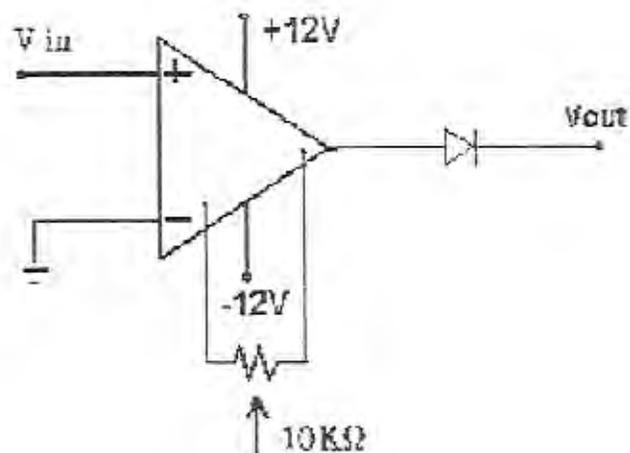


FIGURA 2-7 CIRCUITO BÁSICO COMPARADOR:

Este circuito está trabajando como un *detector no invertible de cruce por cero*, ya que la referencia en el pin negativo es cero voltios; de manera que la entrada de la señal  $V_{in}$  es comparada con la referencia de voltaje 0V. Cuando  $V_{in}$  está sobre el valor de referencia la salida  $V_{out}$  es igual a  $+V_{cc}$  o voltaje de saturación; mientras que cuando el voltaje está bajo el valor de referencia la salida es igual a  $-V_{cc}$ .

El opamp ideal funcionaría sin más implementos electrónicos, pero en la práctica, debido a la

alimentación de  $+V_{cc}$  y  $-V_{cc}$  la salida del opamp no es totalmente cero cuando la entrada  $V_{in}$  es cero; es por esto que es necesaria una resistencia variable entre 0-10  $K\Omega$  conectados a los pines de compensación nula (offset null), con su tercera conexión en el pin de alimentación negativa del amplificador operacional, con el objetivo de regular y compensar el voltaje por razones explicadas en el apéndice A.

Los opamps utilizados son polarizados o alimentados con un  $+V_{cc} = +12$  VDC y un  $-V_{cc} = -12$  VDC de la fuente de poder mencionada anteriormente.

La presencia del diodo 1N 4148, que trabaja a un amperio máximo para flujo de corriente, se debe al objetivo de tener la señal solo con pulsos positivos que por razones de caídas de voltaje no son realmente +12 VDC sino +11 VDC, así la señal obtenida se presentará como una señal de pulsos entre 0 y +11VDC. A continuación se observa la señal de los electromagnéticos a la salida del circuito comparador:

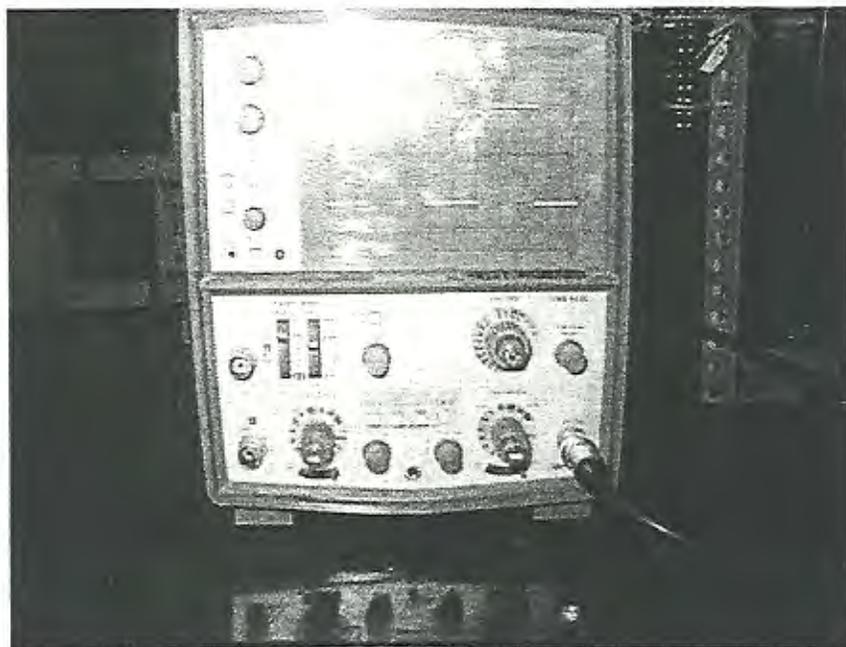


FIGURA 2-8 SEÑAL A LA SALIDA DEL CIRCUITO  
COMPARADOR, ANTES DEL DIODO

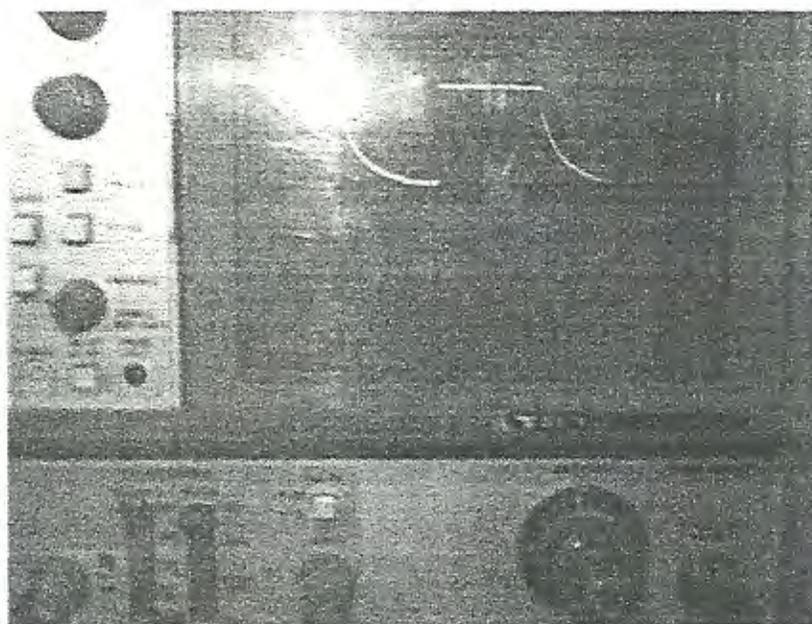


FIGURA 2-9 SEÑAL A LA SALIDA DEL CIRCUITO  
COMPARADOR, LUEGO DEL DIODO

En las figuras anteriores la configuración de los ejes de la pantalla del osciloscopio sigue siendo de 10 mseg. / div para el eje horizontal y 5 V / div. para el eje vertical. Como se observa la amplitud de 10 V donde la frecuencia no ha variado de 22.2 Hz. Se observa también que debido a la función del diodo, la parte negativa de la señal que sale del circuito comparador es eliminada.

#### **2.2.1.2. Ubicación: Cableado e instalación**

El cableado lo explicaré desde la instalación del sensor hasta su llegada a una bornera, llamada "Secundaria", ubicada en el soporte central de la tubería superior.

La ubicación de los sensores electromagnéticos no ha variado, la señal de los mismos llega hasta una bornera cuyas características son: 12 bornes de 5 Amp. máximo para flujo de corriente, de dimensiones 90x14 mm suficiente para las señales en miliamperios que viajarán por la misma.

El objetivo de esta bornera es establecer la conexión entre las líneas que vienen directamente desde los

sensores y las líneas que llegan hasta el equipo corrector de señales.

El tipo de cable utilizado es un cable apantallado de conductores no rígidos de dos líneas ya que solo necesitamos la línea para la señal y su retorno. Los detalles del mismo pueden ser observados en el apéndice B. La selección de este tipo de cable tiene su base en (la temperatura, humedad, cercanía de otras máquinas etc.)

De esta manera queda ensamblada la conexión y luce como se muestra en la figura:

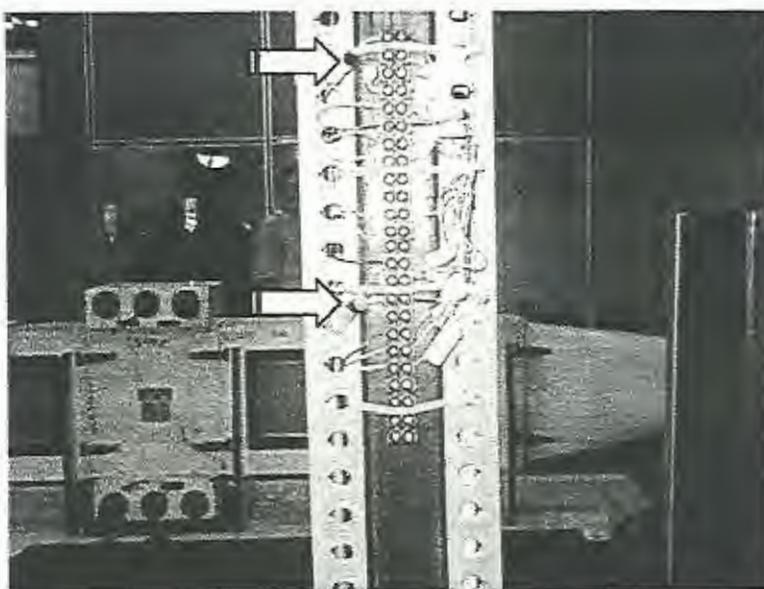


FIGURA 2-10 BORNERA C: CONEXIÓN DE ELECTROMAGNÉTICO

### 2.2.2. Medición indirecta a través de nivel (Método de canal abierto)

La medición del flujo se la realiza también utilizando el método del vertedero o vertedor, en este caso, con un ángulo en la V de  $55^\circ$ . En este dispositivo la profundidad del flujo se correlaciona con la relación de flujo utilizando una fórmula que relaciona la altura del nivel del líquido con el caudal:

$$Q = C_d \cdot \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{g} (y_1 - y_0)^{5/2}$$

El coeficiente de descarga  $C_d$  tiene un valor que experimentalmente ha dado buenos resultados para vertederos en V el cual es  $C_d = 0.44$ ; considerando el valor de la gravedad  $g = 9.8 \text{ m} / \text{s}^2$ , la identificación y valores de las demás variables son:

$$\theta = 55^\circ$$

$y_1$  = altura del nivel

$y_0$  = 49 cm (altura desde el fondo hasta vértice de V)



De esta manera, la fórmula utilizada en el programa es:

$$Q = 1,967 \times (y_1 - y_0)^{5/2} \quad \text{Ec. 2}$$

La variable que se monitorea para el cálculo del caudal es la altura del nivel del líquido  $y_1$  para lo cual utilizamos un sensor de baja presión, el cual permite a través del monitoreo de la presión hidrostática la determinación del valor de  $y_1$ ; de manera que podemos obtener la curva de calibración h vs. mA y a la vez establecer el caudal en el circuito a través del cálculo con la Ec. 2 en el software.

Detalles sobre las características del sensor KPSI en el apéndice C

#### 2.2.2.1. Sensores de baja presión

El nivel del tanque lo obtenemos con la ayuda del sensor de presión sumergible KPSI que se muestra a continuación, cuyos principios físicos se basan en un puente Wheastone formado por galgas extensométricas distribuidas en una membrana que está en contacto con el fondo del agua, donde la presión ejercida por el agua estira o comprime los hilos de resistencia, modificando

el valor de la impedancia total del puente de manera proporcional a la presión.

Cuando el puente Wheastone está sin tensión, tiene una resistencia eléctrica determinada. Cuando se aplica al circuito una tensión nominal, que es el voltaje de alimentación VDC, la pequeña corriente, previamente acondicionada mediante un sistema interno, circula por la resistencia creando una caída de tensión en la misma y el puente se equilibra para estas condiciones; este sistema interno es de protección ante posibles variaciones que pueda tener la señal de alimentación. En este momento la señal de salida del sensor de presión es de aproximadamente 4 mA, que corresponde a una presión inicial  $P_0$ .

Cualquier variación de presión que mueva el diafragma del transductor cambia la resistencia de la galga y desequilibra el puente produciendo valores entre 4-20 mA proporcionales a la presión sobre el sensor.

Debido a la sensibilidad de los estos sensores, cualquier variación producida por las corrientes del fluido, aunque pequeña, afectará la señal de salida sin haber necesariamente variación significativa en el nivel.

Este inconveniente es controlado por un amortiguador de señales que viene junto con el sensor.

Debido a su constitución cilíndrica el centroide de su sección transversal está separada del fondo 0.5" los cuales fueron considerados en la calibración del mismo.

#### 2.2.2.2. Diseño y construcción del circuito de alimentación

En vista de los requerimientos del fabricante, (Apéndice C), los transductores requieren un voltaje de alimentación de 10 VDC, los cuales, previamente tratados, permiten el funcionamiento del puente de Wheastone en el sensor y producen una señal en mA proporcional a la presión, la cual es a su vez proporcional al nivel del líquido en el tanque:

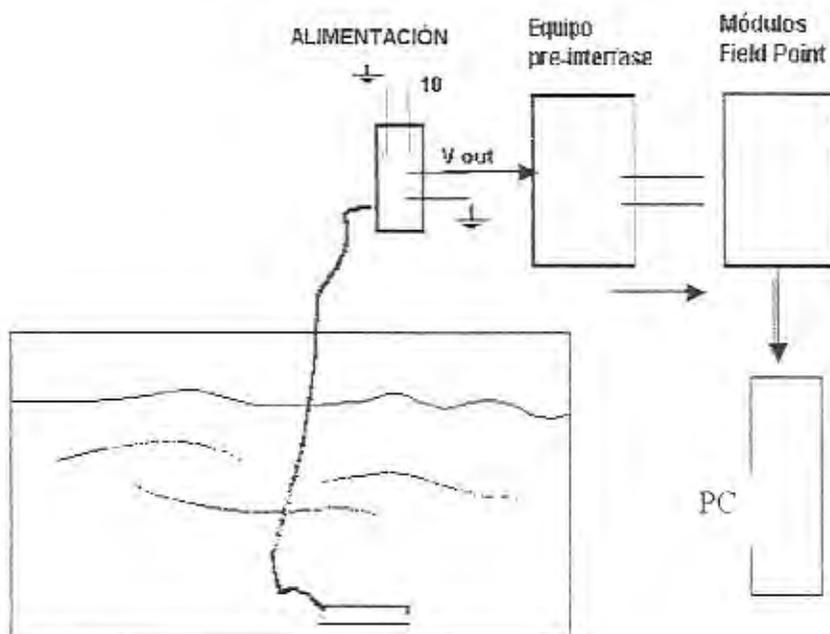


FIGURA 2-11 ESQUEMA DE DE INSTALACIÓN

Para lograr esto tenemos que regular un voltaje de nuestra fuente que nos proporciona +12 VDC hasta llegar a +10 VDC, lo que conseguimos con la aplicación de un circuito NTE 1968: Regulador de Voltaje de tres terminales 10V, 1A ; el cual se encuentra en el apéndice A

### 2.2.2.3. Ubicación: Cableado e instalación

El cableado es directo hacia la bornera secundaria descrita anteriormente en el soporte central de la tubería

y el sensor está colocado en el fondo del tanque, en una posición para la cual la turbulencia del fluido en el lugar cercano a la descarga de la bomba o los fenómenos del comportamiento del fluido en el lugar cercano a la desembocadura en la V, no perturben la correcta señal de presión hidrostática en el sensor de baja presión debido a su sensibilidad. De manera que, como indica la figura, el sensor está colocado a 0.31 m de la pared que contiene la V del vertedero en una posición intermedia entre los dos fenómenos.

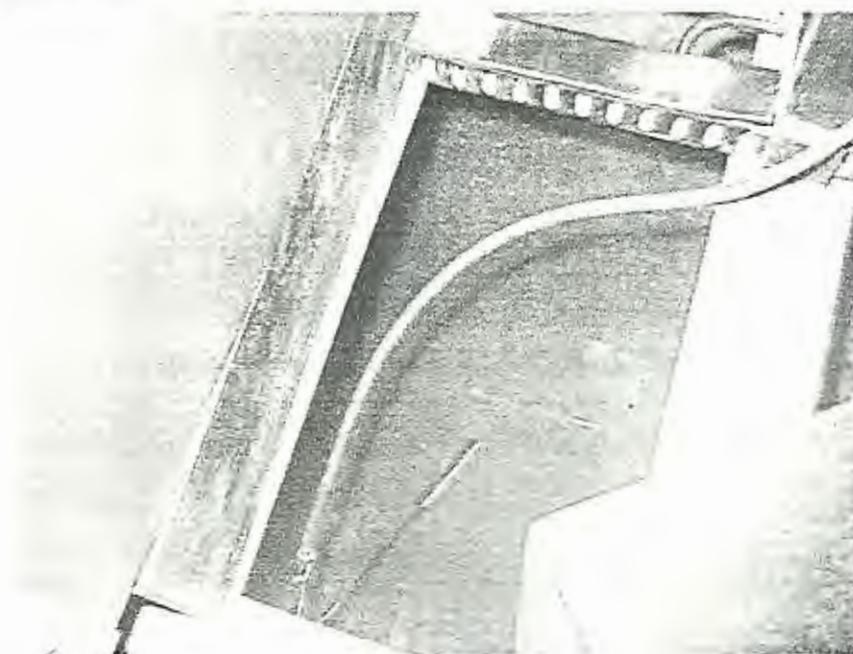


FIGURA 2-12 SENSOR DE NIVEL

### 2.3. Medición de torque

Originalmente la medición del torque en el eje del motor de la bomba se lo media a través de la lectura de un dinamómetro colocado a una distancia (de brazo) de 0.165 m, de esta manera y siguiendo el procedimiento del manual de practicas se obtenían las lecturas correspondientes de la fuerza y al multiplicarlas por el brazo obteníamos el torque.

Actualmente el dinamómetro tiene adaptada una celda de carga, la cual genera señales en mV proporcionales a la fuerza ejercida sobre el mismo por el movimiento de la bomba.

#### 2.3.1. Celdas de carga

Una celda de carga es sensor de fuerza que consta de puente de Wheastone, el cual se describió anteriormente, sobre una base circular (wheel-shaped spring) metálica sobre la cual se ejerce la fuerza sea en tensión o en compresión. A este puente de Wheastone se lo alimenta con una señal de voltaje de corriente directa, y la señal de salida será una señal en mV que variará de acuerdo a la fuerza aplicada en un rango normalizado entre  $-10$  y  $10$  mV.

Las celdas de carga cuyo proveedor es la casa ENTRAN, está clasificada como EFLM T2M del tipo de subminiatura, fabricada en acero inoxidable con un diámetro de 9.5 mm. El puente de Wheastone es alimentado con 5 VDC y la señal analógica de salida está en el rango de -10 VDC a +10 VDC, el rango de los valores de fuerza es de hasta 50 N.

Esta celda de carga incluye en sus cables de conexión una instalación de resistencias especiales llamada módulo, para la compensación y ajuste de la señal de salida por influencia de la temperatura, balance inicial del puente de Wheastone, cero inicial en cada encendido, etc. Mas detalles se observan en el apéndice C.

El siguiente esquema muestra el funcionamiento de la celda de carga y algunos detalles de su estructura:



FIGURA 2-13 CELDA DE CARGA

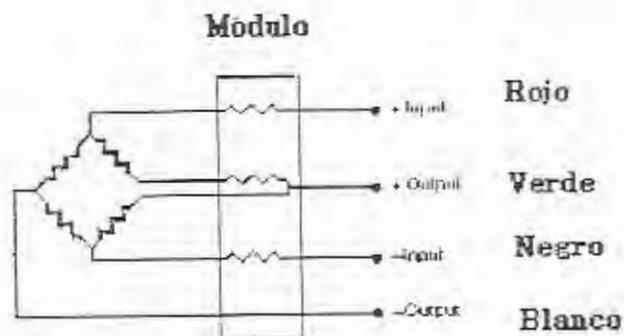


FIGURA 2-14 ESQUEMA DE CELDA DE CARGA

### 2.3.2. Diseño y construcción del circuito de alimentación

Al igual que el circuito de alimentación del sensor de baja presión solo hay que lograr que un voltaje DC llegue hasta el puente Wheastone en la celda de carga y como esta señal llega directamente al puente, es necesario que esta señal de voltaje sea estable ya que de ella depende la señal de salida de la celda de carga. El valor del voltaje de alimentación es +5 VDC, el mismo que es aplicado en las líneas de color rojo y negro de la figura 2-

### 2.3.3. Diseño de piezas y elementos para instalación.

Originalmente el dinamómetro constaba de una base de sujeción del resorte la cual mediante una rosca interna de 3 mm estaba sujeta a un perno en la parte superior del dinamómetro y fijaba la parte estática del resorte.

Es precisamente entre estas dos piezas (base del resorte y perno de fijación) donde fue colocada la celda de carga, para aprovechar la disponibilidad de su posición, de esta manera fue necesario la adición de:

1. Dos bases roscadas de aluminio
2. Un perno de medidas  $\text{Ø}3 \times 20$  mm

Las bases fueron maquinadas en aluminio por la facilidad que presenta este material para perforaciones con dimensiones pequeñas y la forma cilíndrica es ideal para el adecuado funcionamiento en el interior del dinamómetro.

En la figura siguiente se puede observar la distribución de estas piezas:



FIGURA 2-15 DINAMÓMETRO, CELDA Y PIEZAS DE  
INSTALACIÓN

De esta manera aprovechamos la tensión en el resorte del dinamómetro para hacer trabajar a la celda de carga, para la cual realizamos la curva de calibración fuerza vs. mV, la misma que se detallará más adelante y que nos sirve para obtener la lectura de torque al multiplicar el valor de fuerza con el del brazo y de esta manera, tenemos la ventaja de utilizar los dinamómetros en su forma tradicional también ya que el indicador original de

la fuerza sigue ubicado y trabajando en su sitio original, con la única variación en su cero.

#### 2.3.4. Ubicación: cableado e instalación

Como explicamos anteriormente las conexiones de alimentación y salida de señal, se las realizó de la siguiente manera: la línea color roja es para el voltaje de alimentación del puente de Wheastone +5 VDC, la línea color negro es la tierra (retorno), la línea de color verde es el positivo de la señal y la blanca es su retorno.

El cable utilizado es el que viene incluido con el sensor, al cual se lo protegió con envoltura de PVC y malla de cobre estañado para protección electromagnética, siguiendo los lineamientos de las características de cables para conexiones electrónicas.

Este cable tiene una longitud de 1.5 m y llega solo hasta la bornera llamada "Principal" situada a un lado de cada bomba; a partir de esta bornera otro cable multipar apantallado lleva las señales hasta la bornera secundaria que comunica los cables de señal y de alimentación de las celdas de carga con el equipo pre-interfase tal como lo muestra la siguiente figura:

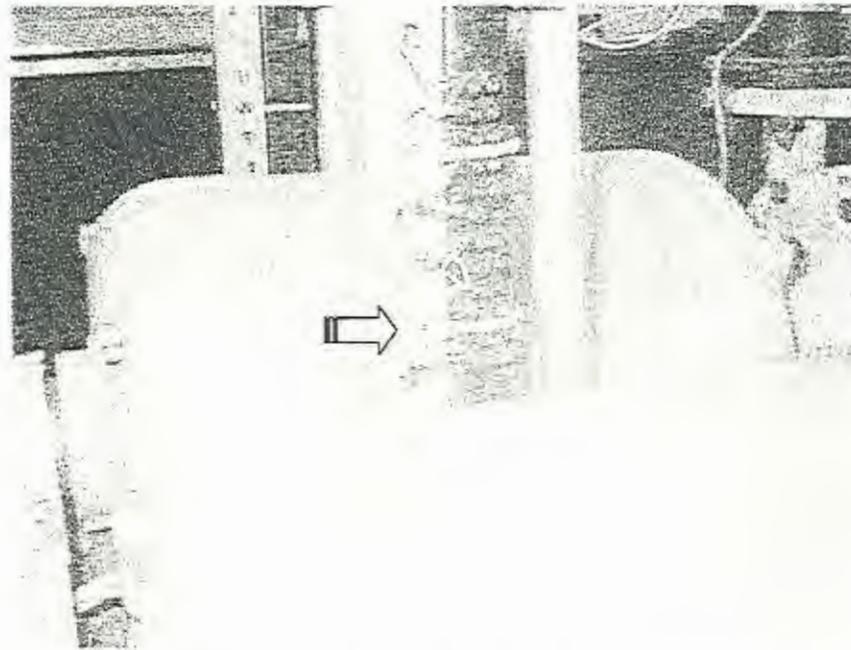


FIGURA 2-16 CONEXIÓN DE CELDA DE CARGA

#### 2.4. Medición de RPM

Se realizó un cambio en los sensores utilizados para medir esta variable, ahora son sensores optoacopladores también llamados acopladores o aisladores ópticos, los cuales son capaces de generar señales en forma de pulsos proporcionales a los rpm del motor de la bomba.



FIGURA 2-17 INSTALACIÓN DE OPTOACOPLADOR

#### 2.4.1. Sensores optoacopladores

Un acoplador óptico es una combinación *diódo LED-fototransistor*, esta combinación de tecnología optoelectrónica tiene muchas aplicaciones industriales, entre las cuales están: interfase entre circuitos que operan a diferentes niveles de voltaje, convertidor de señales, interruptores de fin de carrera etc.

La aplicación nuestra es un sensor que se vale de la interfase entre dos circuitos que operan a diferentes voltajes para generar una señal de pulsos. Esta interfase

se encuentra entre un diodo emisor de luz cuyo voltaje de arranque es  $V_s$  y un fototransistor receptor cuyo voltaje de alimentación es de  $V_{cc}$ .

El diodo emisor de luz generalmente denominado LED, es un semiconductor que emite luz cuando por él circula una corriente en polarización directa. Algunos LEDs no siempre emiten luz visible, sino que emiten luz infrarroja invisible al ojo humano, esta es la práctica estándar que se sigue para la construcción de acopladores ópticos comerciales y es el tipo de acoplador óptico que utilicé.

Un fototransistor es un transistor que responde a la intensidad de luz en su lente, en lugar de a una corriente de base. La alimentación positiva  $V_{cc}$  es en el pin colector y el retorno en el pin emisor. Actúa como un interruptor normalmente abierto que se acciona mediante una corriente inducida  $I_{co}$  por la luz infrarroja de un diodo emisor.

El optoacoplador utilizado es el NTE3081:

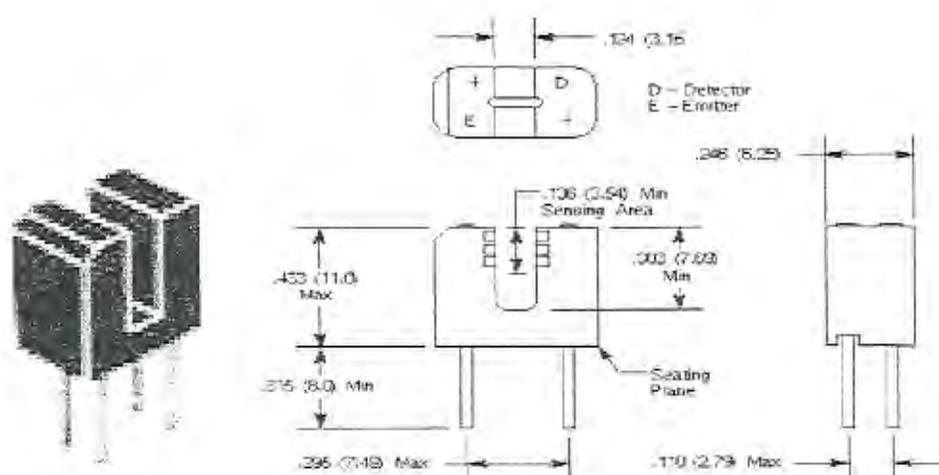


FIGURA 2-18 GEOMETRÍA DE OPTOACOPLADOR

del cual, las características específicas se encuentran en el apéndice C.

#### 2.4.2. Diseño y construcción de un circuito de alimentación y acondicionamiento de señal

La figura siguiente representa el esquema de funcionamiento del sensor optoacoplador, podemos observar dos circuitos sin interacción de línea, uno es para el diodo y el otro es para el fototransistor, la señal de salida  $V_{out}$  está colocada en el pin colector del transistor.

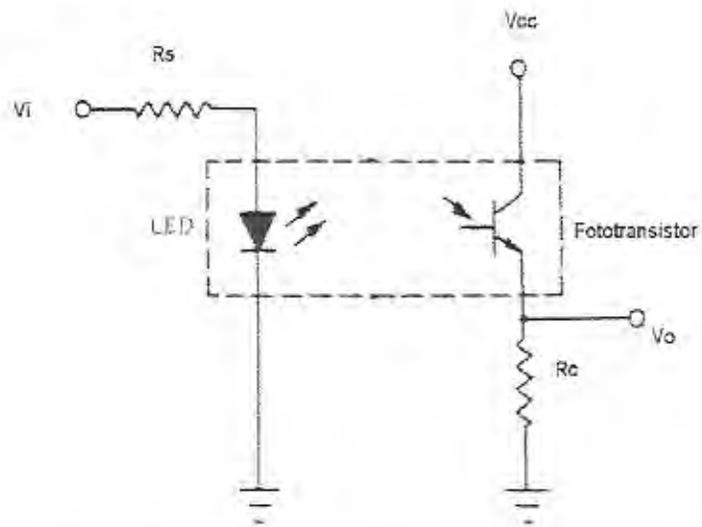


FIGURA 2-19 ESQUEMA GENERAL DE OPTOACOPLADOR

Mientras en la lente del fototransistor no circule la corriente de saturación  $I_c$ , el circuito del fototransistor está abierto y la señal de salida  $V_{out}$  es:

$$V_{out} = V_{cc}$$

Cuando la corriente  $I_d$  circula a través del diodo, este emite una luz infrarroja, el valor de  $I_c$  es:

$$I_d = V_s / R_s \quad \text{Ec. 3}$$

Esta corriente  $I_d$ , de acuerdo a la curva estática de transferencia para optoacopladores, induce un valor de corriente  $I_t$  en la lente del fototransistor .

La corriente de saturación del fototransistor viene dada por:

$$I_c = V_{cc} / R_c \quad \text{Ec.4}$$

Cuando la corriente  $I_t$  es mayor o igual que la corriente de saturación  $I_c$ , el circuito del fototransistor se cerrará, en este momento, la señal de salida  $V_{out}$  igual a cero, si es menor, continuará abierto.

Esta variación tipo pulso entre cero y  $V_{cc}$  es la señal que obtenemos al obstruir la señal infrarroja entre el diodo emisor y el fototransistor a partir de un disco dentado colocado en el eje del motor de la bomba, como lo explico más adelante.

Los cálculos tienen su base en el hecho de que los voltajes que proporciona nuestra fuente VDC son de +5 VDC, que está en el rango de alimentación del diodo emisor, y +12 VDC para el fototransistor, de esta manera procedemos a los cálculos de las resistencias para los circuitos a partir de la corriente de saturación del fototransistor, para la cual tomamos una resistencia comercial de 12 k $\Omega$ , de manera que la corriente de saturación a partir de la Ec.4 en el fototransistor es:

$$I_c = 12 \text{ V} / 12000 \text{ } \Omega = 1 \text{ mA}$$

De acuerdo a las características descritas en el apéndice 3 el valor máximo es de 100 mA, de manera que estamos en el rango permitido.

Para el diodo debemos utilizar una resistencia tal que la corriente de activación del diodo produzca una corriente  $I_c$  que sea mayor a 1 mA, es así que seleccionamos la resistencia comercial  $R_s = 120 \Omega$ , la cual produce una  $I_d$ :

$$I_d = 5 \text{ V} / 120 \Omega = 42 \text{ mA}$$

Esta corriente  $I_d$  de 42 mA produce una  $I_c$  aproximadamente de 18 mA de acuerdo a la curva estática del optoacoplador en el apéndice C para el diodo utilizado, la cual, es suficiente para la saturación del fototransistor de manera que el voltaje  $V_{out}$  en este momento es cero. Cuando por alguna razón disminuye la corriente en la lente base del fototransistor, el circuito se abre y la señal de salida  $V_{out}$  es aproximadamente 12 VDC.

La razón específica de la disminución de corriente en nuestro caso es la obstrucción de la luz infrarroja entre el diodo y el fototransistor con un disco dentado.

De manera que el circuito de alimentación queda completo con los valores calculados y el esquema completo queda como se muestra a continuación:

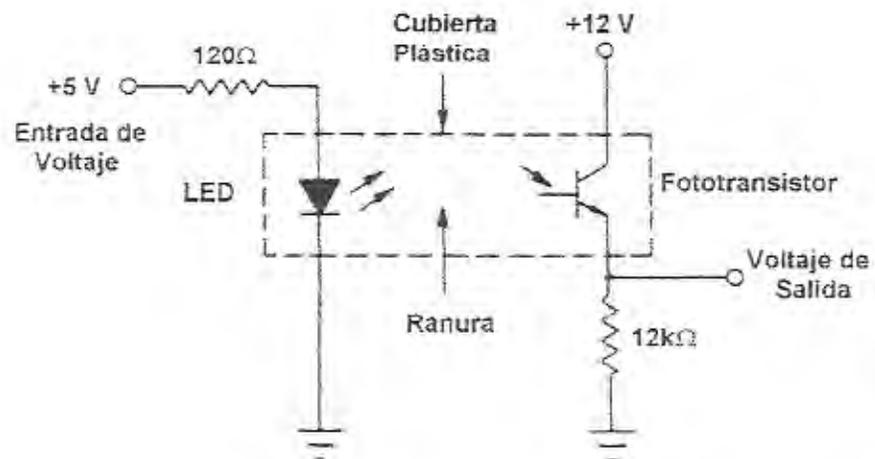


FIGURA 2-20 ESQUEMA CON VALORES APLICADOS

Pero si esta señal de pulso  $V_{out}$  la conectamos directamente al módulo contador FP-CTR-500, la señal de +12 VDC se reduce a +5 VDC debido a la elevada impedancia del circuito integrado del optoacoplador en comparación con la impedancia del módulo contador; necesitamos de un dispositivo que permita el aislamiento de impedancias entre los dos circuitos, este dispositivo

es un circuito Seguidor de Voltaje, construido con un amplificador operacional, cuyas características se detallan en el apéndice A, y luce de la siguiente manera:

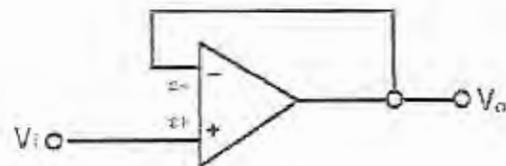


FIGURA 2-21 DIAGRAMA SEGUIDOR DE VOLTAJE

De esta forma, el circuito de alimentación y acondicionamiento de señal queda finalmente estructurado de la siguiente manera:

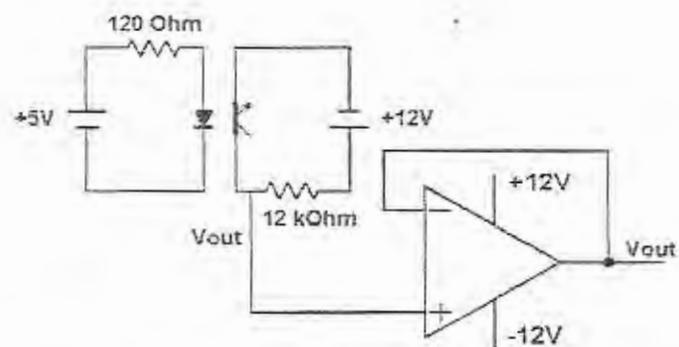


FIGURA 2-22 ESQUEMA COMPLETO CON SEGUIDOR DE VOLTAJE

### 2.4.3. Piezas y elementos para instalación.

Las piezas mecánicas que harán posible obtener una señal de pulsos proporcional a la velocidad angular del eje del motor de la bomba son, en primer lugar un disco dentado, para lograr la parcial obstrucción de la señal infrarroja entre el diodo emisor y fototransistor colector, permitiendo así, por lo antes explicado en el circuito de alimentación, la señal de pulso entre 0 y 10 VDC.

El disco tiene un diámetro de 63,4 mm y un espesor de 2,8 mm, suficiente para que pueda introducirse en la cavidad del optoacoplador; el material es acero A32 y su selección responde a la ausencia de fuerza que se ejercerá sobre el mismo así como la facilidad de maquinado y bajo costo.

El número de dientes es 8, seleccionado debido a que la anchura del diente debe cubrir totalmente el ancho de la cavidad del optoacoplador; está colocado en el eje del motor y trabaja como muestra la figura siguiente:

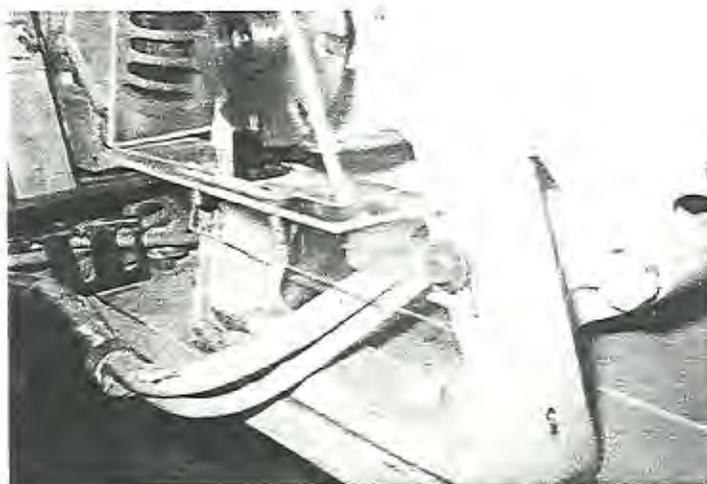


FIGURA 2-23 DISCO DENTADO TRABAJANDO CON  
OPTOACOPLADOR

Los detalles de las dimensiones se observan en el apéndice D, plano 1.

Se maquinó también un soporte para cada optoacoplador, los cuales son exclusivos para mantener el optoacoplador en la posición ideal para interacción con el disco dentado. La forma de esta pieza responde a la geometría del soporte del eje del motor, ya que es a este donde está sujeto para que pueda realizar su trabajo.

El material del soporte es acrílico transparente y su selección responde a la bondad del material que por su transparencia y estética es ideal para aplicaciones

didácticas, de, manera que el estudiante podrá observar de manera completa el panorama de conexiones y funcionamiento de este sensor.

Es en este soporte está fija, por medio de tornillos de dimensión  $\varnothing 3.15 \times 10$  mm, la tarjeta universal que contiene las bases de circuito integrado con el optoacoplador.

Se elaboró también un protector que cubre tanto el disco dentado como el sensor optoacoplador, en material de acrílico transparente por las razones expuestas anteriormente y de forma exclusiva adaptable solo al soporte donde está fija por medio de dos tornillos M5x3.

De manera que la instalación completa se observa tal como lo muestra la figura anterior.

#### 2.4.4. Ubicación: cableado e instalación

El cableado tiene un recorrido que va desde la tarjeta universal del optoacoplador hasta la bornera principal situada en un soporte contiguo a cada bomba.

El cable utilizado es un cable de cuatro líneas apantallado de 1.20 m de longitud, tiene un



recubrimiento de P.V.C y las características del mismo están en el apéndice B.

A partir de la bornera otro cable multipar apantallado lleva las señales hasta la bornera secundaria que comunica los cables de señal y de alimentación de los optoacopladores con el equipo pre-interfase.

Los detalles de la instalación de cableado se observan en la siguiente figura:

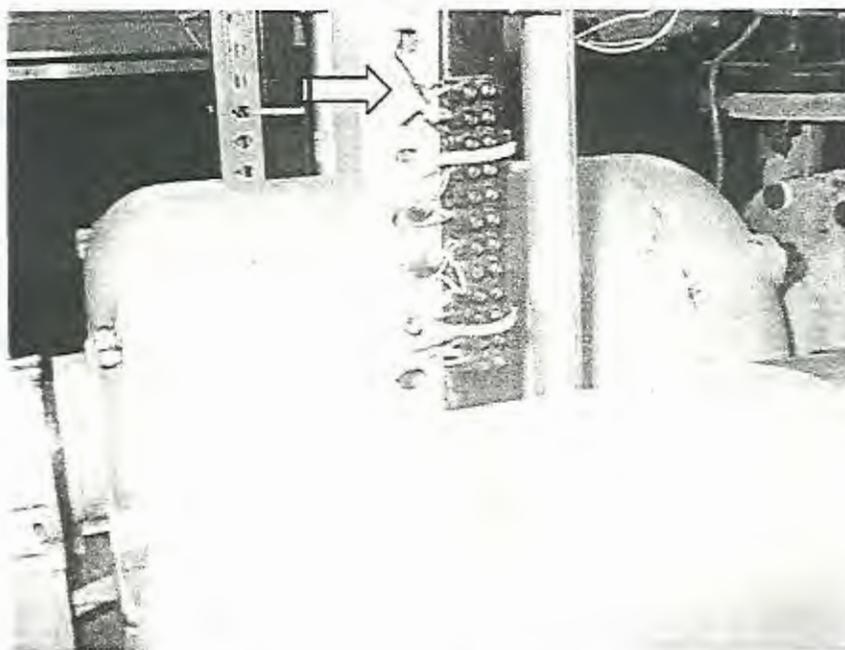


FIGURA 2-24 CONEXIONES DE OPTOACOPLADOR

## 2.5. Medición de presión

Se realizó un reemplazo de los sensores originales de presión y se instalaron sensores electrónicos de alta presión, que requieren una alimentación de +10 VDC y producen una señal de salida entre 4-20 mA, proporcional a la presión del punto del circuito hidráulico donde estén ubicados. Estas señales serán receptadas por el módulo FP-AI-111, ya que son señales de corriente.

### 2.5.1. Sensores de alta presión

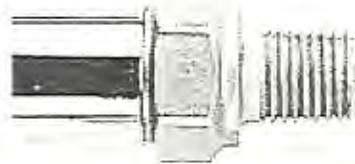


FIGURA 2-25 SENSOR DE ALTA PRESIÓN

En el lenguaje técnico un sensor de alta presión tiene capacidades que pasan los 500 Psi; los sensores que utilizo tienen una capacidad máxima de 100 Psi pero los denomino en esta tesis de alta presión específicamente para diferenciarlos de los sensores de nivel, que también son de presión.

Los sensores para esta aplicación son proporcionados por la casa Entran y tienen su principio básico en la distribución de galgas extensométricas en una membrana que estará en contacto con el fluido al cual se le quiere medir la presión.

Estas galgas extensométricas forman un puente de Wheastone donde la presión estira o comprime los hilos de resistencia, modificando el valor de la misma de manera proporcional a la presión.

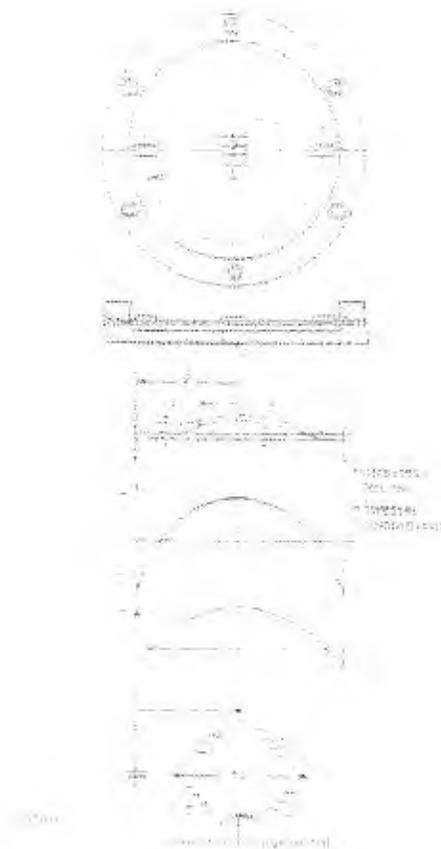


FIGURA 2-26 DIAFRAGMA Y PUENTE DE  
WHEASTONE

Cuando el puente Wheastone está sin tensión, tiene una resistencia eléctrica determinada. Cuando se aplica al circuito una tensión nominal, que es el voltaje de alimentación de +10 VDC, la pequeña corriente que circula por la resistencia crea una caída de tensión en la misma y el puente se equilibra para estas condiciones.

En este momento la señal de salida del sensor de presión es de aproximadamente 4 mA.

Cualquier variación de presión que mueva el diafragma del transductor cambia la resistencia de la galga y desequilibra el puente produciendo valores entre 4-20 mA proporcionales a la presión sobre el sensor.

Detalles más específicos del sensor se observan en el apéndice C.

#### **2.5.2. Diseño y construcción del circuito de alimentación**

Las conexiones del sensor de presión son la línea de color rojo que es para la alimentación de 10 VDC, este voltaje proviene del circuito regulador de voltaje que transforma los +12 VDC de la fuente a +10 VDC y también es la línea de señal de salida, mientras que la línea de color negro es para la tierra o retorno de las señales:

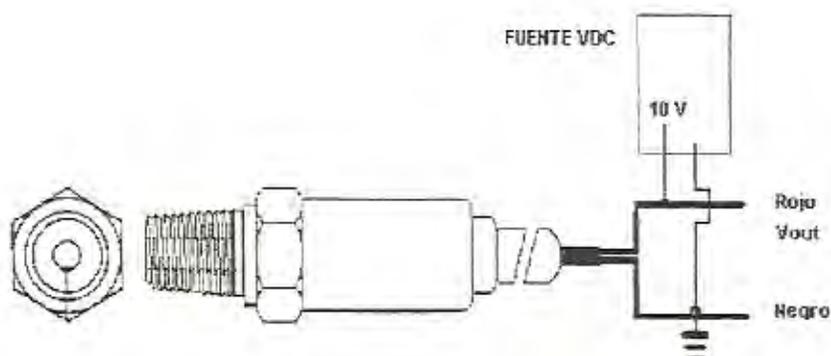


FIGURA 2-27 ALIMENTACIÓN DE SENSOR DE PRESIÓN

### 2.5.3. Diseño de piezas y elementos para instalación.

Para la instalación utilizamos los mismos puntos de los antiguos sensores, ya que estos sensores electrónicos poseen medidas estándar, no hubo problemas en su ubicación.

### 2.5.4. Ubicación: cableado e instalación

La instalación y cableado de los sensores responde a las originales necesidades de lecturas de presión, de esta manera, para la bomba 1 se conserva los sensores originales de presión en la succión y la distribución de presión en el impeler, estas señales continúan hasta llegar a un distribuidor de presiones donde se aprovechó para instalar el sensor electrónico y la señal de éste llega

hasta la bornera principal situada a un lado de la bomba, para luego por medio de cables protegidos llegar hasta la bornera secundaria, como se ve en la figura:

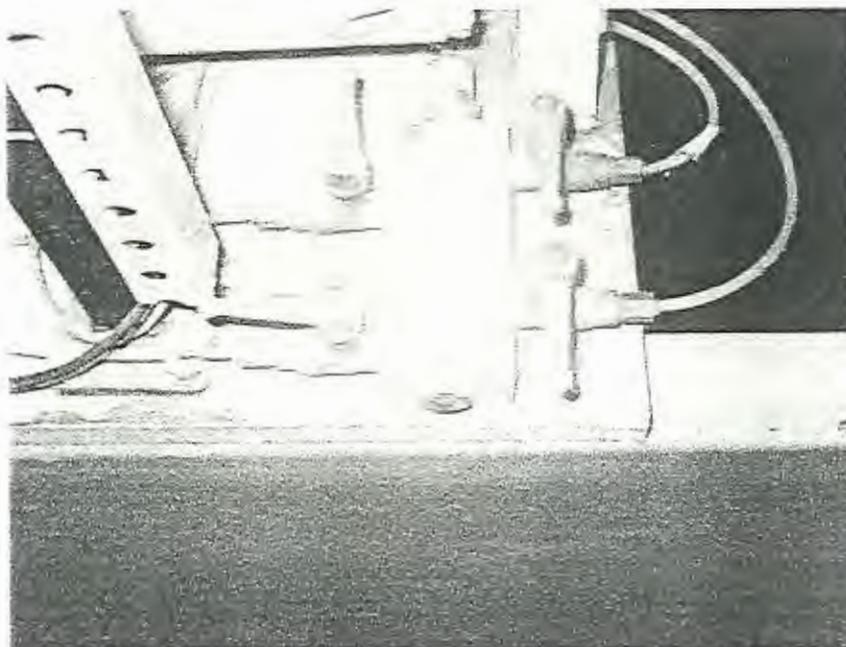


FIGURA 2-28 SUCCIÓN EN LA BOMBA #1

A la descarga de la bomba 1 tenemos dos sensores de presión a distinta distancia de la descarga, los cuales proveerán las señales de presión para los respectivos cálculos de características de la bomba. Estos sensores están conectados directamente a la bornera secundaria en el centro del banco de bombas, para que su señal llegue hasta el equipo corrector de señal; para todos los

sensores de presión se utilizó el cable apantallado de dos líneas cuyas características aparecen en el apéndice B.

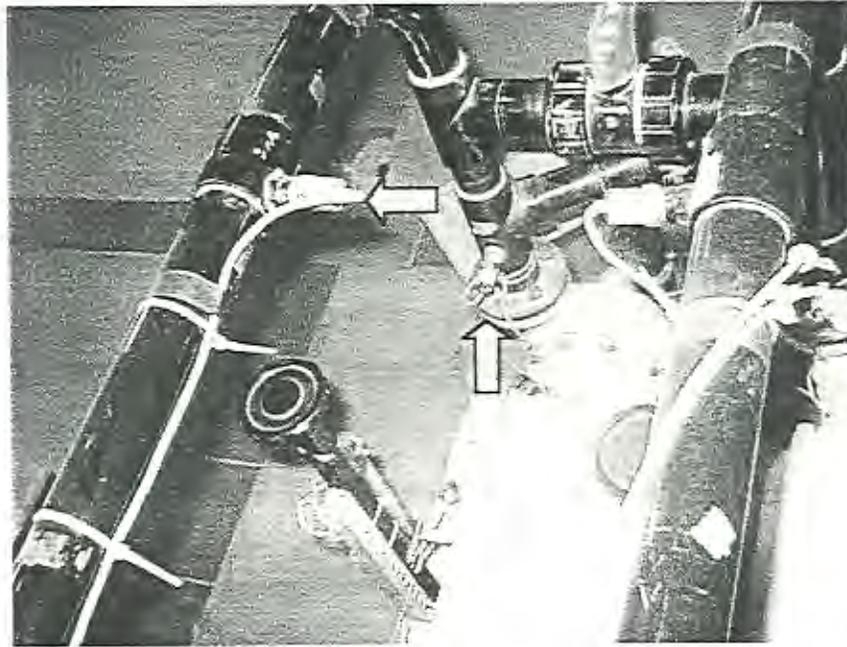


FIGURA 2-29 SENSORES EN LA DESCARGA DE LA BOMBA #1

En la bomba 2 tenemos tanto en la succión como en la descarga sensores electrónicos; el de la succión comunica su señal a la bornera principal para luego a través de cables protegidos llegar hasta la bornera secundaria en el centro del banco, mientras que los dos de la descarga comunican su señal directamente a la bornera secundaria. La instalación completa se observa en al figura siguiente:

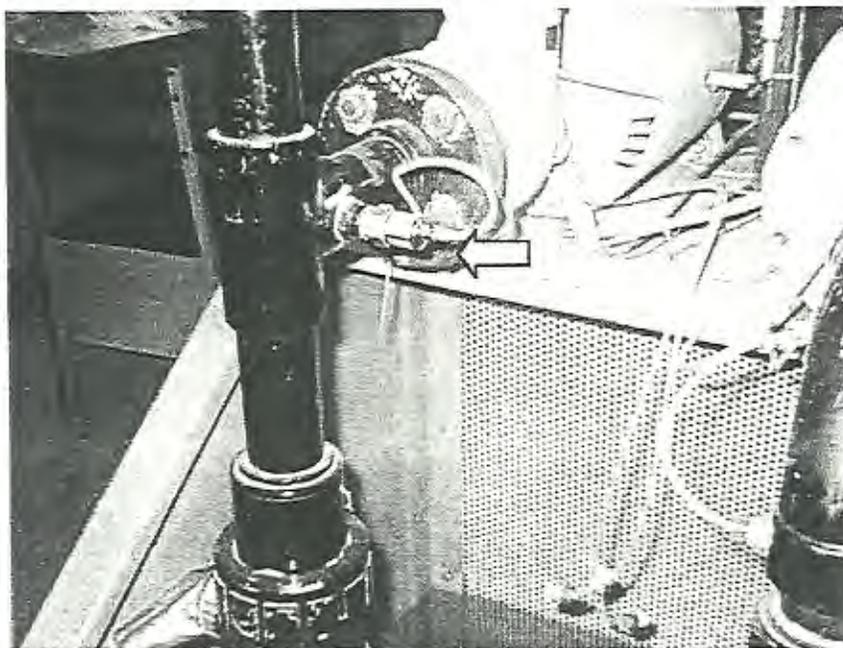


FIGURA 2-30 SENSOR EN SUCCIÓN DE BOMBA #2

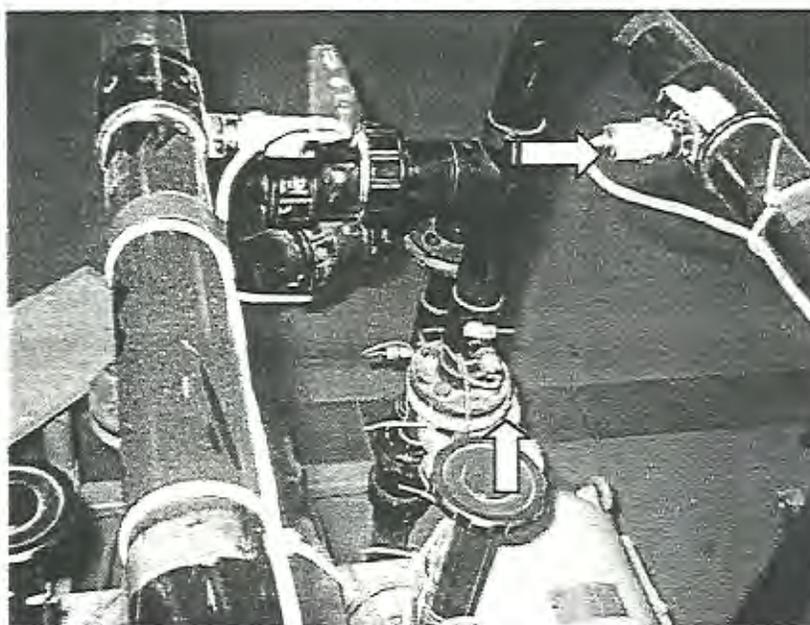


FIGURA 2-31 SENSORES A LA DESCARGA DE BOMBA #2

## 2.6. Ensamble de los circuitos independientes a una sola tarjeta.

Era necesario integrar cada circuito para la alimentación, corrección y acondicionamiento de las señales de cada sensor en una sola tarjeta electrónica ya que utilizamos solo una fuente de corriente directa y la distribución de los sensores exige una centralización de las señales para su eventual llegada hasta los módulos de adquisición de datos Field Point. Esta tarjeta posee todos los elementos electrónicos que han sido calculados para cada circuito independiente; es el cerebro del equipo pre-interfase y a su vez de gran importancia para el sistema de adquisición de datos en general ya que permite la activación de los sensores que necesitan ser alimentados con voltaje de corriente directa y a la vez hace posible que el equipo modular Field Point pueda leer las señales que envían los sensores. Es así que diseñé la pista de la tarjeta respetando dos parámetros, la optimización del espacio utilizado y la aplicación de los mismos voltajes de alimentación para circuitos diferentes. Finalmente se fabricó el circuito impreso en material de fibra de vidrio, el cual es resistente a condiciones extremas y también estético, aportando también a la parte didáctica ya que en su reverso se puede observar la pista de la tarjeta.

Todos los amplificadores operacionales utilizan bases de integrados con el objeto de poder ser fácilmente reemplazados cuando alguno esté defectuoso. Debido a las múltiples señales de entrada cuyo número es 30 en total y las señales de salida que son 25, las terminales utilizadas para la interacción de los cables que traen y llevan señales con la tarjeta son terminales diseñados para cables planos, los cuales poseen pares de pines que pueden ser utilizados a conveniencia dependiendo de la aplicación del circuito. Este mismo tipo de terminal es utilizado para la alimentación de la tarjeta desde la fuente de corriente directa. En la figura 2-32 se observa la tarjeta pre-interfase y la pista de la misma.



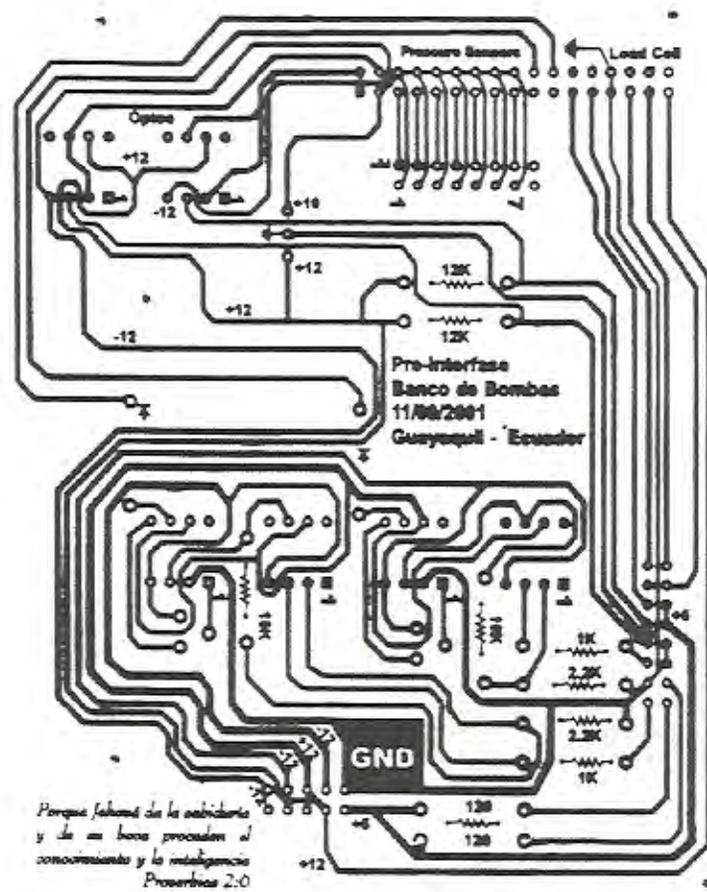


FIGURA 2-32 TARJETA ELECTRÓNICA Y SU PISTA

## 2.7. Descripción de caja pre-interfase de señales

El equipo pre-interfase de señales toma las señales directamente desde la bornera secundaria situada en el centro del banco de bombas, lo hace por medio de cables multipares apantallados cuyas características aparecen en el apéndice B.

A continuación una figura donde se puede apreciar la distribución de las señales en cada bornera situada a un lado de la bomba:

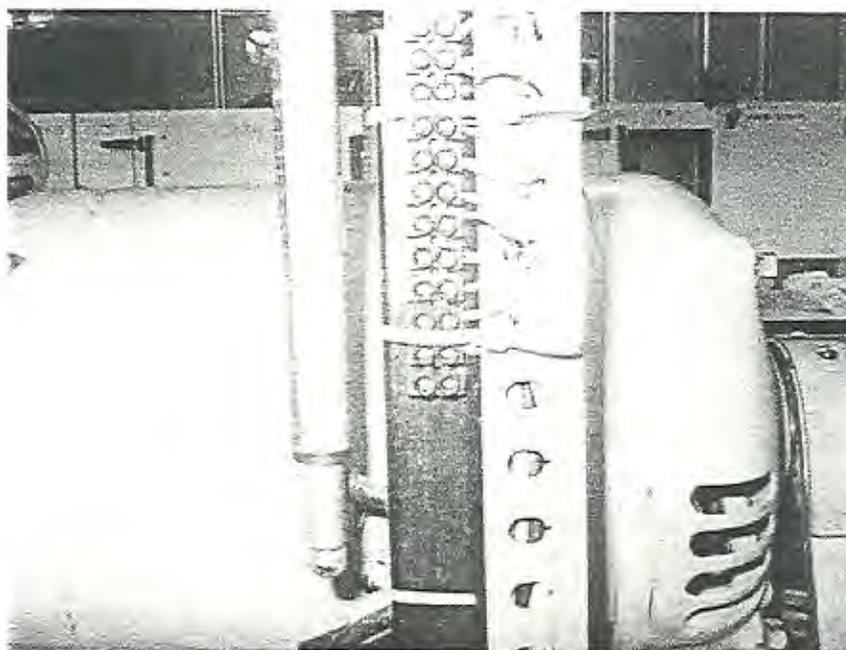


FIGURA 2-33 BORNERA A

La bornera secundaria está subdividida en una sección solo para las señales de presión y otra sección para el resto de señales, es decir para fuerza, rpm y flujo; el objetivo de esta subdivisión es mantener un orden que agrupe señales comunes entre las de corriente y voltaje para su posterior distribución en la tarjeta.

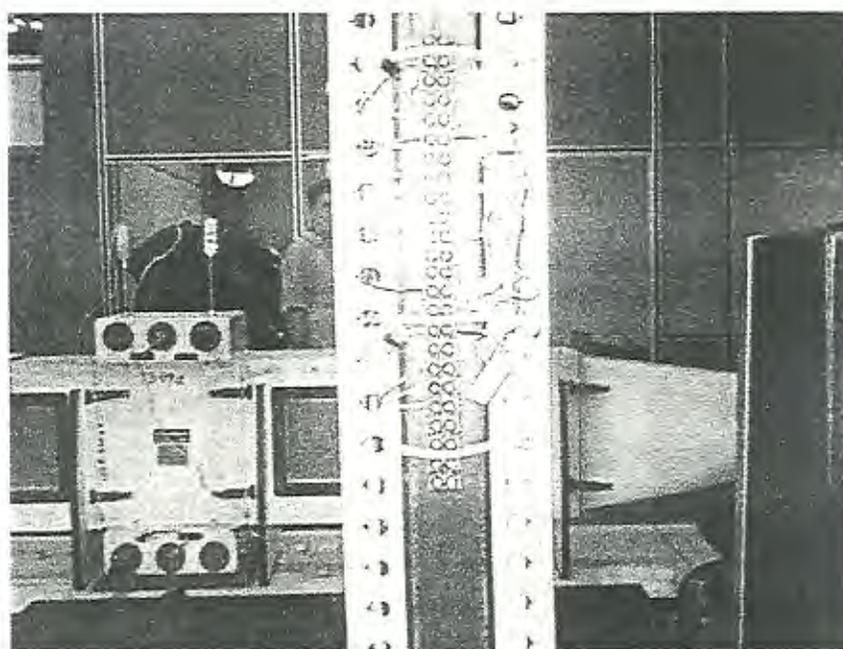


FIGURA 2-34 BORNERA C: SEÑALES DE SENSORES EXCEPTO PRESIÓN

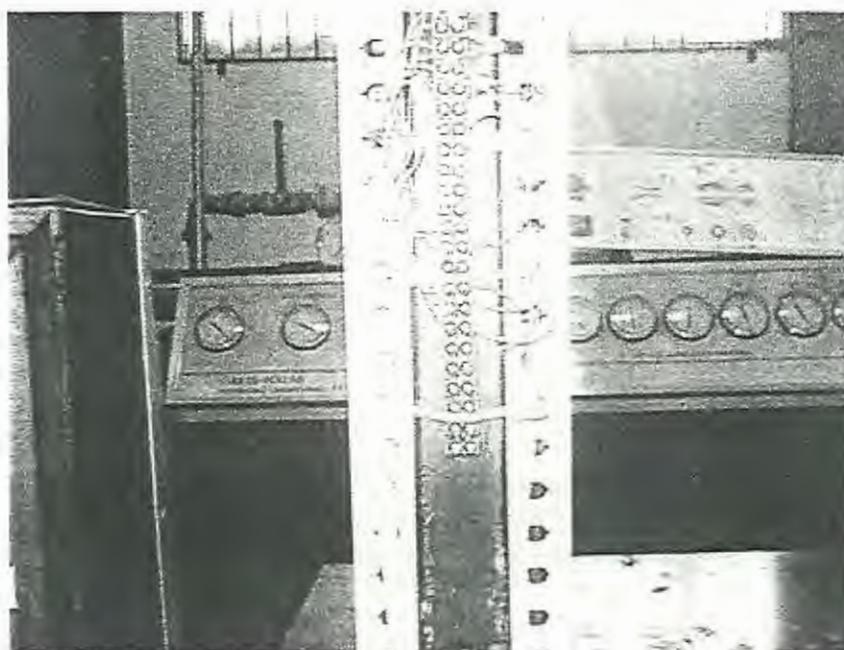


FIGURA 2-35 BORNERA D: SEÑALES DE SENSORES DE PRESIÓN

De esta manera la caja pre-interfase, que es donde llegan las señales, posee dos sitios de entrada, una para las señales de presión (entrada Y) y la otra para el resto de señales (entrada X); los elementos de conexión son los llamados DB25 ya que simultáneamente comunica 25 pines con señales de las cuales utilizamos solo 14 en el caso de los sensores de presión y 16 la otra conexión. Estas señales viajan a través de cables planos de 25 líneas hasta la tarjeta donde eventualmente las señales serán corregidas y acondicionadas.

Luego de que las señales han sido tratadas viajan a través de un cable plano de 35 líneas hasta otro DB25 de salida (salida Z), a partir del cual mediante la conexión de otro cable apantallado llegan las señales hasta en equipo de adquisición de datos Field Point. La señal de voltaje desde la fuente de alimentación de corriente directa, llega a la tarjeta por medio de un cable plano de 9 líneas y a partir de allí distribuye a todos los elementos que son necesarios. Tanto junto a las conexiones de entrada como de salida existe un espacio para otra conexión en el caso de que posteriores mejoras lo requieran.

En la siguiente figura se observa la caja y sus elementos:



FIGURA 2-36 CAJA PRE-INTERFASE CON ELEMENTOS  
FUERA DE ELLA



FIGURA 2-37CAJA PRE-INTERFASE ARMADA

Las medidas y detalles de la caja pre-interfase se encuentran en el apéndice E , detalles sobre las conexiones en Apéndice G. A continuación se muestra como están conectados los diferentes elementos del equipo de adquisición de datos:



FIGURA 2-38EQUIPO COMPLETO

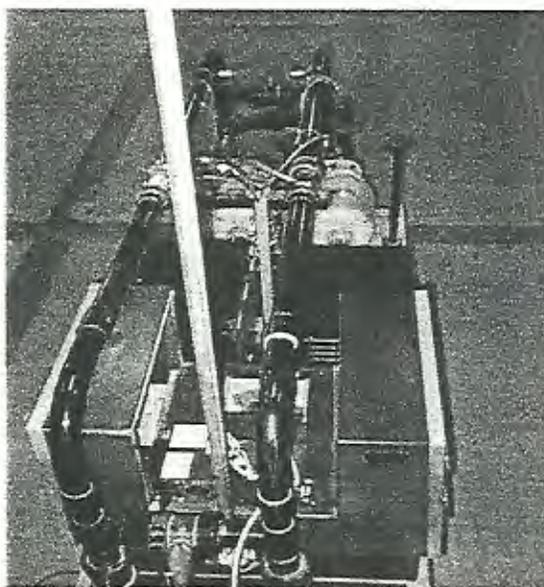


FIGURA 2-39 BANCO DE BOMBAS Y CAJA PRE-INTERFASE

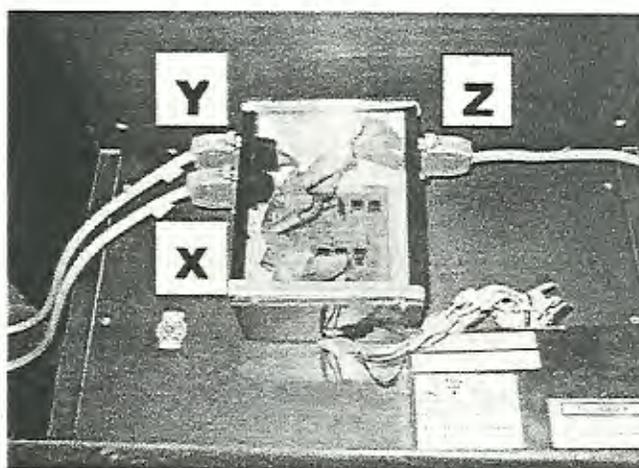


FIGURA 2-40 CAJA PRE-INTERFASE EN FUNCIONAMIENTO

# CAPITULO 3

## 2. CALIBRACIÓN DE SENSORES

Todos los sensores utilizados requieren de una curva que relacione la variable medida, es decir, el fenómeno físico y la señal de salida de cada sensor, sea mA o mV. Para la calibración de los sensores se debe considerar que los procedimientos para la misma pueden ser: Procedimientos normalizados, procedimientos no normalizados o procedimientos experimentales desarrollados

Los procedimientos normalizados son aquellos que constan en la norma ISO, los no normalizados pueden estar en otra norma diferente, mientras que los procedimientos experimentales son aquellos que han sido desarrollados bajo lineamientos científico-técnicos aplicados en la experimentación de los laboratorios. De esta manera en algunos de los casos el procedimiento de calibración fue basado en la experimentación.

En cada caso se tomaron las lecturas y se graficó la señal del sensor observada en el monitor vs. la variable medida.

Luego, a partir de los datos obtenidos se procedió a calcular la incertidumbre del conjunto medidor, calculando la desviación residual estándar a partir de la fórmula:

$$S_{m_1} = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n_1 - m_1 - 1}}$$

Donde:

TABLA 2 VARIABLES DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR

$d_1, d_2,$ etc.	diferencias entre la curva ajustada y la los n valores medios observados a partir de los datos de calibración,
$n_1$	número de incrementos de presión diferentes de cero.
$m_1$	el grado del polinomio, en este caso es 1.

En esta aplicación cada valor  $d_i$  es igual a  $(Y - Y^*)$ , donde el valor  $Y$  es el valor de presión dado por la masa patrón correspondiente a algún valor en amperios leído a partir de la respuesta del sensor, mientras que  $Y^*$  es el valor de la curva de calibración generada a partir de una regresión lineal cuya variable independiente son los amperios.

Con este calculo obtenemos el valor de las desviación de cada punto  $Y$  del respectivo  $Y^*$  de la recta para un mismo valor de amperios, llegando



así a la desviación media residual estándar, la cual será la incertidumbre en las lecturas de todos los sensores calibrados:

$$\sigma_m = S_{m1}/n^{1/2}$$

El valor  $n_1$  es el total de puntos que se han obtenido en la lectura de calibración.

En instrumentación industrial la respuesta de un sensor debe ser lineal, así que el valor para el grado del polinomio  $m_1$  es uno.

### 3.1. Sensores electromagnéticos

Para la medición de caudal los sensores utilizados son los sensores electromagnéticos, los cuales, como se explicó anteriormente proveerán una señal de pulsos proporcional a la cantidad de flujo que accione la pequeña turbina que perturba en campo magnético de un imán permanente colocado en su proximidad.

La calibración de sensores electromagnéticos se la realizó considerando un volumen fijo a través del tiempo; utilizando una parte del reservorio del mismo banco de bombas el cual tiene dimensiones de 1.113x0.764x0.490 m, desde el fondo hasta el punto donde comienza la V del vertedero, manteniendo fija las rpm del motor y manipulando la válvula de descarga, pudimos

obtener varios valores de caudales controlados por cronómetro y la respectiva lectura de pulsos en el software Field Point Explorer. La lectura de pulsos está regulada por una base de tiempo interno del FP-CTR-500, la cual puede ser seteada para que capte pulsos por ejemplo cada 10 ms, cada segundo, o en un tiempo determinado seleccionando ciertos parámetros (1). Los parámetros fueron seleccionados de manera que la señal de pulsos la observamos actualizada cada cinco segundos, es decir, cada cinco segundos apareció en la pantalla el número de pulsos que provienen originalmente del sensor electromagnético.

De esta manera pudimos obtener la curva de calibración Pulsos vs. Caudal.

Los implementos utilizados para realizar esta calibración fueron:

1. Reservorio de dimensiones 1.113x0.764x0.490 m
2. Cronómetro
3. Equipo flujómetro
4. Bomba Pedrollo de 0.5 HP

5. Equipo Pre-interfase
6. Equipo Field Point: Módulo FP-1000, Módulo FP-CTR-500
7. Computador: software Field Point Explorer

El procedimiento que se siguió está resumido en los siguientes pasos:

1. Marcar exactamente la mitad de la altura del reservorio
2. Verificar el vaciado total del reservorio, si tenemos algún nivel de agua, con la bomba Pedrollo, enviar el agua hacia el reservorio de succión de bomba propia del banco, hasta alcanzar el nivel mínimo que es de 0.052 m.
3. Preparar la pantalla del Field Point Explorer para observar los pulsos.
4. Encender el motor del banco de bombas y establecer un determinado valor de rpm, para el caso del electromagnético 1 (de la bomba 1), es de 1800 rpm, para el electromagnético 2, es de 2770 rpm. Desde ese momento abrir totalmente la válvula de descarga y empezar a correr el tiempo en el cronómetro.

5. Tomar las lecturas de pulsos que aparecen en el monitor del computador hasta que el nivel del agua alcance la marca a la mitad de la altura; cuando llega al nivel mencionado tomar el tiempo.
6. Cerrar totalmente la válvula y verificar los valores tomados, aquí se cumple el primer grupo de lecturas, en este caso con la válvula completamente abierta.
7. Abrir nuevamente la válvula y dejarla alrededor de  $2/3$  de su abertura y tomar las lecturas hasta que el nivel de agua alcance el máximo.
8. Vaciar el reservorio del banco de bombas hasta su nivel mínimo y repetir los pasos desde el segundo en adelante hasta completar los grupos de lecturas.
9. Tomar de dos en dos las lecturas consecutivas de pulsos y restarlas, para mediante esta diferencia, obtener la cantidad exacta de pulsos durante cinco segundos, hasta completar todos los grupos de lecturas en cada abertura.
10. Sacar un promedio de las diferencias de pulsos obtenidos.  
Con los niveles de altura y las dimensiones del reservorio

calcular el volumen del agua y dividirla para el tiempo tomado, y así obtener el flujo.

11. Colocar en una tabla el par de datos: pulsos-flujo para cada sensor electromagnético.

A continuación presento las tablas de datos obtenidas para la bomba N°1 y su respectiva curva de calibración; en estas tablas se observan dos columnas para cada abertura, en este caso las aberturas son 100%, 60% y 30%. La primera columna que se presenta es la de pulsos leídos en el programa Field Point Explorer y corresponden a la señal de salida del flujómetro, la segunda columna corresponde a la diferencia de pulsos entre dos lecturas consecutivas, la misma que corresponde a la cantidad exacta de pulsos durante cinco segundos, tal como está configurado en el programa; seguidamente sacamos el promedio de los pulsos y con los demás valores observados en la presente tabla, necesarios para realizar los cálculos de flujo volumétrico, formamos una nueva tabla al final que será la tabla de la curva de calibración con su respectiva desviación media estándar.

TABLA 3 TABLA DE PULSOS DE ACUERDO A CADA ABERTURA B1

Primera abertura: 100%					
Pulsos	Diferencia de pulsos	Alt Inicial (m)	Alt Final (m)		RPM
50871	1096	0,064	0,49		1800
51967	1098				
53065	1100				
54165	1101				
55266	1100	Volumen	0,362	m3	
56366	1102				
57468	1101	Tiempo	80,03	segundos	
58569					
		Caudal	4,526	lts/seg	
		Promedio	1100,0	Pulsos/ 5seg.	

Segunda abertura: 80%					
Pulsos	Diferencia de pulsos	Alt Inicial (m)	Alt Final (m)		RPM
40859	868	0,07	0,49		1800
41727	870				
42597	868				
43465	870				
44335	868	Volumen	0,357	m3	
45203	868				
46071	870	Tiempo	100,99	segundos	
46941	869				
47810		Caudal	3,536	lts/seg	
		Promedio	869,0	Pulsos/ 5 seg.	

Tercera abertura: 30%					
Pulsos	Diferencia de pulsos	Alt Inicial (m)	Alt Final (m)		RPM
23454	550	0,064	0,245		1800
24004	555				
24559	553				
25112	552				
25664	548	Volumen	0,154	m3	
26212	551				
26763		Tiempo	67,86	segundos	
		Caudal	2,268	lts/seg	
		Promedio	552,0	Pulsos/ 5segundos	

TABLA 4 TABLA DE CALIBRACIÓN BOMBA # 1

Pulsos	Caudal (Yi)	Y*	(Yi-Y*) <sup>2</sup>
0	0.00	-0.0131	0,00017
552	2,268	2,2501	0,00032
869	3,536	3,5498	0,00019
1100	4,526	4,4969	0,00085

Desviación residual estándar

Desviación media residual estándar

Suma	0,00153
<b>Sm</b>	<b>0,039106</b>
n	3,000
<b>σ<sub>m</sub></b>	<b>0,022578</b>

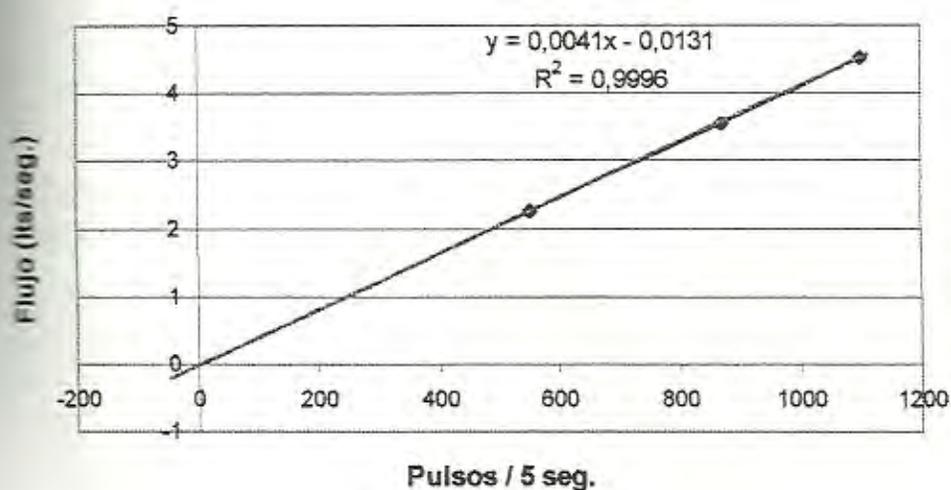


FIGURA 3-1 CURVA DE CALIBRACIÓN FLUJÓMETRO #1

A continuación las tablas correspondientes al flujómetro de la bomba N°2, en la cual pudimos realizar hasta ocho aberturas debido a la estabilidad del sistema mientras cerrábamos:

TABLA 5 TABLA DE PULSOS DE ACUERDO A CADA ABERTURA B2

Primera abertura 100%					
Pulsos	Diferencia de pulsos	Alt Inicial (m)	Alt Final (m)	Unidades	RPM
30923	606	0,045	0,245		2770
31529	606				
32135	605				
32740	605				
33950	604	Volumen	0,170	m3	
34554					
		Tiempo	67	segundos	
		Caudal	2,538	Its/seg	
		Promedio	605,0	Pulsos/ 5segundos	

Segunda abertura 88%					
Pulsos	Diferencia de pulsos	Alt Inicial (m)	Alt Final (m)	Unidades	RPM
11366	529	0,245	0,49		2770
11895	529				
12424	527				
12951	528				
13479	528	Volumen	0,208	m3	
14007	527				
14534		Tiempo	95	segundos	
		Caudal	2,193	Its/seg	
		Promedio	528,0	Pulsos/ 5segundos	

Tercera abertura 75%					
Pulsos	Diferencia de pulsos	Alt Inicial (m)	Alt Final (m)	Unidades	RPM
25462	469	0,245	0,49		2770
25931	469				
26400	471				
26871	470				
27341	469	Volumen	0,208	m3	
27810	470				
28280	468	Tiempo	108,45	segundos	
28748	467				
29215	466	Caudal	1,921	lts/seg	
29681					
		Promedio	469,0	Pulsos/ 5segundos	

Cuarta abertura 63%					
Pulsos	Diferencia de pulsos	Alt Inicial (m)	Alt Final (m)	Unidades	RPM
5985	427	0,245	0,49		2770
6412	428				
6840	427				
7267	426				
7693	425	Volumen	0,208	m3	
8118	425				
8543	424	Tiempo	119,45	segundos	
8967	423				
9390	423	Caudal	1,744	lts/seg	
9813	422				
10235	422	Promedio	424,7	Pulsos/ 5segundos	
10657					

<b>Quinta abertura 50%</b>					
<b>Pulsos</b>	<b>Diferencia de pulsos</b>	<b>Alt Inicial (m)</b>	<b>Alt Final (m)</b>	<b>Unidades</b>	<b>RPM</b>
34554	365	0,245	0,49		2770
34919	364				
35283	363				
35646	362				
36008	360	<b>Volumen</b>	0,208	m3	
36368	359				
36727	358	<b>Tiempo</b>	141,52	segundos	
37085	357				
37442	357	<b>Caudal</b>	1,472	lts/seg	
37799	355				
38154	353	<b>Promedio</b>	359,0	<b>Pulsos/ 5segundos</b>	
38507	353				
38860					

<b>Sexta abertura 36%</b>					
<b>Pulsos</b>	<b>Diferencia de pulsos</b>	<b>Alt Inicial (m)</b>	<b>Alt Final (m)</b>	<b>Unidades</b>	<b>RPM</b>
1639	314	0,053	0,245		2770
1953	314				
2267	313				
2580	313				
2893	312	<b>Volumen</b>	0,163	m3	
3205	312				
3517	311	<b>Tiempo</b>	126,79	segundos	
3828	311				
4139	311	<b>Caudal</b>	1,288	lts/seg	
4450	310				
4760	310	<b>Promedio</b>	313	<b>Pulsos/ 5segundos</b>	
5070					

Septima apertura 25%					
Pulsos	Diferencia de pulsos	Alt Inicial (m)	Alt Final (m)	Unidades	RPM
20707	256	0,245	0,49		2770
20963	274				
21237	273				
21510	272				
21782	271	<b>Volumen</b>	0,208	m3	
22063	270				
22323	270	<b>Tiempo</b>	141,52	segundos	
22593	266				
22859	267	<b>Caudal</b>	1,095	lts/seg	
23126	265				
23391	264	<b>Promedio</b>	269,0	Pulsos/ 5seg.	
23655	264				
23919	261				
24180	260				
24440					

Octava abertura 12%					
Pulsos	Diferencia de pulsos	Alt Inicial (m)	Alt Final (m)	Unidades	RPM
50872	180	0,05	0,245		2770
51052	178				
51230	177				
51407	174				
51581	173	<b>Volumen</b>	0,166	m3	
51754	172				
51926		<b>Tiempo</b>	228,06	segundos	
		<b>Caudal</b>	0,727	lts/seg	
		<b>Promedio</b>	176,0	Pulsos/ 5segund os	

TABLA 6 TABLA DE CALIBRACIÓN BOMBA #2

$Y^* = 0,0042x - 0,0144$

		M=1	N=9
		GRADO 1	
		N1-M1-1	7
PULSOS	CAUDAL (Yi)	Y*	(Yi-Y*) <sup>2</sup>
0	0,00	-0,0144	0,00021
176	0,727	0,7248	0,00000
269	1,095	1,1154	0,00042
313	1,288	1,3002	0,00015
359	1,472	1,4934	0,00046
425	1,744	1,7706	0,00071
469	1,921	1,9554	0,00118
528	2,193	2,2032	0,00010
605	2,538	2,5266	0,00013
		Suma	0,00336

S <sub>m</sub>	0,02190916
σ <sub>m</sub>	0,00730305

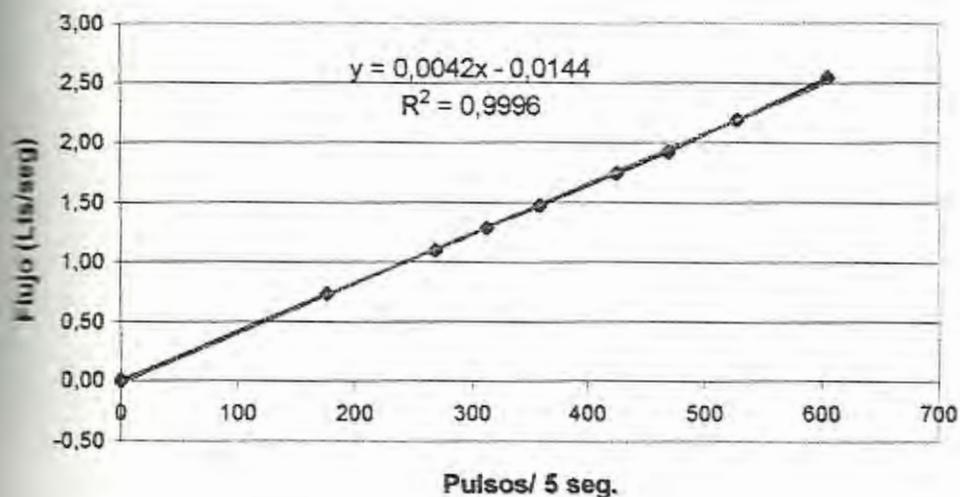


FIGURA 3-2CURVA DE CALIBRACIÓN FLUJÓMETRO #2

### 3.2. Sensores de alta presión

Para la calibración de estos sensores hice uso un calibrador de pesos muertos, el cual posee masas patrones y se utiliza para equilibrar la presión de un fluido (aceite) con estos pesos conocidos, los detalles del calibrador se muestran a continuación.

Identificación: Calibrador portátil de pesos muertos Omega

Serie: 2BH-97550-I

Máxima presión: 595 Psi (para portamasas utilizado)

Masas patrones:

TABLA 7 MASAS PATRONES

Cantidad	Onzas
1	5
3	10
2	20
3	40
4	100

Este calibrador posee dos portamasas que difieren en su diámetro de émbolo en contacto con el aceite, de manera que un portamasas es para calibraciones de alta presión y el otro para calibraciones de presión baja. A continuación los valores de las presiones que ejercen cada masa en el portamasas respectivo:

TABLA 8 MASAS DE CALIBRACIÓN

Onzas	Baja	Alta
5	5	25
10	10	50
20	20	100
40	40	200
100	100	500

Siguiendo los pasos detallados en el manual de Instrumentación Básica de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la ESPOL, podemos realizar la calibración de estos sensores de alta presión y las respectivas tablas, curvas y cálculos de desviaciones residuales estándar se observan a continuación, en cada tabla aparecen las columnas Y (Psi) que se refiere a la presión ejercida por la masa patrón, la columna Amp. (up) la cual se refiere a la lectura en el programa Field Point Explorer y es la señal de salida, en amperios, del sensor de presión al ir colocando las masas en orden creciente; mientras que la columna Amp. (down) es la misma señal al retirar ordenadamente las masas. La columna Y\* (Psi) es la variable dependiente de la función lineal que se generaron, mediante regresión lineal, los puntos de la lectura; este cálculo tiene como objetivo encontrar la desviación media residual estándar para la lectura que obtendremos con este sensor.

La curva mostrada fue generada en Excel y representa la recta que se confirma como la curva de calibración de cada sensor de alta presión utilizado en esta aplicación.

TABLA 9 CALIBRACIÓN ALTA PRESIÓN: 8-C3120143

$Y^* = 6235.7x - 24.157$ (Psi)					
Psi	Amp.(up)	Amp. (down)	mA(promed.)	$Y^*$	$(Y^*-Y)^2$
5	0,00466	0,004665	0,0046625	4,91695125	0,00689709
10	0,00547	0,00549	0,00548	10,014636	0,00021421
15	0,00628	0,00628	0,00628	15,003196	1,0214E-05
20	0,007075	0,007094	0,0070845	20,0198167	0,0003927
25	0,007885	0,007885	0,007885	25,0114945	0,00013212
30	0,008694	0,008679	0,0086865	30,0094081	8,8511E-05
35	0,009485	0,009502	0,0094935	35,041618	0,00173205
40	0,010295	0,010297	0,010296	40,0457672	0,00209464
45	0,01109	0,0111	0,011095	45,0280915	0,00078913
50	0,01189	0,01189	0,01189	49,985473	0,00021103
55	0,01269	0,01269	0,01269	54,974033	0,00067429
60	0,013495	0,0135	0,0134975	60,0093608	8,7624E-05
65	0,01429	0,0143	0,014295	64,9823315	0,00031218
70	0,015095	0,015095	0,015095	69,9708915	0,0008473

	Suma	0,0144831
Desviación residual estandar	S1	0,03474083
	n	14
Desviación media residual estandar	Gm	0,0093

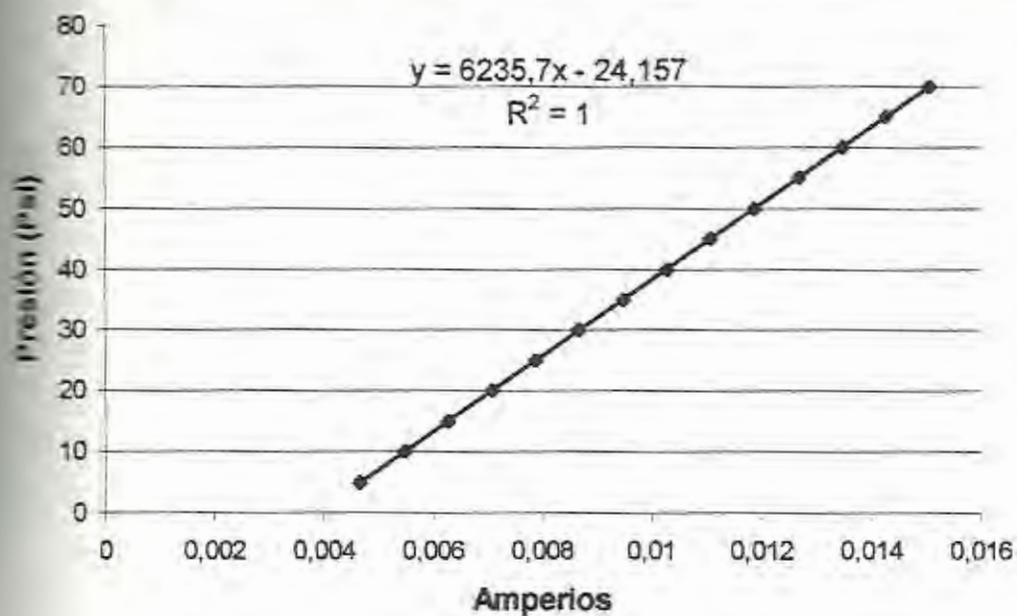


FIGURA 3-3CURVA DE CALIBRACIÓN DE 8-C3120143

TABLA 10 CALIBRACIÓN ALTA PRESIÓN: 8-C3120013

y = 6194.77X-24.8905					
Y (Psi)	Amp.(up)	Amp. (down)	mA(promed.)	Y*	(Y*-Y)2
5	0,004795	0,004815	0,004805	4,87536985	0,01553267
10	0,005614	0,00562	0,005617	9,90552309	0,00892589
15	0,00642	0,006435	0,0064275	14,9263842	0,00541929
20	0,007221	0,007235	0,007228	19,8852976	0,01315665
25	0,00803	0,00805	0,00804	24,9154508	0,00714857
30	0,00885	0,00885	0,00885	29,9332145	0,0044603
35	0,00966	0,00967	0,009665	34,9819521	0,00032573
40	0,010447	0,01048	0,0104635	39,9284759	0,0051157
45	0,01125	0,01125	0,01125	44,8006625	0,03973544
50	0,012065	0,012085	0,012075	49,9113478	0,00785922
55	0,01286	0,012865	0,0128625	54,7897291	0,04421384
60	0,01366	0,01366	0,01366	59,7300582	0,07286858
65	0,01445	0,01448	0,014465	64,7168481	0,08017503
70	0,01525	0,01525	0,01525	69,5797425	0,17661637
				Suma	0,48155327
Desviación residual estandar				S1	0,20032334
				n	14
Desviación media residual estandar				Gm	0,0535

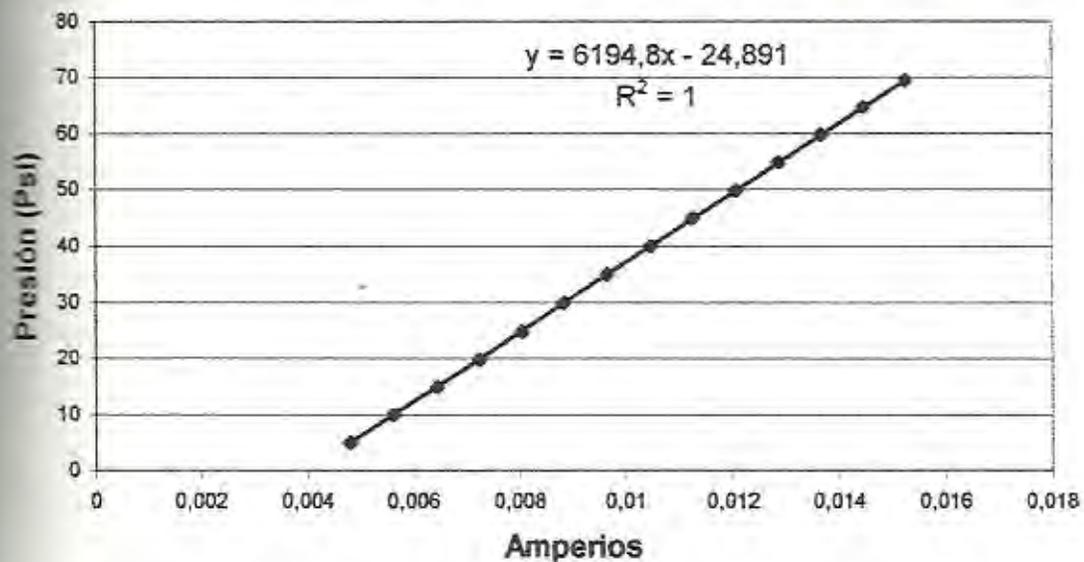


FIGURA 3-4 CURVA DE CALIBRACIÓN DE 8-C3120013

TABLA 11 CALIBRACIÓN ALTA PRESIÓN: 8-C3120124

$Y^* = 6170x - 26.709$					
Psi)	Amp.(up)	Amp. (down)	mA(promed.)	$Y^*$	$(Y^*-Y)^2$
5	0,005153	0,00519	0,0051715	5,199155	0,03966271
10	0,00597	0,005985	0,0059775	10,172175	0,02964423
15	0,006771	0,00678	0,0067755	15,095835	0,00918435
20	0,007576	0,007604	0,00759	20,1213	0,01471369
25	0,008379	0,008405	0,008392	25,06964	0,00484973
30	0,009185	0,009203	0,009194	30,01798	0,00032328
35	0,009988	0,010003	0,0099955	34,963235	0,00135167
40	0,010795	0,010801	0,010798	39,91466	0,00728292
45	0,011586	0,01161	0,011598	44,85066	0,02230244
50	0,012385	0,012415	0,0124	49,799	0,040401
55	0,01318	0,013204	0,013192	54,68564	0,09882221
60	0,014005	0,013998	0,0140015	59,680255	0,10223687
65	0,014805	0,014805	0,014805	64,63785	0,13115262
70	0,015602	0,015602	0,015602	69,55534	0,19772252
				Suma	0,69965022
Desviación residual estandar				S1	0,2414626
				n	14
Desviación media residual estandar				Gm	0,0645

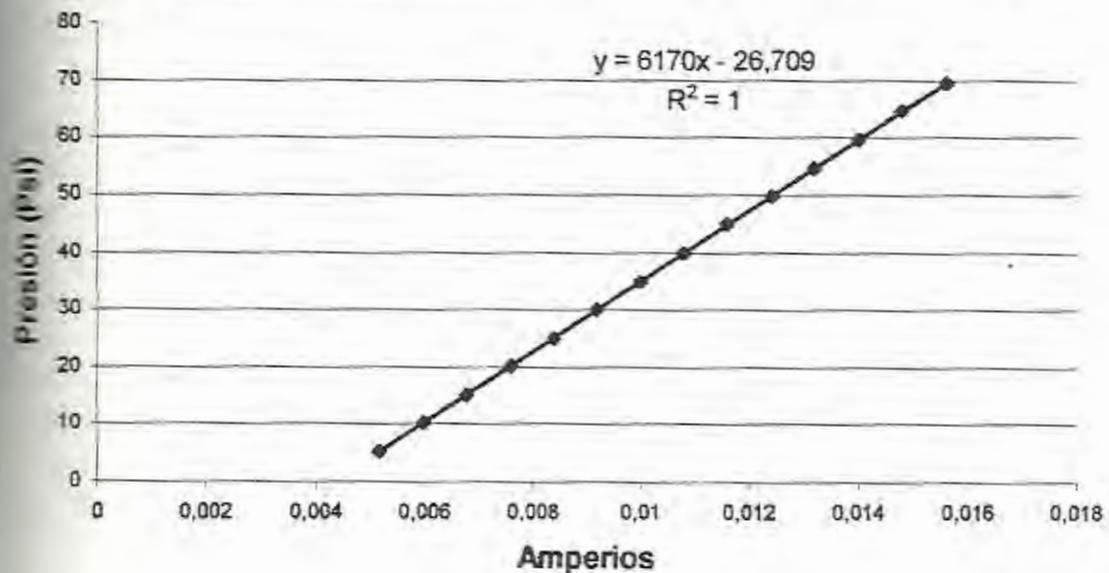


FIGURA 3-5CURVA DE CALIBRACIÓN DE 8-C3120124

TABLA 12 CALIBRACIÓN ALTA PRESIÓN: 8-C3120127

<b>Psi) = 6219.6x - 26.251</b>					
<b>Y (Psi)</b>	<b>Amp.(up)</b>	<b>Amp. (down)</b>	<b>mA(promed .)</b>	<b>Y*</b>	<b>(Y*-Y)2</b>
5	0,005005	0,005023	0,005014	4,9340744	0,004346185
10	0,005825	0,005833	0,005829	10,0030484	9,29274E-06
15	0,006627	0,006631	0,006629	14,9787284	0,000452481
20	0,00743	0,007442	0,007436	19,9979456	4,22056E-06
25	0,008242	0,00825	0,008246	25,0358216	0,001283187
30	0,009042	0,009044	0,009043	29,9928428	5,12255E-05
35	0,009852	0,009865	0,0098585	35,0649266	0,004215463
40	0,010666	0,010655	0,0106605	40,0530458	0,002813857
45	0,011459	0,011467	0,011463	45,0442748	0,001960258
50	0,012247	0,012277	0,012262	50,0137352	0,000188656
55	0,013055	0,013055	0,013055	54,945878	0,002929191
60	0,01386	0,013875	0,0138675	59,999303	4,85809E-07
65	0,01467	0,014666	0,014668	64,9780928	0,000479925
70	0,01547	0,01547	0,01547	69,966212	0,001141629
				Suma	0,019876057
Desviación residual estandar				S1	0,040698133
				n	14
Desviación media residual estandar				Gm	0,0109

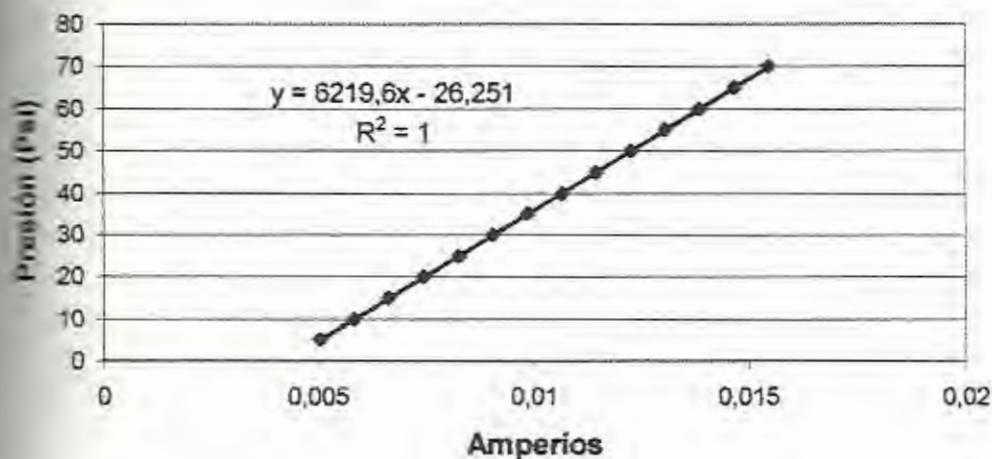


FIGURA 3-6 CURVA DE CALIBRACIÓN DE 8-C3120127

TABLA 13 CALIBRACIÓN ALTA PRESIÓN 8-C3119976

$Y^* \text{ (Psi)} = 6356.055x - 26.54$					
Y (Psi)	Amp.(up)	Amp. (down)	mA(promed.)	Y*	(Y*-Y)2
5	0,004866	0,005005	0,0049449	4,89006428	0,01208586
10	0,005677	0,005825	0,00573155	9,89007451	0,01208361
15	0,006474	0,006627	0,00651821	14,8900847	0,01208137
20	0,007245	0,00743	0,00730486	19,890095	0,01207912
25	0,008072	0,008242	0,00809151	24,8901052	0,01207687
30	0,008733	0,009042	0,00867817	29,8901154	0,01207462
35	0,009575	0,009852	0,00966482	34,8901256	0,01207237
40	0,010421	0,010666	0,01045147	39,8901359	0,01207013
45	0,011212	0,011459	0,01123813	44,8901461	0,01206788
50	0,012015	0,012247	0,01202478	49,8901563	0,01206563
55	0,012745	0,013055	0,01281143	54,8901665	0,01206339
60	0,013433	0,01386	0,01359809	59,8901768	0,01206114
65	0,014221	0,01467	0,01438474	64,890187	0,01205889
70	0,015101	0,01527	0,01517139	69,8901972	0,01205665
				Suma	0,16899753
Desviación residual estandar				S1	0,11867238
				n	14
Desviación media residual estandar				Gm	0,0317

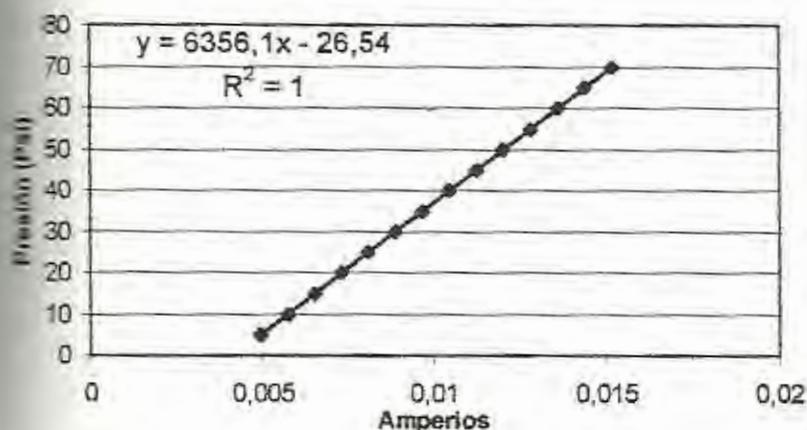


FIGURA 3-7 CURVA DE CALIBRACIÓN DE 8-C3119976

TABLA 14 CALIBRACIÓN ALTA PRESIÓN: 8-C3120304

$Y^*(\text{Psi}) = 6212.5x - 25.23$					
Y (Psi)	Amp.(up)	Amp. (down)	mA(promed .)	Y*	(Y*-Y)2
5	0,004832	0,004866	0,004849	4,8944125	0,01114872
10	0,005651	0,005677	0,005664	9,9576	0,00179776
15	0,006474	0,006474	0,006474	14,989725	0,00010558
20	0,007255	0,007245	0,00725	19,810625	0,03586289
25	0,008058	0,008095	0,0080765	24,9452563	0,00299688
30	0,00896	0,008933	0,0089465	30,3501313	0,12259189
35	0,00974	0,009675	0,0097075	35,0778438	0,00605965
40	0,010512	0,010521	0,0105165	40,1037563	0,01076536
45	0,01129	0,011312	0,011301	44,9774625	0,00050794
50	0,012126	0,012125	0,0121255	50,0996688	0,00993386
55	0,012885	0,012945	0,012915	55,0044375	1,9691E-05
60	0,013752	0,013733	0,0137425	60,1452813	0,02110664
65	0,014485	0,014521	0,014503	64,8698875	0,01692926
70	0,015292	0,015292	0,015292	69,77155	0,0521894
				Suma	0,29201552
Desviación residual estandar				S1	0,1559956
				n	14
Desviación media residual estandar				Gm	0,0417

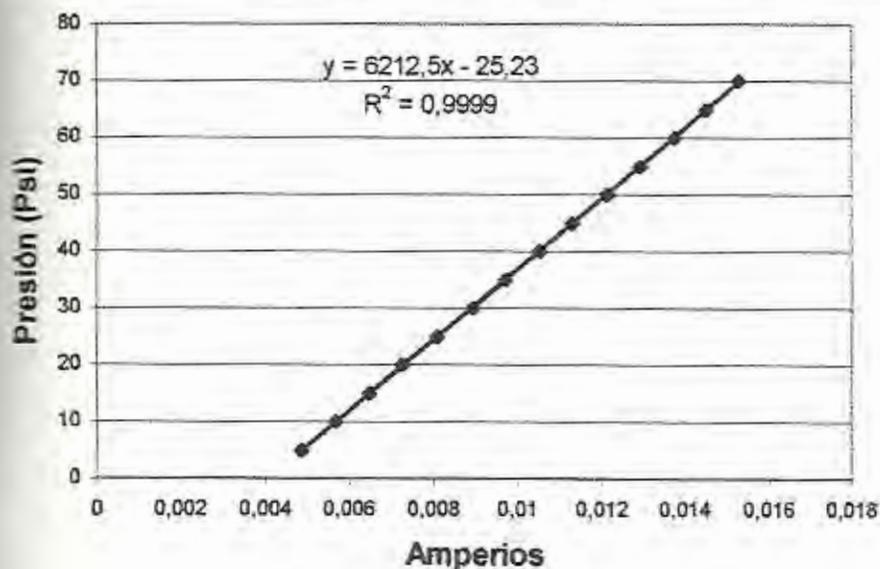


FIGURA 3-8 CURVA DE CALIBRACIÓN DE 8-C3120304

### 3.3. Sensor de baja presión

El sensor de baja presión fue calibrado siguiendo también un proceso desarrollado basado en la experimentación, de manera que me valí de un reservorio con altura graduada que existe en el laboratorio de Termofluidos de nuestra Facultad.

Así que realicé la curva de calibración altura de agua vs. miliamperios. Los implementos utilizados para esta calibración fueron los siguientes:

1. Reservorio graduado
2. Flexómetro
3. Computador: software Field Point Explorer
4. Fuente de agua.

El procedimiento llevado para esta calibración fue el siguiente:

1. Proveer de agua al reservorio y tomar lecturas cada 3 cm de altura
2. Trazar las curvas altura (cm) vs. miliamperios.

A continuación la tabla y la curva de calibración con la respectiva desviación media estándar que se explicó anteriormente.

TABLA 15 CALIBRACIÓN DE SENSOR KPSI N° 87

$$y = 22.427x - 88.186$$

<i>mA</i>	<i>Y (cm)</i>	<i>Y*</i>	<i>(Y*-Y)2</i>
3,97	0	0,84919	0,72112366
4,045	3	2,531215	0,21975938
4,533	14	13,475591	0,0005958
4,606	15	15,112762	0,14995327
4,733	18	17,960991	0,0015217
4,813	20	19,755151	0,05995103
5,006	24	24,083562	0,00698261
5,133	27	26,931791	0,00465247
5,261	30	29,802447	0,03902719
5,363	32	32,090001	0,00810018
5,499	35	35,140073	0,01962045
5,588	37	37,136076	0,01851668
5,718	39	40,051586	0,00266112
5,763	41	41,060801	0,00369676
		Suma	1,25616228
	Desviación residual estandar	<b>Sm1</b>	<b>0,19812893</b>
	Número de datos	n=	34
Desviación media	residual estandar	<b>σ<sub>m</sub></b>	<b>0,03397883</b>

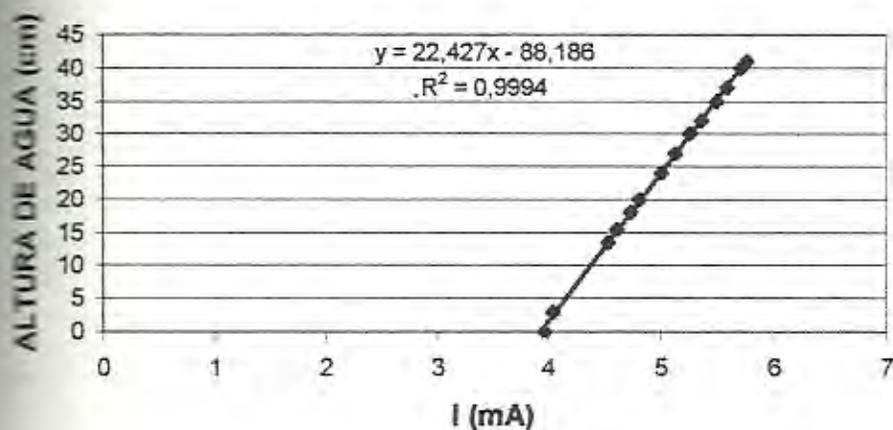


FIGURA 3-9 CURVA DE CALIBRACIÓN SENSOR DE BJA PRESIÓN # 87

### 3.4. Sensores de Fuerza

Para la medición de fuerza los sensores son dos celdas de carga, una para cada bomba y la calibración de estas celdas de carga se las realizó también por medio de un proceso desarrollado a partir de la experimentación. Las calibré a partir de masas patrones conocidos y fue necesaria primero su instalación en los dinamómetros.

Los implementos utilizados en esta calibración fueron:

1. Masas conocidas del calibrador de pesos muertos.
2. Portamasas con masa igual a 100 g.
3. Computador: software Field Point Explorer

El procedimiento utilizado para la calibración fue el siguiente:

1. Colocar el portamasas en el dinamómetro y tomar la lectura en la pantalla.
2. Colocar de manera gradual las masas desde la menor hasta la máxima y tomar las lecturas respectivas.
3. Trazar las curvas fuerza vs. milivoltios y calcular la respectiva incertidumbre.

Las tablas y los gráficos se muestran a continuación.

TABLA 16 TABLA DE CALIBRACIÓN DE CELDA DE CARGA BOMBA #2

$$Y^* = 4318.6x + 0.7457$$

mV.	Onzas	Y (Newton)	Y*(Newton)	(Y*-Y) <sup>2</sup>
-0,00055	0	0,000	-1,62953	2,65536802
0,000356	5	2,369	2,2831216	0,00735603
0,000953	15	5,147	4,8613258	0,08141941
0,001852	25	7,924	8,7437472	0,67125701
0,002435	35	10,702	11,261491	0,31278157
0,003038	45	13,480	13,8656068	0,1486926
0,00375	55	16,258	16,94045	0,46604136
0,004895	75	21,813	21,885247	0,00517158
0,005736	85	24,591	25,5171896	0,85762137
0,006208	95	27,369	27,5555688	0,03484939
0,006912	105	30,147	30,5958632	0,20177753
0,007473	115	32,924	33,0185978	0,00886485
0,008132	125	35,702	35,8645552	0,026352
0,008196	135	38,480	36,1409456	5,47117549
			Suma	10,9487282
Desviación residual estandar		S1		0,95519318
		n		14
Desviación media residual estandar		Gm		0,2553

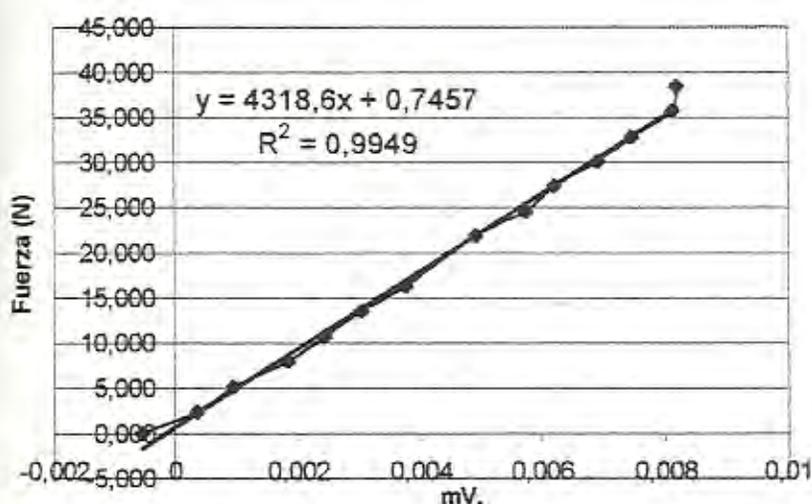


FIGURA 3-10 CURVA DE CALIBRACIÓN, CELDA BOMBA #2

TABLA 17 TABLA DE CALIBRACIÓN DE CELDA DE CARGA BOMBA #1

$$Y^* = 4340x + 2.8354$$

mV.	Onzas	Y (Newton)	Y*(Newton)	(Y*-Y) <sup>2</sup>	
-0,00057	0	0,00	0,3616	0,13075456	
-0,00084	5	2,37	2,47084	0,01039403	
0,000521	15	5,15	5,09654	0,00251268	
0,001205	25	7,92	8,0651	0,01978399	
0,00186	35	10,70	10,9078	0,04226222	
0,002554	45	13,48	13,91976	0,19338886	
0,00306	55	16,26	16,1158	0,02015769	
0,004339	75	21,81	21,66666	0,02151307	
0,004915	85	24,59	24,1665	0,1802946	
0,00545	95	27,37	26,4884	0,77526068	
0,005996	105	30,15	28,85804	1,66055869	
0,007275	120	34,31	34,4089	0,00913299	
0,008009	130	37,09	37,59446	0,2533601	
0,008783	140	39,87	40,95362	1,17664158	
			Suma	4,49601573	
Desviación residual estandar				S1	0,61210128
				n	14
Desviación media residual estandar				Gm	0,1636

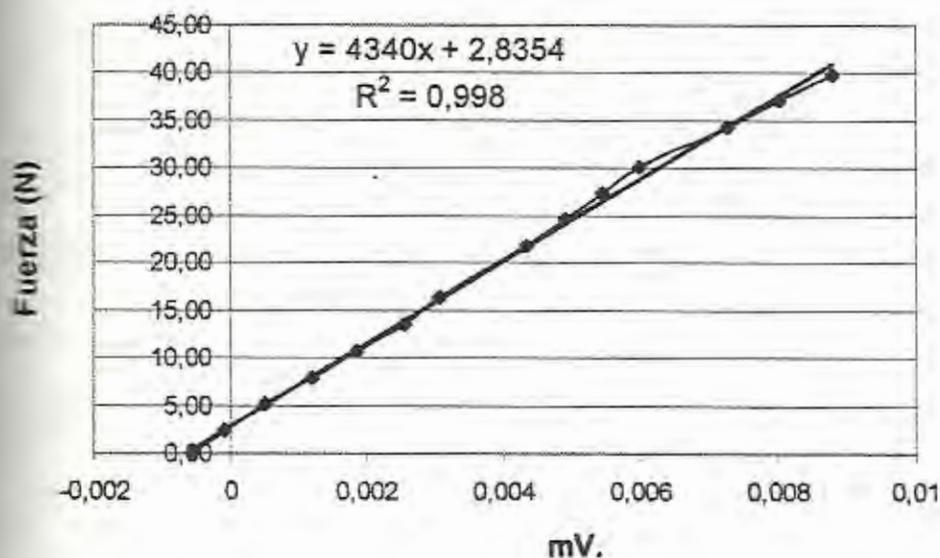


FIGURA 3-11 CURVA DE CALIBRACIÓN, CELDA BOMBA #1

De esta manera en la siguiente tabla aparecen las constantes de calibración de todos los sensores:

TABLA 18 ECUACIONES Y CONSTANTES DE SENSORES

Variable	Sensor	Ecuación	Unidades		Constante para Programa
			X	Y	
CAUDAL	Flujómetro #1	$Y = 0,0041x - 0,0131$	Pulso	lts./s	0,0041
	Flujómetro #2	$Y = 0,0042x - 0,144$	s/5seg	eg.	0,0042
ALTA PRESIÓN	8-C3120143	$Y = 6235,7x - 24,157$	Amp.	Psi	6235,7
	8-C3120013	$Y = 6194,8x - 24,891$	Amp.	Psi	6194,8
	8-C3120124	$Y = 6170x - 26,709$	Amp.	Psi	6170,0
	8-C3120127	$Y = 6219,6x - 26,251$	Amp.	Psi	6219,6
	8-C3119976	$Y = 6356,1x - 26,54$	Amp.	Psi	6356,1
	8-C3120304	$Y = 6212,5x - 25,23$	Amp.	Psi	6212,5
BAJA PRESIÓN	KPSI-87	$Y = 22,427x - 88,186$	mA	Cm de Agua	22,427
FUERZA	Celda #1	$Y = 4318,6x + 0,746$	mV	N	4318,6
	Celda #2	$Y = 4340x + 2,8354$	mV	N	4340

# CAPITULO 4

## 4. DESARROLLO DE PRACTICAS PARA ESTUDIANTES

### 4.1. Manejo general del equipo

Para el funcionamiento del sistema de adquisición de datos es necesario seguir los siguientes pasos:

- Conectar la caja pre-interfase, verificar las dos conexiones de entrada, la de salida y la conexión de alimentación.
- Revisar las conexiones en las bases de los módulos Field Point Explorer siguiendo el manual de conexiones del Apéndice G.
- Activar el software de adquisición de datos siguiendo los pasos de la tesis del Ing. Daniel Ramírez Campuzano (1).

#### 4.2. Cálculo de las curvas características de las bombas

El nuevo procedimiento experimental una vez accionado el software es el siguiente:

1. Al estar seguro de que la válvula de descarga está cerrada y que el dinamómetro está en su posición de encendido, incrementamos suavemente la velocidad de la bomba #1 hasta 2500 r.p.m.
2. El caudal lo regulamos mediante la válvula de descarga y para cada posición de esta, controlamos que la velocidad se mantenga constante.
3. Tomamos las lecturas de cabezal en las unidades seteadas en el programa, la señal de torque y caudal accionando la opción ADQUIRIR en el programa, de esta manera automáticamente llenamos una tabla de datos dentro del programa.
4. Incrementamos suavemente la velocidad de la bomba #2 hasta 1800 r.p.m. y repetimos los pasos 2 y 3 para la bomba #2.

Para los gráficos, solo accionamos la opción GRAFICAR y de manera automática aparecen las curvas de cabezal total ( $H_t$ ), potencia mecánica ( $P_m$ ), y eficiencia ( $\eta$ ), vs. caudal ( $Q$ ).

### 4.3. Bombas homólogas

El procedimiento experimental una vez accionado el software de adquisición es el siguiente:

1. Colocar las válvulas en la posición de trabajo de la bomba #1 (bomba prototipo).
2. Incrementamos suavemente la velocidad de la bomba #1 hasta 2000 r.p.m.
3. El caudal se regula mediante la válvula de descarga y, para cada posición de esta se controla que la velocidad se mantenga constante. Tomamos las lecturas de caudal y presiones de succión y descarga accionando la opción ADQUIRIR del programa para cada posición de válvula de descarga.
4. Poner las válvulas en la posición de trabajo de la bomba #2 y apagar la bomba #1.
5. Incrementar suavemente la velocidad de la bomba #2 hasta 2500 r.p.m.
6. Repetimos el paso 3 para la bomba #2.
7. Con estos resultados obtenidos para la bomba #2 (modelo) y mediante los grupos adimensionales, el programa calcula los parámetros: cabezal total ( $H_t$ ), potencia mecánica ( $P_m$ ), eficiencia ( $\eta$ ) y caudal ( $Q$ ), para bomba #1 (prototipo) trabajando a 2000 r.p.m.

8. El programa presenta las gráficas  $H_t$ ,  $P_m$  vs.  $Q$  estimadas y experimentales, el estudiante puede comparar los resultados.

#### 4.4. Bombas en serie y en paralelo

Para la operación en serie se siguen los siguientes pasos:

1. Se incrementa suavemente la velocidad de la bomba #1 hasta 2500 r.p.m. aproximadamente
2. Colocamos la válvula en posición de trabajo para conexión en serie.
3. Incrementamos suavemente la velocidad de la bomba #2 hasta 2000 r.p.m. a la vez que aumenta la de la bomba #1 a 3000 r.p.m.
4. El caudal se regula mediante la válvula de descarga de la bomba #2, y para cada posición de esta se mantiene las velocidades de las bombas constantes. Se toma lecturas de presión y caudal para ocho posiciones de la válvula de descarga accionando la opción ADQUIRIR en el programa.

Para la operación en paralelo se siguen los siguientes pasos:

1. Cebear la bomba #2 mediante la bomba #1.
2. Poner a funcionar las dos bombas en forma simultánea (con sus respectivas válvulas de descarga abiertas) hasta 1500 r.p.m. aproximadamente.
3. Colocar la válvula en posición de paralelo e incrementar las velocidades de bomba #1 y #2 hasta 3000 y 2000 r.p.m. respectivamente.
4. Para mínimo ocho posiciones de la válvula de descarga, tomar datos de cabezal total ( diferencia en metros de presión de descarga menos la succión) accionando la opción adquirir en el programa.

Para las gráficas Ht vs. Q, para las bombas conectadas en serie y paralelo, accionar la opción GRAFICAR y de manera automática los datos tomados son graficados en el programa.

Detalles acerca de la utilización del programa para la realización de las prácticas se encuentran en la tesis del Ing. Daniel Ramírez Campuzano.

# CAPITULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- El presente trabajo es parte de un tópico que en conjunto con el desarrollo de un programa en el lenguaje Labview 5.0 forma el Sistema Completo de Adquisición de Datos en base a un computador y aplicando el Sistema Modular Field Point como interfase entre las señales de campo y el computador.
- Conforme se observan las señales en el osciloscopio, la tarjeta pre-interfase, la organización del cableado, la calibración de los sensores, cumplen con su objetivo, el cual es llevar las variaciones de los

fenómenos físicos hasta el equipo modular Field Point y poder identificar cada señal con su respectivo sensor.

- Con la ayuda del programa realizado en Labview 5.0 y del programa propio de configuración del equipo modular, el Field Point Explorer, las variaciones de caudal, presión, rpm y fuerza pueden ser monitoriadas y registradas en las distintas prácticas que se realizan en el Banco de Bombas.
- Toda la instalación realizada es independiente de algún requerimiento del programa desarrollado para las prácticas en Labview, de tal manera que las señales que llegan al sistema modular pueden ser llevadas sin ningún problema hacia otro programa compatible con el equipo modular Field Point y su programa Field Point Explorer.
- Las señales que se actualizan de manera inmediata en el monitor cuando se realizan las prácticas son las de los siete sensores de presión, mientras que las señales de flujo y rpm dependen de la base de tiempo aplicada en el contador CTR-500, entregan resultados cada intervalo de tiempo; a su vez, las celdas de carga deben ubicarse, mediante el tornillo del dinamómetro, en la posición adecuada para una correcta lectura.

- Los únicos sensores que no tienen curva de calibración son los optoacopladores, pero en el programa se tiene una ecuación lineal en función del número de dientes y la base de tiempo para obtener frecuencia. Se comprobó la linealidad de la curva de calibración de los demás sensores utilizados.
- Los resultados que se han obtenido de las prácticas tienen una mejor precisión que las anteriores y se acercan más a las curvas originales de las bombas.

#### RECOMENDACIONES

- Los sensores de presión, flujo y celdas de carga deben ser calibrados por lo menos una vez al año, en concordancia con la norma INEN 17025.
- No conectar la alimentación de energía de los módulos a un tomacorriente que esté mal aterrizado, de lo contrario pueden haber lecturas erróneas sobre todo en los sensores de flujo y celdas de carga por su sensibilidad.

- El agua del depósito debe estar libre de impurezas ya que pueden llegar a obstruir los sensores de presión y la turbina que trabaja con el sensor electromagnético.
  
- Es posible crear otro tipo de práctica con curvas diferentes, observando la relación entre cualquier par de variables que tomemos, solamente programando en Labview o en otro lenguaje compatible con los requerimientos de los módulos Field Point.
  
- Al momento de realizar las prácticas no es necesario revisar las conexiones de las borneras, sino solamente las conexiones de la caja pre-interfase y de la caja de módulos Field Point.
  
- A futuro puede incluirse un sistema de control para las velocidades de los motores de las bombas mientras que las válvulas podrían ser reemplazadas por electro-válvulas o válvulas neumáticas que puedan ser manipuladas directa o indirectamente mediante señales eléctricas y además debe considerarse la adquisición de módulos de salida de datos FP-AO. De esta manera completaríamos la automatización de todo el equipo a través del computador.

- En las materias de Sistemas de Control e Instrumentación Básica que se dictan en nuestra Facultad, podría darse una introducción al lenguaje de programación Labview y con el interés que el estudiante participe, se podría programar el manejo y las prácticas de otros equipos o conjunto de equipos como la planta de generación de vapor por ejemplo; inclusive, mejorar los programas realizados para los presentes equipos.

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

### PROPIEDADES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM741

El amplificador operacional típico es, como muestra la figura de diagrama equivalente del OPAMP, un dispositivo analógico consistente en unos treinta transistores y resistencias que se han incorporado en un chip sencillo mediante la tecnología de los circuitos integrados. Otros componentes, tales como capacitores y diodos también pueden formar parte integrante del dispositivo.

Existe una amplia variedad de amplificadores operacionales, diferenciándose entre ellos según la ganancia, las impedancias de entrada y salida, el voltaje permitido, la velocidad y la potencia máxima.

Un amplificador operacional comercial típico va colocado en una caja cerámica o epoxi de 8 pines de conexión como se muestra en la figura de principales representaciones del OPAMP.

Los amplificadores operacionales se emplean en redes de circuitos con diversas combinaciones, tales como circuitos amplificadores de señales de intensidad de corriente o mediciones de potencial, circuitos de realimentación, mediciones de resistencia o de conductancia y muchas otras aplicaciones entre las cuales se encuentran los circuitos básicos amplificador

no inversor y comparador, así como el circuito seguidor de voltaje que son los que he utilizado en el presente trabajo.

Las principales aplicaciones de este circuito integrado incluyen lazos de realimentación que están compuestos por elementos (resistencias) externos a los terminales del OPAMP este arreglo se denomina operación de bucle cerrado (closed-loop gain); la ganancia del voltaje y la impedancia de entrada del amplificador total son casi completamente dependientes del valor de las resistencias externas, e independientes de las características de ganancia interna del OPAMP.

Hay dos puntos que han sido establecidos para el análisis de los circuitos con los OPAMP:

- ✓ El voltaje diferencial de entrada a un OPAMP es virtualmente cero
- ✓ La corriente que fluye a través de los terminales de entrada diferencial es virtualmente cero.

A partir de estos puntos parte todo el análisis que se realiza en las diferentes aplicaciones de estos circuitos integrados.

Otro aspecto importante acerca de los circuitos OPAMP es el *problema del desbalance*. Este problema hace que el voltaje de salida no sea cero cuando el voltaje de entrada es cero. En términos gráficos la curva de transferencia, que relaciona los voltajes de entrada y salida no pasa por el origen, como

Podemos observarlo en las gráficas de las curvas típicas de eficiencia. Este desbalance varía de un OPAMP a otro del mismo tipo y aunque este problema podría parecer serio, se resuelve al OPAMP un pequeño voltaje de entrada fijo de magnitud y polaridad adecuada para cancelar el desbalance. Este pequeño voltaje fijo se llama *voltaje de desbalance de entrada*. El voltaje de desbalance de entrada se ajusta hasta que el voltaje de salida  $V_o$  sea cero cuando el voltaje de entrada  $V_{in}$  es cero. Entre las formas prácticas de aplicar este pequeño voltaje se encuentra la conexión de un potenciómetro entre los dos terminales de nulidad (offset null) y su contacto móvil a la fuente de voltaje negativo, para luego ajustar hasta cancelar el desbalance. Esta fue una de las alternativas utilizadas en el circuito comparador. El valor de 10 k $\Omega$  responde al valor exigido en las características técnicas como se muestra en las gráficas mencionadas.

Otra alternativa es la de minimizar la amplitud de la corriente que ingresa al OPAMP ya que la corriente interna que circula a través del OPAMP y que es la causa del problema del desbalance es  $\beta$  veces la corriente de entrada. Esta fue la alternativa escogida para el circuito amplificador ya que la distribución de las resistencias y características propias del circuito electrónico lo exigían.

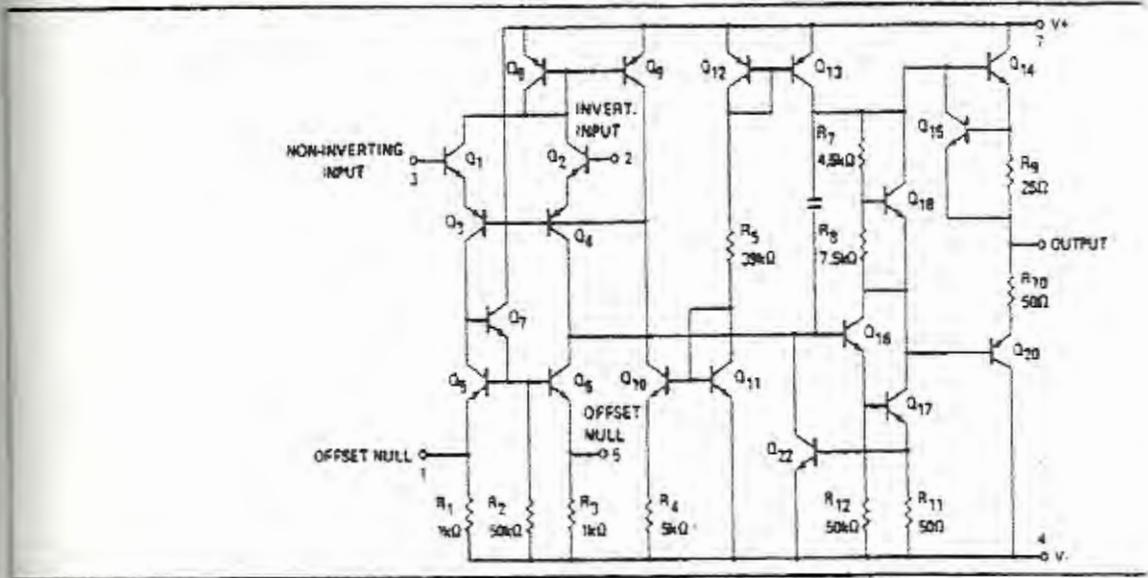
## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM741

Electrical Characteristics											
Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_D \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \leq 500\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_D \leq 500\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 20\text{V}$	$\pm 10$			$\pm 15$			$\pm 15$			mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							nA/°C
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		40	500		90	300	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	$\mu\text{A}$
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	5.0		0.3	2.0		0.3	2.0		M $\Omega$
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $V_S = \pm 20\text{V}$	0.5									M $\Omega$
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							$\pm 12$	$\pm 13$		V
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				$\pm 12$	$\pm 13$					V
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$ , $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$	50			50	200		20	200		V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$ , $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$	32			25			15			V/mV
	$V_S = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$ $V_S = \pm 10\text{V}$ , $V_O = \pm 5\text{V}$	10									V/mV
											V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \geq 2\text{ k}\Omega$	$\pm 16$									V
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \geq 2\text{ k}\Omega$				$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$		$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$		V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	25	35		25			25		mA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10		40							mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_D \leq 10\text{ k}\Omega$ , $V_{CM} = \pm 12\text{V}$ $R_S \leq 500\Omega$ , $V_{DM} = \pm 12\text{V}$	80	95		70	90		70	90		dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ to $\pm 5\text{V}$ $R_D \leq 500\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	86	96		77	96		77	96		dB
Transient Response	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain	Rise Time		0.25	0.8		0.3		0.3		$\mu\text{s}$
		Overshoot		5.0	20		5		5		%
Bandwidth (Note 6)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/ $\mu\text{s}$
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ $V_O = \pm 15\text{V}$		80	150		90	85		50	95	mW
	LM741A $V_S = \pm 20\text{V}$ $I_A = I_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			165							mW
LM741	$V_S = \pm 15\text{V}$ $I_A = I_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			135							mW
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $I_A = I_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$					60	100				mW
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $I_A = I_{AMAX}$ $T_A = T_{AMAX}$					45	75				mW

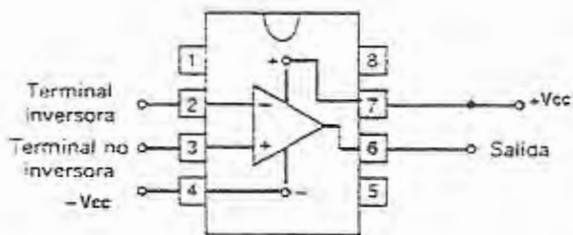
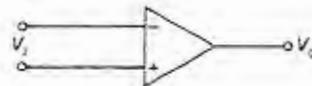
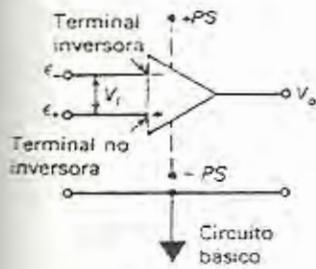
Note 2: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

# DIAGRAMA EQUIVALENTE DEL OPAMP LM741

## EQUIVALENT CIRCUIT



## PRINCIPALES REPRESENTACIONES DEL OPAMP LM741



BIBLIOTECA DE LA UNAM  
F. I. M. C. A.

## APÉNDICE B

### CABLES MULTICONDUCTOR BLINDADOS



#### **Descripción general:**

Los cables multiconductores blindados están constituidos por 5, 6, 10, 12, 18 ó 25 conductores de cobre suave estañado, aislamiento de policloruro de vinilo (PVC) semirígido, identificados por el color del aislamiento, blindaje de cinta poliéster aluminizada y malla trenzada de cobre estañado, cubierta exterior de policloruro de vinilo (PVC).

#### **Especificaciones :**

Los cables multiconductor blindado cumplen con las siguientes especificaciones:

**ESTILOS 1061, 2448 Y 2464**

### **Principales aplicaciones:**

- Estos cables se usan en sistemas de comunicación y computación para transmisión de datos en redes punto a punto, sistemas de control.
- En general donde se requieran transmitir señales eléctricas de baja potencia con protección contra interferencias electromagnéticas.

### **Características :**

- Tensión máxima de operación: 300 V.
- Temperatura máxima de operación en el conductor: 80°C.
- Conductor calibre 0.205 1 mm<sup>2</sup> (24 AWG) en formación de cordón (7 hilos 32 AWG) a base de cobre estañado.
- Malla trenzada de cobre estañado con un 85% de cubrimiento.
- Cinta de poliéster aluminizada que en combinación con la malla proporcionan un 100% de cubrimiento.
- La cubierta exterior es en color gris.

### **Ventajas :**

- Los conductores estañados facilitan el proceso de soldadura.
- Blindaje con 100 % de cubrimiento lo que ofrece protección en bajas y altas frecuencias.

**APÉNDICE C**  
**CARACTERÍSTICAS DE SENSORES UTILIZADOS**

**CELDAS DE CARGA**

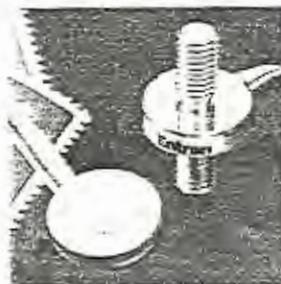


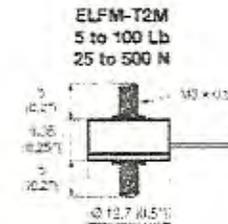
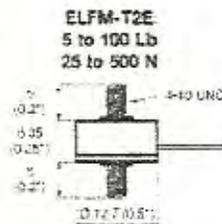
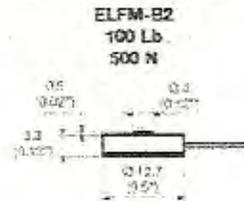
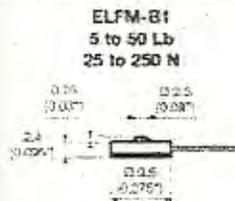
FIG. N° 1 ELFM

**CELDAS DE CARGA TIPO SUBMINIATURA**

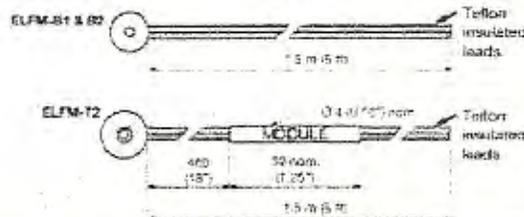
Gran estabilidad

Las celdas de carga del tipo subminiatura, con un diámetro de 9.5 mm, son fabricadas en acero inoxidable para largo tiempo de uso. Esta serie incluye hilos metálicos de deformación para una excelente estabilidad y exactitud. Estas celdas de carga vienen en una variedad de tamaños para medición de fuerza en tensión o compresión, para nuestra aplicación, el rango de fuerza es de máximo 50 N.

## ELFM-B1, -B2 & T2



### WIRING



(Dim: mm (inches))

## ELFM Series

BODY STYLES	Lb RANGES "FS" (+ for -T)	N RANGES "FS" (+ for -T)	OVERRANGE LIMIT	OUTPUT "FSO" nom. (+ for -T)
ELFM-B1 & -T2	5	25	2x FS	2 mV/V
ELFM-B1 & -T2	10	50	1.5x FS	2 mV/V
ELFM-B1 & -T2	25	125	1.5x FS	2 mV/V
ELFM-B1 & -T2	50	250	1.5x FS	2 mV/V
ELFM-B2 & -T2	100	500	1.2x FS	2 mV/V

### EXCITATION:

### BRIDGE IMPEDANCE:

### SENSING TECHNOLOGY:

### NON-LINEARITY:

### HYSTERESIS:

### DEFLECTION AT "FS":

### THERMAL ZERO SHIFT:

### THERMAL SENSITIVITY SHIFT (TSS):

### OPERATING TEMPERATURE:

### COMPENSATED TEMPERATURE:

### ZERO OFFSET AT 20°C (70°F):

### NOTE:

### CALIBRATION:

### BODY MATERIAL:

☐ "Off-the-Shelf" Stocking Program

5VDC

350 Ω

Metallic Foil

-B: ±0.25%FSO -T: ±0.5%FSO

-B: ±0.25%FSO -T: ±0.5%FSO

0.025 to 0.075mm (0.001 to 0.003") nom.

0.02%/°C (0.01%/°F)

0.02%/°C (0.01%/°F)

-60°C to 120°C (-65°F to 250°F)

15°C to 70°C (60°F to 160°F)

±2%FSO typ.

-B: Compression (+Signal Output for Compression)

-T: Tension/Compression (+Signal Output for Tension)

-B: In Compression -T: In Tension

Stainless Steel

## SENSORES DE ALTA PRESIÓN

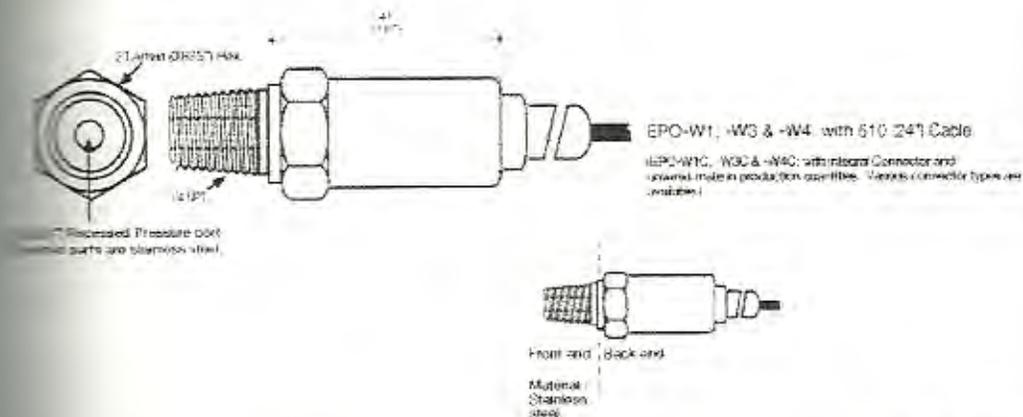


### EPO

Los sensores EPO de la casa Entran son diseñados de manera que su diafragma de acero inoxidable resistente a la corrosión y otros elementos permiten durabilidad en la aplicación exigida. Este sensor guarda normas estándar en cuanto a tamaño, rosca  $\frac{1}{4}$  NPT, su circuito eléctrico interno y su conexión eléctrica con una longitud de 610 mm (24") de cable.

A continuación se presentan las tablas de características técnicas de los sensores utilizados, considerando que los sensores de la presente aplicación son los sensores EPO-W4, que trabajan con una alimentación de 10-30 VDC y cuya señal de salida es de 4-20 mA, tal como lo describí en capítulos anteriores.

## EPO-W1, EPO-W3 and EPO-W4



[Dim. Toler. Included]

### EPO Series

PSI RANGES (Note 1)	BAR RANGES *PS* (Note 1)	PRESSURE LIMIT	RESONANT FREQUENCY nom. (Note 2)	OUTPUTS nom.			CNL&H (%FSO)	THERMAL ZERO SHIFT (50°C / 100°F)
				W1	W3	W4		
5	3.5	2 XFS	20 KHz	(not available)	1-5 V	4-20 mA	±1%	± 2% FSO
100	7	2 XFS	30 KHz	0-100 mV	1-5 V	4-20 mA	±1%	± 2% FSO
350	17	2 XFS	45 KHz	0-100 mV	1-5 V	4-20 mA	±1%	± 2% FSO
300	35	2 XFS	70 KHz	0-100 mV	1-5 V	4-20 mA	±1%	± 2% FSO
1000	70	2 XFS	100 KHz	0-100 mV	1-5 V	4-20 mA	±1%	± 2% FSO
3500	175	2 XFS	150 KHz	0-100 mV	1-5 V	4-20 mA	±1%	± 2% FSO
1000	350	2 XFS	225 KHz	0-100 mV	1-5 V	4-20 mA	±1%	± 2% FSO
3500	700	2 XFS	325 KHz	0-100 mV	1-5 V	4-20 mA	±1%	± 2% FSO

Note: 1 = Vented (gauge/relative) Pressure Reference 1. Temperatures expressed in °F for PSI Ranges and °C for BAR Ranges.  
 2 = Resonant Frequency for sensor's diaphragm within the pressure port cavity. Usable frequency is 500Hz nom. Amplifier Bandwidth is 30dB is 1KHz on W3 and W4.

	W1	W3	W4
OPERATION:	5VDC	10-30VDC	10-30VDC
CIRCUIT CURRENT:	5mA nom.	10mA max.	-
MINIMUM LOAD RECOMMENDED:	1MΩ min.	5KΩ min.	5.1KΩ
THERMAL SENSITIVITY SHIFT (TSS):	±2%/55°C (±2%/100°F)	±2%/55°C (±2%/100°F)	±2%/55°C (±2%/100°F)
OPERATING TEMPERATURE:	20°C to 85°C (-4°F to 185°F)	-20°C to 85°C (-4°F to 185°F)	0°C to 85°C (30°F to 180°F)
COMPENSATED TEMPERATURE:	0°C to 85°C (30°F to 180°F)	0°C to 85°C (30°F to 180°F)	±2% FSO typ.
ZERO OFFSET AT 21°C (70°F):	±0mV typ.		
CONFORMANCE:	Type W1 only		
PRESSURE REFERENCE:	1 = Vented (gauge/relative) [not available on Connector versions]		
	2 = Sealed at 1 atmosphere on Connector version only		

Off-The-Shelf® Stocking Program

**Options and Accessories:**

**COMPENSATED TEMPERATURE RANGES:**

**STANDARD** = 0°C to 55°C (30°F to 130°F)  
**Z** = Non-standard, contact Entran.

**EXCITATION VOLTAGE:**

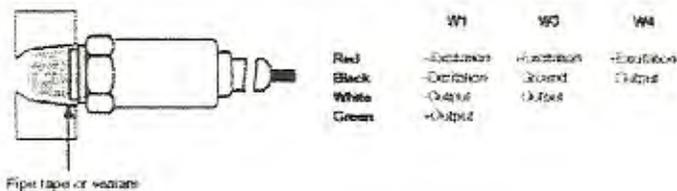
**STANDARD = 5VDC**  
**V00** = Replace '00' with Excitation between 1 and 5. If less than 5, Sensitivity (FSO) will decrease accordingly.  
**V1** = Non-standard Excitation with standard FSO and non-standard TSS, contact Entran.

**Model Number construction:**

250 Series	W1 Body	1 Reference	2 Range	8 Units	7/2 Cuscons
	W1	5	(K used for 1000 Ex 1K)	8 = BAR 9 = PGT	V1 thru V5 or V1 Z
	W3	1			
	W4	1			

**"On-The-Shelf" Stocking Program**

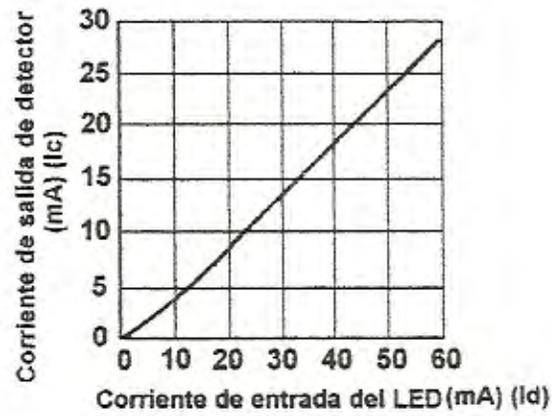
**Installation:**



## CARACTERÍSTICAS DE LOS OPTOACOPLADORES

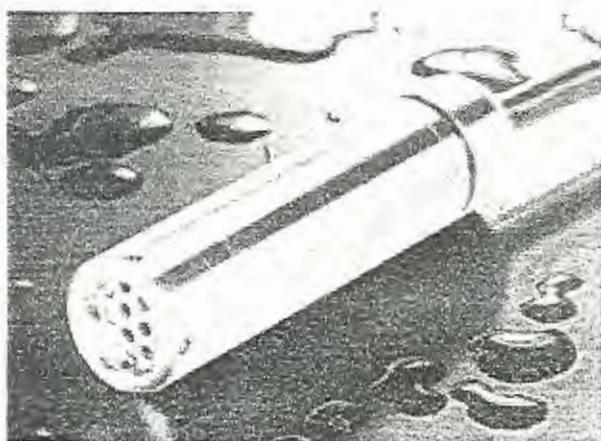
Parámetro	Símbolo	Condiciones de prueba	Min.	Típico	Máx.	Unidad
<b>Emisor</b>						
Voltaje inverso de ruptura	$V_{(BR)R}$	$I_R = 10\mu A$	6	-	-	V
Voltaje en sentido directo	$V_F$	$I_F = 60mA$	-	-	1.7	V
Corriente inversa	$I_R$	$V_R = 5V$	-	-	100	mA
Capacitancia	$C_i$	$V = 0, f = 1MHz$	-	30	-	pF
<b>Detector</b>						
Voltaje de ruptura colector-emisor	$V_{(BR)CEO}$	$I_C = 1mA$	55	-	-	V
Voltaje de ruptura emisor-colector	$V_{(BR)ECO}$	$I_E = 100\mu A$	6	-	-	V
Collector-Emitter Dark Current	$I_{CEO}$	$V_{CE} = 45V$	-	-	100	mA
Capacitancia	$C_{ce}$	$V_{CE} = 5V, f = 1MHz$	-	3.3	5.0	pF
<b>Acoplado</b>						
Corriente del fotodiodo.	$I_{CE(on)}$	$V_{CE} = 5V, I_F = 5mA$	0.15	-	-	mA
		$V_{CE} = 5V, I_F = 20mA$	1.0	-	-	mA
		$V_{CE} = 5V, I_F = 30mA$	1.9	-	-	mA
Voltaje de saturación colector-emisor	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 1.8mA, I_F = 30mA$	-	-	0.4	V
Tempo de encendido.	$t_{on}$	$V_{CC} = 5V, I_F = 30mA, R_L = 2.5k$	-	8	-	$\mu s$
Tempo de apagado.	$t_{off}$	Ohms	-	50	-	$\mu s$

## CURVA ESTÁTICA DE LOS OPTOACOPLADORES



**SENSOR DE BAJA PRESIÓN**  
**TRANSDUCTOR INDUSTRIAL SUMERGIBLE DE PRESIÓN**  
**SERIES 700**

**Certificado ISO-9001**



**Características**

- Alta precisión estática y repetibilidad
- Acero inoxidable 316 o Titanio
- Empaque robusto y pequeño
- Rangos de presión disponibles para uso

- Prueba, calibración y serializado 100% computarizado
- Cable con sistema sellado

Esta serie de la familia de sensores de presión sumergible es específicamente diseñada para ambientes rigurosos para control de nivel de líquidos, ellos pueden ser configurados para aprovechar la eficiencia de acuerdo a sus especificaciones bajo las más adversas condiciones.

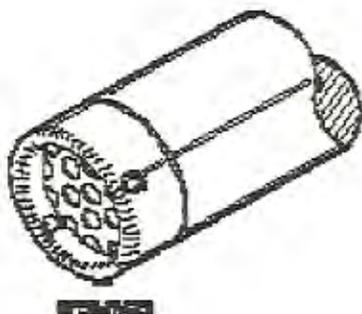
Estos transductores incorporan los últimos avances en la tecnología de los sensores de presión piezoresistivos. Una aumento de estabilización es el vapor depositado directamente en la celda de carga; un diafragma de acero inoxidable 316 o titanio soldado y una celda de presión piezoresistiva es usada para contacto con el medio.

La carcasa del transductor es un diseño construido de acero inoxidable 316 resistente a la corrosión.

## Accesorios:

### Tapa instalable

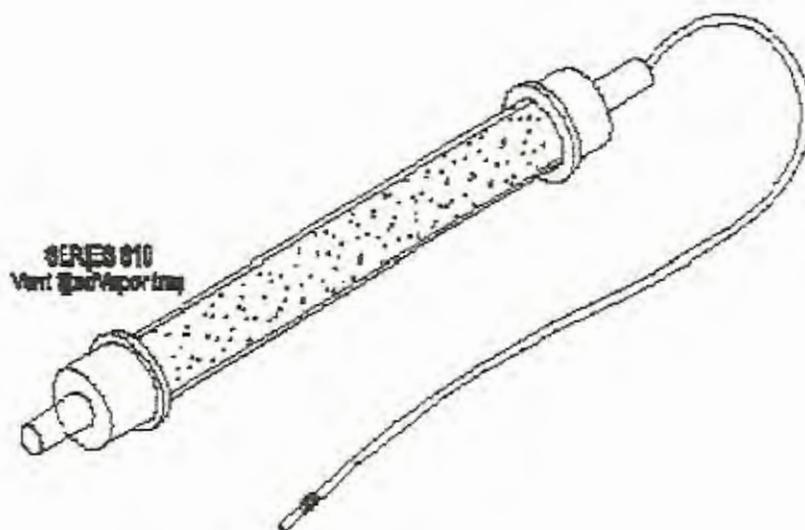
La estandar tapa sumergible de cara abierta permite un máximo contacto con el líquido del medio y es ideal para aplicaciones de líquidos con variadas densidades. La rosca NPT macho de 1/4" indica que su uso no es solo para propósitos de calibración.



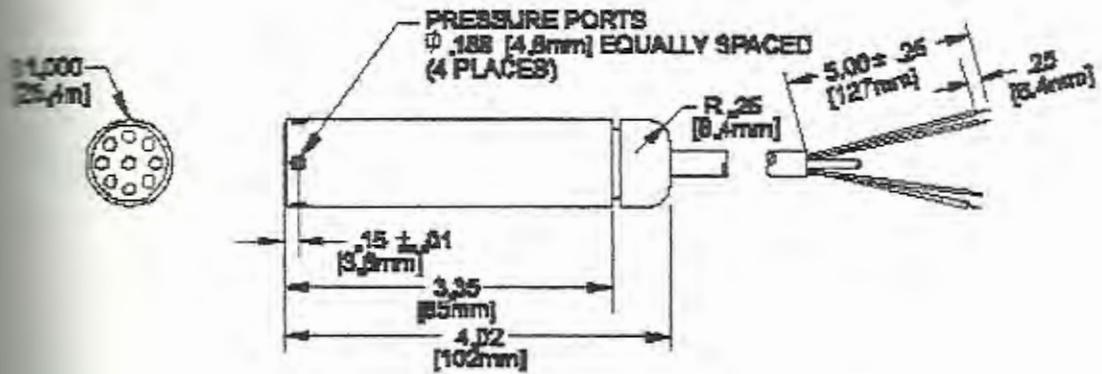
### Protección de humedad

Estos transductores sumergibles son equipados con un cable de respiradero, el cual, provee de una referencia atmosférica para el sensor, la cual es necesaria para garantizar la mayor exactitud posible cuando se realiza una medición de nivel. Este cable está protegido contra el vapor de agua del aire, el cual podría condensarse y producir en el sensor un offset diferente al real o causar un daño permanente en el sensor. Esta protección es un filtro que

inicialmente es de color azulado, pero que conforme hará su función se tornará de color rosado, lo cual indica que debe ser periódicamente reemplazado.

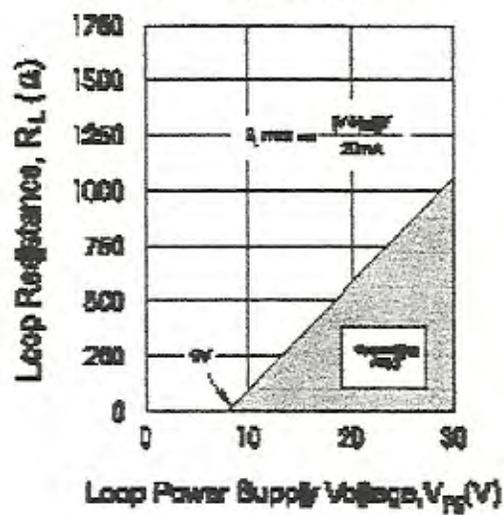


## DATOS TÉCNICOS



ELECTRICAL TERMINATION		
(2,3 or 4) 22AWG CONDUCTORS IN A SHIELDED CABLE WITH SENSOR BREATHER AND POLYURETHANE JACKET		
(+)	420 mA	RED + EXCITATION BLACK - EXCITATION
(-)	0.5 VDC	RED + EXCITATION BLACK - EXCITATION WHITE + SIGNAL
(2,5,8)	mV	RED + OUTPUT BLACK + EXCITATION WHITE - EXCITATION GREEN - OUTPUT
ALL		BLUE CABLE SHIELD

### LOOP RESISTANCE vs. LOOP POWER SUPPLY

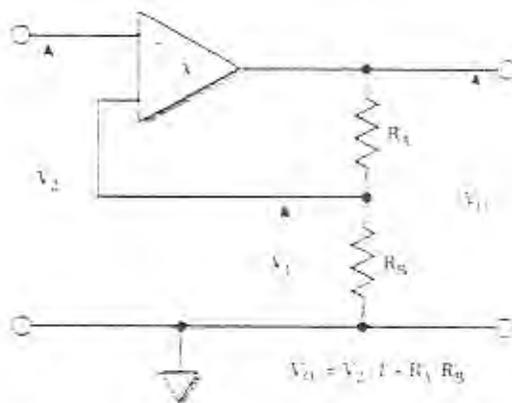


## APÉNDICE D

### CIRCUITO BÁSICO AMPLIFICADOR NO INVERSOR

En la figura se muestra un OPAMP conectado como amplificador no inversor. Como su nombre lo indica, el voltaje de salida de un amplificador no inversor, tiene la misma polaridad del voltaje de entrada.

Haciendo uso de los puntos que han sido establecidos para el análisis de los circuitos con los OPAMP, el hecho de que el voltaje diferencial entre las terminales de entrada sea cero significa que el voltaje que aparece en la terminal negativa (inversora) es el mismo que el de la entrada positiva:  $V_1 = V_2$  por lo tanto, la caída de voltaje a través de  $R_B$  es  $V_1$ , dado que el extremo inferior de  $R_B$  está aterrizado.



La corriente a través de  $R_B$  está dado por la ley de Ohm,

$$I_{in} = V_1 / R_B$$

La dirección de  $I_{in}$  depende de la polaridad de  $V_1$ . Considerando ahora la caída del circuito y dado que existe una retroalimentación desde la salida hasta la entrada negativa que está al potencial  $V_{in}$ , la caída de voltaje a través de  $R_A$  está dada por:

$$V_A = V_o - V_1$$

De la ley de Ohm,

$$I_A = V_A / R_A = (V_o - V_1) / R_A$$

Ahora haciendo uso de que  $I_{in} = I_A$  ya que el punto dos de los que han sido establecidos para el análisis de los circuitos con los OPAMP, establece que la corriente que circula entre los pines positivo y negativo de entrada es cero, podemos decir que,

$$(V_o - V_1) / R_A = V_1 / R_B$$

$$V_o / R_A = V_1 / R_B + V_1 / R_A = V_1 (R_A + R_B) / (R_A \cdot R_B)$$

$$V_o / V_1 = (R_A + R_B) / (R_B)$$

$$V_1 = V_2 \text{ (De acuerdo con primer punto para análisis)}$$

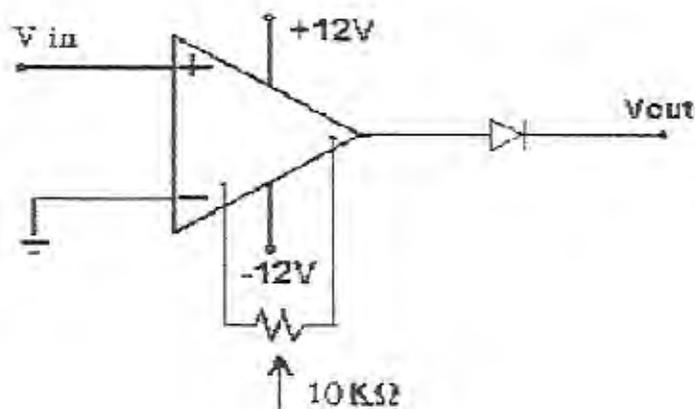
$$V_o = V_2 (1 + R_A / R_B)$$

De esta manera comprobamos que la ganancia de bucle cerrado depende solamente del valor de las resistencias externas y no del OPAMP en sí mismo.

Para aplicaciones de bajo voltaje y alta o intermedia frecuencia se asume la ganancia (A) de hasta 10 veces aproximadamente debido a la experiencia en cuanto a la estabilidad y fidelidad de las señales.

### CIRCUITO BÁSICO COMPARADOR

Un OPAMP raramente se utiliza en la configuración de bucle abierta (sin retroalimentación) porque su ganancia es tan alta que dificulta el balance de voltaje de salida entre los puntos de saturación positivo y negativo. Una aplicación en la cual se utiliza bucle abierto es el comparador de voltaje, el cual, hace lo que su nombre implica. Compara los voltajes en los pines de entrada y señala cual de ellos es mayor.



Refiriéndonos al comparador de la figura, que es la aplicación que se ha realizado, la entrada inversora está conectada a tierra y la fuente externa  $V_{in}$

está conectada a la entrada no inversora. El circuito hace la comparación entre  $V_{in}$  y tierra (0 V). Si  $V_{in}$  es mayor que 0 V, lo cual significa que es positivo, la salida pasará a saturación positiva, idealmente +12, pero realmente es menos. Si  $V_{in}$  es menor que 0 V, es decir negativo, la salida pasará a saturación negativa, casi -12V. Siempre que  $V_{in}$  exceda una fracción de milivoltio, la salida pasará a uno o al otro de estos extremos debido a la ganancia interna muy alta del OPAMP. De esta manera el voltaje de salida de un comparador de voltaje indica el resultado de la comparación. La presencia de una resistencia variable responde al problema de desbalance explicado en las características técnicas del OPAMP.

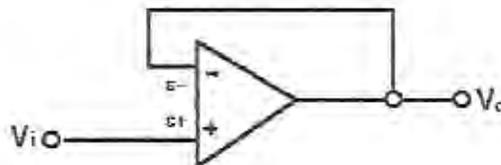
## CIRCUITO SEGUIDOR DE VOLTAJE

La figura siguiente representa un circuito seguidor de voltaje, este circuito es usado porque su impedancia de entrada es muy grande ( la impedancia interna del OPAMP es en términos de megaohmios) mientras que su impedancia de salida es pequeña, de esta manera podemos comunicar voltajes de fuentes con impedancia grande con dispositivos de medición de baja impedancia.

En este circuito la entrada se conecta a la terminal no inversora e incluye un circuito de retroalimentación que comprende la terminal inversora originando una ganancia unitaria. Utilizando la condición de que un amplificador operacional actuará de forma que se igualen  $E_+$  y  $E_-$  y teniendo presente que  $E_+$  y  $V_o$  están conectados a un conductor, se puede escribir el siguiente conjunto de igualdades:

$$V_i = E_+ \text{ es aproximadamente igual a } E_- = V_o$$

y aunque este circuito tenga una ganancia de voltaje igual a uno ( $V_o/V_i$ ) puede obtenerse una ganancia de potencia muy grande.



Para mostrar el efecto de la gran diferencia en impedancia, se define la ganancia de potencia como  $P_o/P_i$ , en la que  $P_o$  es la potencia de salida del amplificador operacional y  $P_i$  es la potencia de entrada. Sustituyendo en esta ecuación la ley de la potencia ( $P = IV = V^2/R$ ) y la ley de Ohm, y recordando que en este circuito amplificador operacional  $V_o$  y  $V_i$  son aproximadamente iguales, se obtiene la expresión:

$$\text{Aumento de potencia} = P_o/P_i = I_o V_o / I_i V_i = V_o^2 Z_i / V_i^2 Z_o = Z_i / Z_o$$

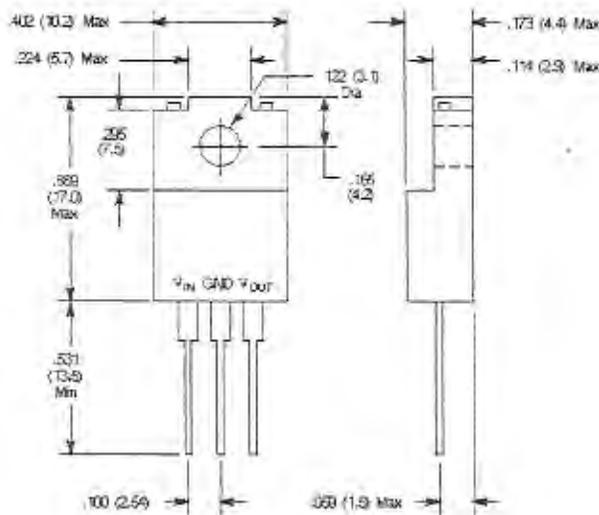
En la que  $Z_i$  y  $Z_o$  son las impedancias de entrada y salida del amplificador operacional. Este resultado es importante porque significa que el seguidor de voltaje casi no tendrá corriente a la entrada pero, a través de los componentes del circuito del amplificador operacional y de la fuente de alimentación, puede suministrar grandes corrientes a la terminal de salida. Esta es una propiedad importante para la medición de fuentes de elevada impedancia utilizando dispositivos de medida de baja impedancia.

## APÉNDICE E

### CIRCUITO INTEGRADO NTE1968

#### REGULADOR DE VOLTAJE POSITIVO DE TRES TERMINALES, 10 V , 1A

El NTE 1968 es un regulador de voltaje positivo monolítico de tres terminales que emplea una limitante interna de corriente, un cierre térmico y un área efectiva de compensación con un aislador TO220 de tipo paquete. Si la transferencia de calor es adecuada este regulador puede ofrecer sobre 1 A de corriente de salida. La tendencia de este dispositivo es ser usado como un regulador de voltaje fijo en un amplio rango de aplicaciones, incluido la regulación local por eliminación de distribución, el cual es un problema asociado con un solo punto de regulación. Junto con este regulador fijo se puede utilizar componentes externos para obtener una salida ajustable en cuanto a voltaje y corriente.



NOTE: Tab is isolated

**Rangos Absolutos Máximos:** ( $T_A = +25^\circ\text{C}$ , ambiente, a menos que se indique otro valor)

Voltaje de entrada, $V_{IN}$	35V
Energía de disipación ( $T_C \leq +70^\circ\text{C}$ ), $P_D$	16W
Rango de temperatura de trabajo de las juntas, $T_J$	$-30^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$
Rango de temperatura de trabajo al ambiente, $T_{opr}$	$-30^\circ\text{C}$ to $+75^\circ\text{C}$
Rango de temperatura de almacenamiento, $T_{stg}$	$-40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$
Resistencia térmica de la junta al ambiente, $R_{thJA}$	$60^\circ\text{C/W}$
Resistencia térmica de la junta para otro caso, $R_{thJC}$	$5^\circ\text{C/W}$

Características Eléctricas: ( $T_J = +25^\circ\text{C}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$  a menos que se especifique otro valor)

Parámetro	Símbolo	Condiciones de prueba	Mín.	Típico	Máx.	Unidad
Salida de voltaje	$V_{\text{OUT}}$	$V_{\text{IN}} = 16\text{V}$ , $I_{\text{O}} = 0.5\text{A}$	9.6	10.0	10.4	V
Corriente estática	$I_{\text{Q}}$	$V_{\text{IN}} = 16\text{V}$ , $I_{\text{O}} = 0$	-	4.3	6.0	V
Regulación de carga	$V_{\text{O}} - I_{\text{O}}$	$V_{\text{IN}} = 16\text{V}$ , $I_{\text{O}} = 0.005$ to $1.5\text{A}$	-	15	100	mV
Regulación en línea	$V_{\text{O}} - V_{\text{IN}}$	$V_{\text{IN}} = 12.5\text{V}$ to $25\text{V}$ , $I_{\text{O}} = 0.5\text{A}$	-	8	100	mV
Rechazo de onda	RR	$V_{\text{IN}} = 16\text{V}$ , $I_{\text{O}} = 0.5\text{A}$ , $e_{\text{in}} = 2V_{\text{P-P}}$ , $f = 120\text{Hz}$	62	72	-	dB
Ruido de salida	$V_{\text{NO}}$	$V_{\text{IN}} = 16\text{V}$ , $\text{BW} = 10\text{Hz}$ to $100\text{kHz}$ , $I_{\text{O}} = 0.5\text{A}$	-	65	-	$\mu\text{V}$
Coefficiente promedio de temperatura de salida de voltaje	$V_{\text{O}}/T$	$V_{\text{IN}} = 16\text{V}$ , $I_{\text{O}} = 0.5\text{A}$	-	-1.0	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$

## APÉNDICE F

### MÓDULOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

#### MÓDULO FP-CTR-500

##### CARACTERÍSTICAS GENERALES

El FP-CTR-500 es un módulo FieldPoint contador con las siguientes características:

- Ocho contadores de 16 bits con terminales de entrada contadores individuales.
- Referencias de frecuencia internas de 1 kHz y 32 kHz.
- Contadores internos en cascada.
- Cuatro entradas de compuerta configurables tanto como compuerta de entrada o entradas discretas.
- Cuatro salidas configurables tanto como contadores de salida o salidas discretas.
- Entradas sumidero y salidas flotantes compatibles con dispositivos de 12 o 24 VDC.
- Filtros pasa bajo de 200Hz habilitables por medio del programa en las canales contadores.
- LEDs indicadores de encendido / apagado.
- Aislamiento entrada a salida de 3000 Vrms.

- Doble aislamiento para voltaje de operación seguro a 250V.
- Operación Hot plug and play.

Para más información acerca de la configuración y la accesibilidad del FP-CTR-500 en una red refiérase al manual del usuario para el módulo FP-1000.



FIG. F-1 MÓDULO FP-CTR-500

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Todas las especificaciones técnicas son típicas para temperaturas entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$ .

#### Entrada

Número de Canales.....	12 (8 contadores, y 4 compuertas)
Tipo de entrada .....	12 o 24 VDC
Máximo voltaje de entrada.....	30 VDC
Voltaje umbral de entrada .....	8 V Típicamente 7 V Mínimo

	9 V Máximo
Límite de corriente de entrada.....	5 mA
Ancho de banda de entrada.....	50 kHz con filtro pasa bajo de 200 Hz habilitado por software en las entradas contadoras.
Mínimo ancho de pulso de entrada .....	10 $\mu$ s con 50 kHz, 2.5 ms con 200 Hz
Aislamiento.....	3000 Vrms
Aislamiento de seguridad, voltaje de operación.....	250Vrms

### Salida

Número de canales.....	4
Tipo de salida.....	24 VDC.
Voltaje de alimentación .....	10 a 30 VDC, proporcionado por el usuario.
Corriente de salida.....	1 A, con un circuito de protección incorporado para corrientes altas.
Impedancia de salida.....	0.3 $\Omega$
Salida de ancho de banda....	16 kHz

### Física

Indicadores .....	Indicadores verdes PODER Y LISTO (POWER y READY), 16 luces verdes indicadores de estado entrada / salida.
Peso.....	130 g (4.5 oz.)

### Requerimientos de potencia

Potencia requerida desde el módulo de red .....	800 mW máximo
---	---------------

### Ambiente

Temperatura de operación.....	-40 °C a +70 °C
Temperatura de almacenamiento.....	-55 °C a + 100 °C
Humedad relativa.....	5% a 90% sin condensación

### Dimensiones mecánicas

La figura siguiente muestra las dimensiones mecánicas del FP-CTR-500 instalado en una base de terminales.

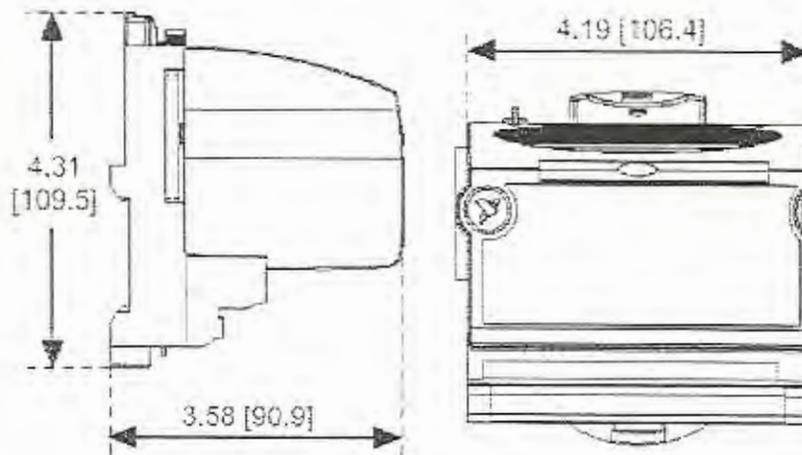


FIG. F-2DIMENSIONES MECÁNICAS MÓDULO FP-CTR-500

## CABLEADO Y CONEXIONES

La base de terminales provee conexiones para cada canal de E/S y para una fuente externa para alimentar los canales de salida del FP-CTR-500 y los dispositivos de campo. Aunque el módulo no necesita la alimentación externa para su operación interna, los canales de salida toman la corriente de esta fuente externa y la requieren para operar.

Cada canal de entrada tiene un terminal de entrada,  $V_{in}$  y cada canal de salida tiene un terminal de salida  $V_{out}$ . Cada canal también tiene terminales  $V_{sup}$  y COM que pueden suministrar energía a los dispositivos de campo. Se pueden conectar las ocho entradas del contador y las cuatro compuertas de entrada con salidas flotantes. Se pueden conectar las cuatro salidas a dispositivos con entradas. La FIG. F-3 muestra un ejemplo de esas conexiones para los canales de salida, y la FIG. F-4 muestra dos ejemplos para los canales de entrada.

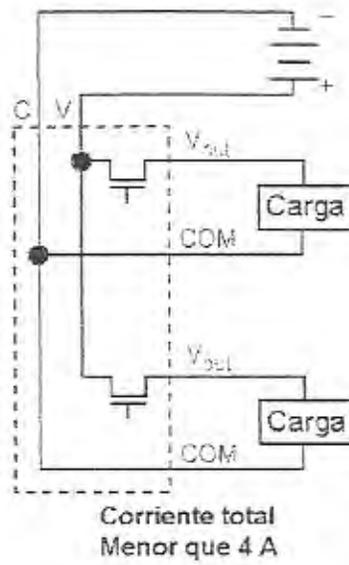


FIG. F-3 CONEXIONES BÁSICAS DE CAMPO PARA DISPOSITIVOS SALIDA.

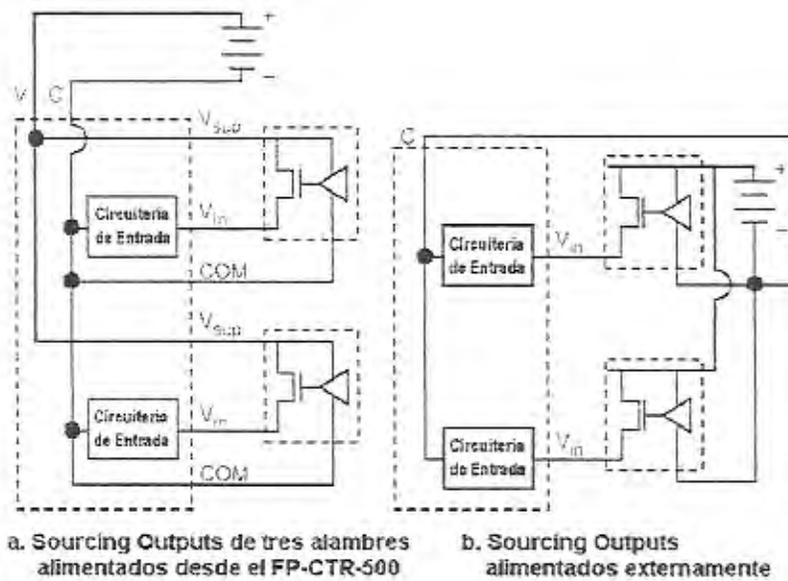


FIG. F-4 CONEXIONES BÁSICAS DE ENTRADA DE SEÑALES DE CAMPO PARA DISPOSITIVOS.

TABLA F-1: ASIGNACIONES DE LOS TERMINALES PARA FP-CTR-500

Canal	Número del terminal		
	V <sub>in</sub>	V <sub>sup</sub>	COM
<b>Entradas Contadoras</b>			
C0	1	17	18
C1	2	17	18
C2	3	19	20
C3	4	19	20
C4	5	21	22
C5	6	21	22
C6	7	23	24
C7	8	23	24

Canal	Número del terminal		
	V <sub>in</sub>	V <sub>sup</sub>	COM
<b>Compuertas</b>			
G0	9	25	26
G1	10	25	26
G2	11	27	28
G3	12	27	28
<b>Salidas</b>			
O0	13	29	30
O1	14	29	30
O2	15	31	32
O3	16	31	32

En la Tabla F-1 se enlista el terminal asignado para cada canal, la letra C denota un contador de entrada, la letra G una compuerta de entrada, y la letra O denota una salida. Las terminales asignadas y los diagramas de cableado se muestran en la tarjeta deslizante ubicada en el frente del módulo FP-CTR-500.

## MÓDULO FP-AI-110

### CARACTERÍSTICAS GENERALES

El FieldPoint FP-AI-110 es un módulo de entradas analógicas con ocho canales de entradas analógicas. El FP-AI-110 puede ser usado con señales de entrada de corriente o de voltaje (1), dependiendo de la configuración que se realiza en el programa Field Point Explorer. El FP-AI-110 es ideal para señales de baja frecuencia, y tiene tres filtros configurables para eliminar el ruido. Su operación hot plug and play, aislamiento de seguridad, y los 11 rangos de entrada aseguran que tanto la instalación como el mantenimiento estén libres de problemas tanto como sea posible.

Esta sección cubre solo instrucciones básicas como son características, especificaciones y cableado del FP-AI-110. Para más detalles en cuanto a configuración y acceso del FP-AI-110 a través de una red, refiérase al manual del usuario del FP-110 (2).

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Las especificaciones de este módulo son típicas para temperaturas entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$ .

### Características de entrada

Número de canales.....	8
Resolución ADC.....	16 bits
Tipo de ADC .....	Delta-sigma
Aislamiento .....	3,000 Vrms.
Aislamiento de seguridad, voltaje de operación.....	250 Vrms.

### Rango de señales de entrada\*

	Rango nominal de entrada	Con sobre-rango	Resolución efectiva**
<b>Voltaje</b>	$\pm 10\text{ V}$	$\pm 10.4\text{ V}$	$380\ \mu\text{V}$
	$\pm 5\text{ V}$	$\pm 5.2\text{ V}$	$190\ \mu\text{V}$
	$\pm 1\text{ V}$	$\pm 1.04\text{ V}$	$40\ \mu\text{V}$
	$\pm 300\text{ mV}$	$\pm 325\text{ mV}$	$16\ \mu\text{V}$
	$\pm 60\text{ mV}$	$\pm 65\text{ mV}$	$3\ \mu\text{V}$
	$0\text{-}10\text{ V}$	$0\text{-}10.4\text{ V}$	$190\ \mu\text{V}$
<b>Corriente</b>	$0\text{-}5\text{ V}$	$0\text{-}5.2\text{ V}$	$90\ \mu\text{V}$
	$0\text{-}1\text{ V}$	$0\text{-}1.04\text{ V}$	$25\text{ mV}$
	$4\text{-}20\text{ mA}$	$3.5\text{-}21\text{ mA}$	$0.5\ \mu\text{A}$
	$0\text{-}20\text{ mA}$	$0\text{-}21\text{ mA}$	$0.5\ \mu\text{A}$
	$\pm 20\text{ mA}$	$\pm 21\text{ mA}$	$0.7\ \mu\text{A}$

\*Seleccionable por medio del programa FieldPoit Explorer para cada canal.

\*\*La resolución efectiva incluye errores de cuantización y ruido rms con filtro fijado a 50 o 60 Hz.

Fijación del filtro (Seleccionable por medio del programa FieldPoit Explorer para cada canal):

### Configuración de filtros.

Característica	Filtro		
	50 Hz	60 Hz	500 Hz
Tiempo de actualización*	1.47 s	1.23 s	0.173 s
Ancho de banda de entrada (-3dB)	13 Hz	16 Hz	130 Hz

\*El tiempo de actualización enlistado se aplica cuando todos los ocho canales están fijados al mismo filtro.

NMR (@ 50/60 Hz) .....	95 dB (con filtro 50/60 Hz)
No-linealidad.....	0.0015% (monotonía garantizada sobre el rango de temperatura de operación.)

### Entradas de voltaje

Impedancia de entrada .....	> 100 Mohm
Protección de sobrevoltaje .....	= 40 V
Corriente de entrada	
(25 °C) .....	50 pA typ., 1 nA max.
(70 °C) .....	3 nA typ., 100 nA max.
Ruido de entrada (filtro 50 o 60 Hz)	
(±60 mV rango) .....	±3 LSB pk-pk
(±300 mV rango) .....	±2 LSB pk-pk
(Otros rangos).....	±1 LSB pk-pk
Error de offset	
(25 °C) .....	± 20 mV + 2 LSB
(-40 a +70 °C) .....	± 150mV + 2 LSB
Fluctuación del error de desplazamiento.....	± 2 mV/°C
Error de Ganancia	
(25 °C) .....	± 0.03%
(-40 a +70 °C) .....	± 0.1%
Fluctuación del error de ganancia.....	± 20 ppm/°C

### Entradas de corriente

Impedancia de entrada.....	100 Ohm
Protección de sobre corriente.....	± 50 mA
Ruido de entrada (filtro 50 o 60 Hz).....	0.3 mA rms
Error de desplazamiento.....	± 0.1 mA
Fluctuación del error de desplazamiento.....	± 20 nA/° C
Error Ganancia	
(25 °C) .....	± 0.03%
(-40 a +70 °C) .....	± 0.2%
Fluctuación del error de desplazamiento.....	± 40 ppm/°C

### Física

Indicadores .....	Indicadore verdes PODER Y LISTO (POWER y READY)
Peso.....	140 g (4.8 oz.)

### Requerimientos de potencia

Potencia requerida desde el módulo de red .....	350 mW
---	--------

### Ambiente

Temperatura de operación.....	-40 °C a +70 °C
Temperatura de almacenamiento.....	-55 °C a + 100 °C
Humedad relativa.....	5% a 90% sin condensación

### Dimensiones mecánicas

La figura F-4 muestra las dimensiones mecánicas del FP-AI-110 instalado en una de las bases de terminales.

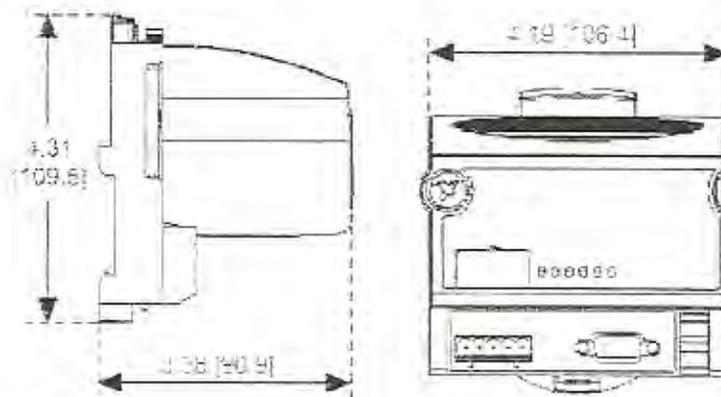


FIG. F-4 Dimensiones Mecánicas Modulo FP-AI-110

### CABLEADO Y CONEXIONES

La base de terminales provee conexiones para cada uno de los ocho canales de entrada y un suministro externo para energizar dispositivos de campo. Cada canal tiene un terminal separado tanto para entradas de voltaje ( $V_{in}$ ) o entradas de corriente ( $I_{in}$ ). Ambas entradas (de voltaje y corriente) están referenciadas a las terminales COM. Se puede conectar una fuente externa para alimentar

dispositivos de campo conectándola a las terminales V y C de la base de terminales. Si se usa una fuente externa esta energía estará disponible para los dispositivos de campo en las terminales  $V_{sup}$  y COM en cada canal. La figura F-5 muestra ejemplos de conexiones básicas con y sin fuente de alimentación externa respectivamente.

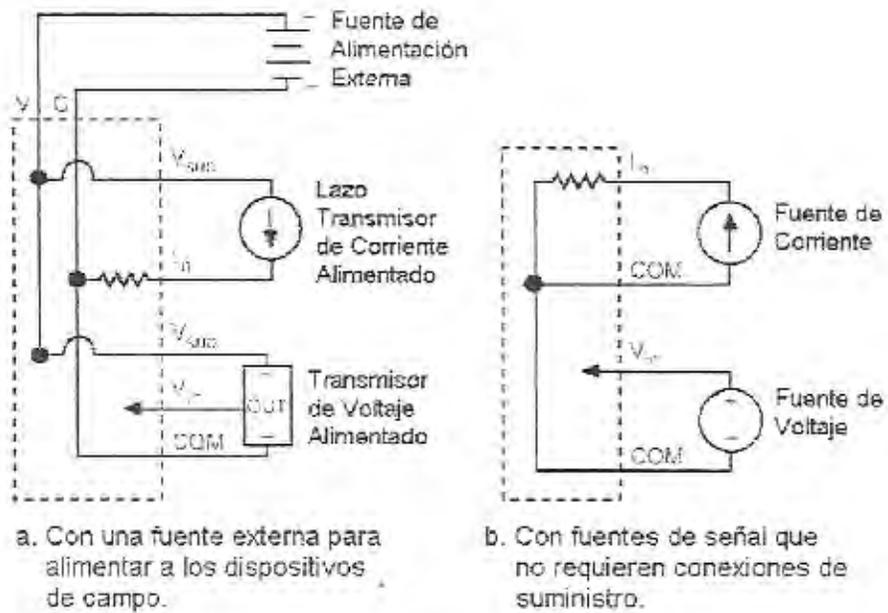


FIGURA F-5 CONEXIONES DE CAMPO BÁSICAS CON DOS CANALES MOSTRADOS

La Tabla F-2 muestra una lista de las terminales asignadas para cada canal.

TABLA F-2: TERMINALES ASIGNADAS PARA EL FP-AI-110

Channel	Número de Terminal			
	$V_{in}$	$I_{in}$	$V_{sup}$	COM
0	1	2	17	18
1	3	4	19	20
2	5	6	21	22
3	7	8	23	24
4	9	10	25	26
5	11	12	27	28
6	13	14	29	30
7	15	16	31	32

Las conexiones de voltaje de entrada positivos son en las terminales  $V_{in}$  y las entradas de voltaje negativas a la terminal COM. Los rangos de entrada para señales de voltaje son  $\pm 10$  V,  $\pm 5$  V,  $\pm 1$  V,  $\pm 300$  mV,  $\pm 60$  mV, 0-10 V, 0-5 V, y 0-1 V. Las entradas de corriente deben ser conectadas a las terminales  $I_{in}$  y referenciadas a las terminales COM o C, los rangos de entrada para fuentes de corriente son 0-20 mA, 4-20 mA, y  $\pm 20$  mA.

## MÓDULO FP-AI-111

### CARACTERÍSTICAS GENERALES

El Field Point AI-111 es un módulo de señales analógicas que posee las siguientes características:

- ✓ 16 canales analógicos para entrada de corriente
- ✓ Rangos de lectura: -20 a +20 mA, 0-20 mA, 4-20 mA
- ✓ 16 bit de resolución
- ✓ Voltaje de protección 3000 Vrms
- ✓ Temperatura de operación: -40 a 70 °C.

El FP-AI-110 es ideal para señales de baja frecuencia, y tiene tres filtros configurables para eliminar el ruido. Su operación hot plug and play (aislamiento de seguridad) y los 11 rangos de entrada aseguran que tanto la instalación como el mantenimiento estén libres de problemas tanto como sea posible.

Esta sección cubre solo instrucciones básicas como son características, especificaciones y cableado del FP-AI-111. Para más detalles en cuanto a configuración y acceso del FP-AI-111 a través de una red, refiérase al manual del usuario del FP-111 (4).

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Las especificaciones de este módulo son típicas para temperaturas entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$ .

### Características de entrada

Número de canales.....	16
Resolución ADC.....	16 bits
Tipo de ADC .....	Delta-sigma
Aislamiento .....	3,000 Vrms.
Aislamiento de seguridad, voltaje de operación.....	250 Vrms.

### Rango de señales de entrada\*

	Rango nominal de entrada	Con sobre-rango	Resolución efectiva**
<b>Corriente</b>	4-20 mA	3.5-21 mA	0.5 $\mu\text{A}$
	0-20 mA	0-21 mA	0.5 $\mu\text{A}$
	$\pm 20$ mA	$\pm 21$ mA	0.7 $\mu\text{A}$

\*\*La resolución efectiva incluye errores de cuantización y ruido rms con filtro fijado a 50 o 60 Hz.

Fijación del filtro (Seleccionable por medio del programa Field Point Explorer para cada canal):

### Configuración de filtros.

Característica	Filtro		
	50 Hz	60 Hz	500 Hz
Tiempo de actualización*	1.23 s	1.05 s	0.29 s
Ancho de banda de entrada (-3dB)	13 Hz	16 Hz	130 Hz

\*El tiempo de actualización en listado se aplica cuando todos los dieciséis canales están fijados al mismo filtro.

NMR (@ 50/60 Hz) .....	95 dB (con filtro 50/60 Hz)
No-linealidad.....	0.0015% (monotonía garantizada sobre el rango de temperatura de operación.)

### Entradas de corriente

Impedancia de entrada.....	100 Ohm
Protección de sobre corriente.....	± 40 mA
Ruido de entrada (filtro 50 o 60 Hz).....	0.3 mA rms
Error de desplazamiento.....	± 0.1 mA
Fluctuación del error de desplazamiento.....	± 20 nA/° C
Error Ganancia	
(25 °C) .....	± 0.03%
(-40 a +70 °C) .....	± 0.2%
Fluctuación del error de desplazamiento.....	± 40 ppm/°C

### Física

Indicadores .....	Indicadore verdes PODER Y LISTO (POWER y READY)
Peso.....	140 g (4.8 oz.)

### Requerimientos de potencia

Potencia requerida desde el módulo de red .....	250 mW
---	--------

## Ambiente

Temperatura de operación.....	-40 °C a +70 °C
Temperatura de almacenamiento.....	-55 °C a + 100 °C
Humedad relativa.....	5% a 90% sin condensación

## Dimensiones mecánicas

La figura F-6 muestra las dimensiones mecánicas del FP-AI-111 instalado en una de las bases de terminales.

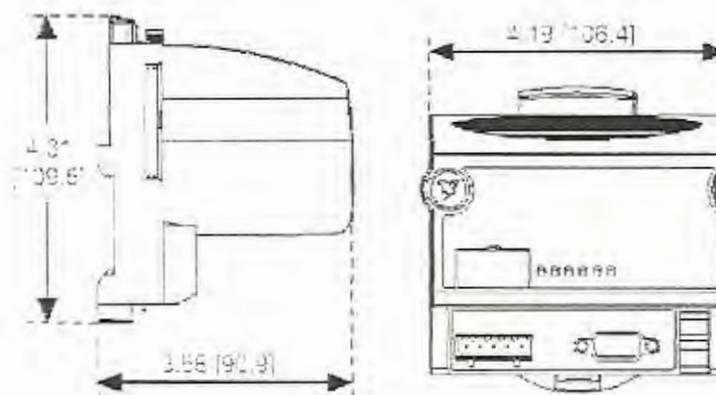


FIGURA F-6 DIMENSIONES MECÁNICAS MODULO FP-AI-111

## CABLEADO Y CONEXIONES

La base de terminales provee conexiones para cada uno de los 16 canales de entrada y un suministro externo para energizar dispositivos de campo. Cada canal tiene un terminal separado para entradas de corriente ( $I_{in}$ ) referenciadas a las terminales COM. Se puede conectar una fuente externa para alimentar dispositivos de campo conectándola a las terminales V y C de la base de terminales. Si se usa una fuente externa esta energía estará disponible para los dispositivos de campo en las terminales  $V_{sup}$  y COM en cada canal. La figura F-7 muestra ejemplos de conexiones básicas con y sin fuente de alimentación externa respectivamente.

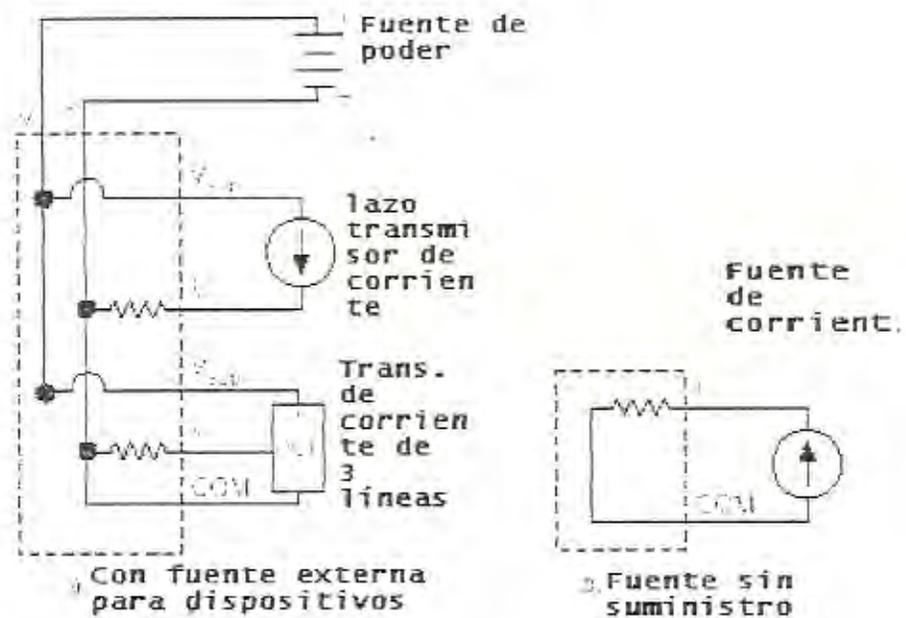


FIGURA F-7 CONEXIONES DE CAMPO BÁSICAS CON DOS CANALES MOSTRADOS

La Tabla F-3 muestra una lista de las terminales asignadas para cada canal.

TABLA F-3 TERMINALES ASIGNADAS PARA EL FP-AI-110

Channel	Terminal Numbers		
	$I_{in}$	$V_{sup}$	COM
0	1	17	18
1	2	17	18
2	3	19	20
3	4	19	20
4	5	21	22
5	6	21	22
6	7	23	24
7	8	23	24
8	9	25	26
9	10	25	26
10	11	27	28
11	12	27	28
12	13	29	30
13	14	29	30
14	15	31	32
15	16	31	32

## APÉNDICE G

### MANUAL DE CONEXIONES

#### IDENTIFICACIÓN DE SEÑALES

Debido a la gran cantidad de líneas de señales electrónicas que se manejan en este sistema, las que corresponden tanto a la alimentación de los sensores, como de las señales que son el objetivo de medición, las he organizado y clasificado a partir de la borneras secundarias ya que es en estas donde se concentran todas las señales que se manejan en el banco de bombas.

A partir de la primera línea en la parte superior de la bornera secundaria C las he identificado con un código simple de dos dígitos a partir de 01 hasta la última línea en la parte inferior de la bornera secundaria D con el código 31. Los códigos 32 al 34 corresponden a señales que llegan al módulo Field Point FP-CTR-500 y que son originadas para establecer una base de tiempo. Cada línea (señal) que participa en esta aplicación tiene también un símbolo que representa el tipo de sensor de donde proviene.

En el presente manual describo la forma en la cual están distribuidas estas señales con su respectiva identificación en cada una de las borneras, tanto las principales como las secundarias. Presento tres tablas que identifican las señales con su código numérico, su símbolo, el nombre completo de la señal, la bornera secundaria donde se concentra, el color del cable a la salida de

las borneras secundarias y el sensor de origen de cada señal. En el último cuadro se incluye también la identificación de cada sensor y la función del mismo en este sistema.

Seguidamente presento de manera detallada un esquema de cada bornera, las conexiones correspondientes a la caja pre-interfase, para culminar luego con las conexiones en el equipo Field Point.

TABLA 1.1 SENSORES DE ORIGEN

CÓDIGO NUMÉRICO	SIMBOLO	SENSOR DE ORIGEN	
		FUNCIÓN	IDENTIFICACIÓN
01	Opto C2	Medición de RPM de motor de bomba #2	Optoacoplador NTE3081
02	Opto A2		
03	ELEC 2	Medición de caudal en circuito de bomba #2	Flujómetro #2 AOT2
04			
05	ALC2	Medición de fuerza en motor de bomba #2	Celda de Carga #2 00K00524-B09
06			
07	LC2 (+)		
08	LC2 (-)		
09		TIERRA GENERAL PARA TARJETA	
10	Opto C1	Medición de RPM de motor de bomba #1	Optoacoplador NTE3081
11	Opto A1		
12	ELEC 1	Medición de caudal en circuito de bomba #1	Flujómetro #1 AOT1
13			
14	ALC1	Medición de fuerza en motor de bomba #1	Celda de Carga #1 00K00524-B10
15			
16	LC1(+)		
17	LC1(-)		
18	BP7 (-)	Medición de nivel de reservorio	KPSI 700-140-0005 5787
19	BP7 (+)		
20	AP6 (-)	Medición de presión a la descarga 2 de la bomba#2	8-C3120143
21	AP6 (+)		
22	AP5 (-)	Medición de presión a la descarga 1 de la bomba#2	8-C3120304
23	AP5 (+)		
24	AP4 (-)	Medición de presión en la succión de la bomba#2	8-C3120013
25	AP4 (+)		
26	AP3(-)	Medición de presión a la descarga 2 de la bomba#1	8-C3120127
27	AP3(+)		
28	AP2(-)	Medición de presión a la descarga 1 de la bomba#1	8-C3120124
29	AP2(+)		
30	AP1(-)	Medición de presión en la succión de la bomba#1	8-C3119976
31	AP1(+)		
32	(+12)	SALIDA DE CAJA PRE-INTERFASE	
33		SALIDA DE CAJA PRE-INTERFASE	
34	RLJ	SALIDA DE CAJA PRE-INTERFASE	

Tabla 4.11. IDENTIFICACIÓN DE SEÑALES

CÓDIGO NUMÉRICO	SÍMBOLO	IDENTIFICACIÓN
01	Opto C2	Alimentación de +12 VDC al optoacoplador de bomba #2
02	Opto A2	Alimentación de +5 VDC al optoacoplador de bomba #2
03	ELEC 2	Señal de sensor electromagnético de bomba #2
04	 2	Retorno o tierra de señal de electromagnético # 2
05	ALC2	Alimentación de +5 VDC a celda de carga de bomba #2
06		Tierra general
07	LC2 (+)	Señal de celda de carga de bomba #2
08	LC2 (-)	Retorno de señal celda de carga de bomba # 2
09		Tierra general
10	Opto C1	Alimentación de +12 VDC al optoacoplador de bomba #1
11	Opto A1	Alimentación de +5 VDC al optoacoplador de bomba #1
12	ELEC 1	Señal de sensor electromagnético de bomba #1
13	 1	Retorno o tierra de señal de electromagnético # 1
14	ALC1	Alimentación de +5 VDC a celda de carga de bomba #1
15		Tierra general
16	LC1(+)	Señal de celda de carga de bomba #1
17	LC1(-)	Retorno de señal celda de carga de bomba # 2
18	BP7 (-)	Retorno de señal de sensor de baja presión
19	BP7 (+)	Señal de sensor de baja presión
20	AP6 (-)	Retorno de señal de sensor #6 de alta presión
21	AP6 (+)	Señal de sensor #6 de alta presión
22	AP5 (-)	Retorno de señal de sensor #5 de alta presión
23	AP5 (+)	Señal de sensor #5 de alta presión
24	AP4 (-)	Retorno de señal de sensor #4 de alta presión
25	AP4 (+)	Señal de sensor #4 de alta presión
26	AP3(-)	Retorno de señal de sensor #3 de alta presión
27	AP3(+)	Señal de sensor #3 de alta presión
28	AP2(-)	Retorno de señal de sensor #2 de alta presión
29	AP2(+)	Señal de sensor #2 de alta presión
30	AP1(-)	Retorno de señal de sensor #1 de alta presión
31	AP1(+)	Señal de sensor #1 de alta presión
32	(+12)	Alimentación de módulo
33		Tierra general
34	RLJ	Señal de externa de tiempo

TABLA G-2 LOCALIZACION

CÓDIGO NUMERICO	SIMBOLO	LOCALIZACIÓN	
		BORNERA SECUNDARIA	COLOR ( hacia caja preinterfase)
01	Opto C2	C	Azul/Blanco
02	Opto A2	C	Plomo/Negro
03	ELEC 2	C	Amarillo
04	 2	C	Café
05	ALC2	C	Rojo
06		C	Rosado
07	LC2 (+)	C	Verde/Blanco
08	LC2 (-)	C	Verde/Negro
09		C	Blanco
10	Opto C1	C	Azul
11	Opto A1	C	Plomo
12	ELEC 1	C	Amarillo/Negro
13	 1	C	Negro
14	ALC1	C	Rojo
15		C	Café
16	LC1(+)	C	Rosado
17	LC1(-)	C	Rosado/Negro
18	BP7 (-)	D	Morado
19	BP7 (+)	D	Morado/Blanco
20	AP6 (-)	D	Plomo
21	AP6 (+)	D	Plomo/Negro
22	AP5 (-)	D	Verde/Blanco
23	AP5 (+)	D	Verde/Negro
24	AP4 (-)	D	Naranja
25	AP4 (+)	D	Naranja/Blanco
26	AP3(-)	D	Café
27	AP3(+)	D	Café/Blanco
28	AP2(-)	D	Amarillo
29	AP2(+)	D	Amarillo/Negro
30	AP1(-)	D	Rojo/Negro
31	AP1(+)	D	Rojo/Blanco
32	(+12)	SALIDA DE CAJA PRE-INTERFASE	
33		SALIDA DE CAJA PRE-INTERFASE	
34	RLJ	SALIDA DE CAJA PRE-INTERFASE	

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 IANIGLA  
 CAROLINA GONZALEZ ZERVA / 03



## CONEXIONES EN BORNERAS PRINCIPALES

El conjunto total de borneras ha sido subdividido en borneras principales y borneras secundarias, a su vez las borneras principales se subdividen en bornera A (junto a motor de bomba #1) y bornera B ( junto a motor de bomba #2); mientras que las borneras secundarias se han subdividido en bornera C (junto a panel de monitoreo de bomba # 1) y bornera D (junto a panel de monitoreo de bomba # 2).

Las dos borneras principales son idénticas en cuanto a la distribución de las señales que transmiten; cada una de ellas posee doce bornes y está colocada en los soportes de los dinamómetros a un costado del motor de cada bomba, recibe las señales de un sensor optoacoplador (flujo), una celda de carga (fuerza), respectivas de cada bomba y dos sensores de presión; la bornera junto a la bomba #1 recibe señales de presión de los sensores de presión 1 y 2 mientras que la bornera de la bomba #2 recibe las señales de presión de los sensores 4 y 5.

A continuación en la FIG.G-1 un esquema de la bornera principal A correspondiente a la bomba #1 con las señales que transmite:

●	●	Tierra general ( $\perp$ )	09
●	●	Optoacoplador C1 (Opto C1)	10
●	●	Optoacoplador A1 (opto A1)	11
●	●	(+)	29
		Presión 2 (AP 2)	28
●	●	(-)	
●	●	(+)	31
		Presión 1 (AP 1)	30
●	●	(-)	
●	●	Alimentación celda 1 (ALC1)	14
●	●	Tierra general ( $\perp$ )	15
●	●	(+)	16
		Celda 1 (LC 1)	17
●	●	(-)	
○	○		

FIG.G-1 BORNERA PRINCIPAL A

Para una mejor identificación de las líneas de cada señal, se muestra en la TABLA G-4 los colores de los respectivos cables, los cuales son idénticos en las borneras A y B:

TABLA G-4 IDENTIFICACIÓN DE COLORES PARA SEÑALES EN BORNERA PRINCIPAL A

SÍMBOLO DE SEÑAL	COLOR CABLE	CÓDIGO NUMÉRICO
 general	Rojo	09
Opto C1	Naranja	10
Opto A1	Negro	11
AP 2 (+)	Verde	29
AP 2 (-)	Café	28
AP 1 (+)	Amarillo	31
AP 1 (-)	Blanco	30
ALC 1	Rojo purpúreo (magenta)	14
 general	Morado	15
LC 1 (+)	Gris	16
LC 1 (-)	Rosado bajo	17

En la FIG. G-2 está el esquema es de la bornera principal B correspondiente a la bomba #2 y la identificación de las señales que transmite:

●	●	Tierra general ( $\text{---}\perp\text{---}$ )	09
●	●	Optoacoplador C2 (Opto C2)	01
●	●	Optoacoplador A2 (opto A2)	02
●	●	(+)	23
●	●	(-) Presión 5 (AP 5)	22
●	●	(+)	25
●	●	(-) Presión 4 (AP 4)	24
●	●	Alimentación celda 2 (ALC2)	05
●	●	Tierra general( $\text{---}\perp\text{---}$ )	06
●	●	(+)	07
●	●	(-) Celda 2 (LC 2)	08
○	○		

FIG.G- 2 BORNERA PRINCIPAL B

Para una mejor identificación de las líneas de cada señal, se muestra en la TABLA G-5 los colores de los respectivos cables con su identificación:

**TABLA G-5 IDENTIFICACIÓN DE COLORES PARA SEÑALES EN BORNERA PRINCIPAL B**

<b>SÍMBOLO DE SEÑAL</b>	<b>COLOR CABLE</b>	<b>CÓDIGO NUMÉRICO</b>
$\perp$ general	Rojo	<b>09</b>
Opto C2	Naranja	<b>01</b>
Opto A2	Negro	<b>02</b>
AP 5 (+)	Verde	<b>23</b>
AP 5 (-)	Café	<b>22</b>
AP 4 (+)	Amarillo	<b>25</b>
AP 4 (-)	Blanco	<b>24</b>
ALC 2	Rojo purpúreo (magenta)	<b>05</b>
$\perp$ general	Morado	<b>06</b>
LC 2 (+)	Gris	<b>07</b>
LC 2 (-)	Rosado bajo	<b>08</b>

## CONEXIONES EN BORNERAS SECUNDARIAS

La bornera secundaria es una combinación de cuatro unidades de doce bornes los cuales están distribuidos alrededor del soporte principal de la tubería del equipo. Dos borneras forman el conjunto de borneras D y están colocadas en la parte lateral junto al antiguo panel de monitoreo de la bomba #2 y concentran todas las señales de los sensores de presión, sean de alta o baja presión. Las otras dos, junto al panel de monitoreo de la bomba #1, son el conjunto de borneras C y concentran las señales de los optoacopladores, flujómetros, celdas de carga y señales de alimentación.

Desde estas borneras, las señales llegan agrupadas y ordenadas directo a la tarjeta electrónica del equipo pre-interfase por medio de cables multipares apantallados de 0.60 m de longitud.

La FIG.G-3 representa un esquema de la bornera secundaria D y la distribución de señales que transmite. Los círculos que no están sombreados representan bornes que no han sido considerados para las conexiones.

La FIG.G-4 presenta un esquema que identifica mediante colores los distintos cables que llevan las señales hasta la bornera D, los colores que están combinados con una barra inclinada, significa que el color principal es el que está antes de la barra con algunas pintas del color posterior a la barra.

La FIG.G-5 representa un esquema de la distribución de las conexiones en la bornera secundaria C y la FIG.G-6 Representa los colores respectivos para las señales en aquella bornera.

		(-) Baja Presión (BP7)	18
			(+) 19
		(-) Alta Presión 6 (AP6)	20
			(+) 21
		(-) Alta Presión 5 (AP5)	22
			(+) 23
		(-) Alta Presión 4 (AP4)	24
			(+) 25
			
			
			
			
		(-) Alta Presión 3 (AP3)	26
			(+) 27
			
		(-) Alta Presión 2 (AP2)	28
			(+) 29
		(-) Alta Presión 1 (AP1)	30
			(+) 31
			
			
			
			

FIG.G-3 BORNERA D:  
SEÑALES DE PRESIÓN

HACIA CAJA PRE-INTERFASE ←				DESDE SENSORES ←
MORADO	●	(-) BP7	●	NEGRO
MORADO / BLANCO	●	(+)	●	ROJO
PLOMO	●	(-) AP6	●	BLANCO
PLOMO / NEGRO	●	(+)	●	AZUL
VERDE / BLANCO	●	(-) AP5	●	CAFÉ
VERDE / NEGRO	●	(+)	●	VERDE
NARANJA	●	(-) AP4	●	BLANCO
NARANJA / BLANCO	●	(+)	●	AMARILLO
	○		○	
	○		○	
	○		○	
	○		○	
CAFÉ	●	(-) AP3	●	ROSADO
CAFÉ / BLANCO	●	(+)	●	CAFÉ (OSCURO)
	○		○	
AMARILLO	●	(-) AP2	●	CAFÉ
AMARILLO / NEGRO	●	(+)	●	VERDE
ROJO / NEGRO	●	(-) AP1	●	BLANCO
ROJO / BLANCO	●	(+)	●	AMARILLO
	○		○	
	○		○	
	○		○	
	○		○	

FIG.G-4 BORNERA D:  
COLORES DE CABLES

●	●	Opto C2	01
●	●	Opto A2	02
●	●	ELEC 2	03
●	●	⏏ 2	04
●	●	ALC 2	05
●	●	⏏	06
●	●	LC 2 (+)	07
●	●	LC 2 (-)	08
○	○		
○	○		
●	●	⏏	09
○	○		
●	●	Opto C1	10
●	●	Opto A1	11
●	●	ELEC 1	12
●	●	⏏ 1	13
●	●	ALC 1	14
●	●	⏏	15
●	●	LC 1 (+)	16
●	●	LC 1 (-)	17
○	○		
○	○		
○	○		
○	○		

FIG.G-5 BORNERA C:  
SEÑALES DE  
SENSORES

DESDE SENSORES →			HACIA CAJA PRE-INTERFASE →	
NARANJA	●	Opto C2	●	AZUL / BLANCO
NEGRO	●	Opto A2	●	PLOMO / NEGRO
ROJO	●	ELEC 2	●	AMARILLO
BLANCO	●	⏏ <sub>2</sub>	●	CAFÉ
ROJO PURPÚREO	●	ALC 2	●	ROJO
MORADO	●	⏏	●	ROSADO
GRIS	●	LC 2 (+)	●	VERDE / BLANCO
ROSADO BAJO	●	LC 2 (-)	●	VERDE / NEGRO
	○		○	
	○		○	
BLANCO	●	⏏	●	BLANCO
	○		○	
NARANJA	●	Opto C1	●	AZUL
NEGRO	●	Opto A1	●	PLOMO
ROJO	●	ELEC 1	●	AMARILLO / NEGRO
ROJO	●	⏏ <sub>1</sub>	●	NEGRO
ROJO PURPÚREO	●	ALC 1	●	ROJO
MORADO	●	⏏	●	CAFÉ
GRIS	●	LC 1 (+)	●	ROSADO
ROSADO BAJO	●	LC 1 (-)	●	ROSADO / NEGRO
	○		○	
	○		○	
	○		○	
	○		○	

FIG.G-6 BORNERA C: COLORES DE CABLES

## CONEXIONES EN CAJA PRE-INTERFASE

Todas las señales que salen de las borneras secundarias son trasladadas hacia la caja pre-interfase, a través de dos cables multipares apantallados de 25 líneas, de las cuales se utilizan las necesarias y van unidas a dos DB25 machos para su respectiva conexión a la caja pre-interfase.

Como se explica en el Capítulo 2 las señales que viajan por un cable de estos son todas las señales de alta y baja presión, mientras que las señales que viajan por el otro cable son las señales de los demás sensores, voltajes de alimentación, señales de retorno, etc., a esta conexión la llamo conexión "X" y la otra conexión "Y", las señales que salen de la caja pre-interfase las llamo señales "Z". Observe la FIG.G-7:

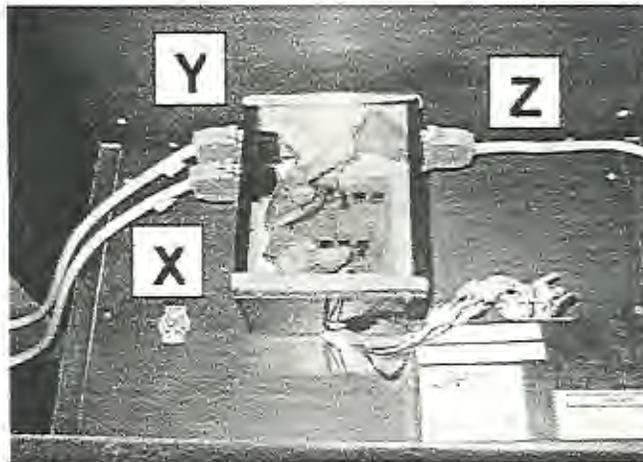


FIG.G-7 SEÑALES DE CAMPO QUE INGRESAN Y SALEN DE CAJA PRE-INTERFASE

En el interior de la caja pre-interfase existen cuatro terminales de conexiones en la tarjeta de corrección; estas las he designado de la siguiente manera:

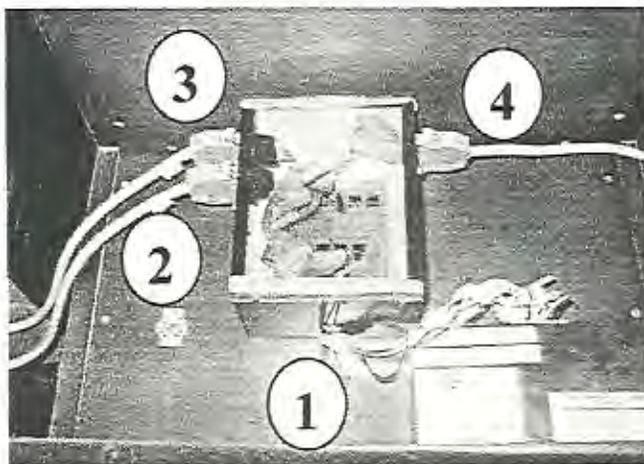


FIG.G-8 CAJA PRE-INTERFASE EN FUNCIONAMIENTO

- Terminal "1": Donde conectamos la señal de la fuente de alimentación de CD.
- Terminal "2": Donde se reciben las señales que vienen desde la conexión X, es decir las señales de todos los sensores excepto los de presión.
- Terminal "3": Donde se reciben las señales que vienen desde la conexión Y, es decir las señales de los sensores de presión.

- Terminal "4": Desde donde saldrán todas las señales corregidas y los voltajes de alimentación que serán necesarios en el equipo de módulos Field Point Explorer, en otras palabras la terminal de salida.

### CONEXIONES EN MÓDULOS FIELD POINT EXPLORER

La distribución de las conexiones desde la caja pre-interfase hasta los módulos de adquisición de datos está gobernada por dos parámetros:

- El tipo de señal ( mA, mV, pulsos)
- Las características de recepción de señales de los respectivos módulos.

El único cable de datos que llega desde la caja pre-interfase hasta los módulos Field Point es el cable de salida de datos llamado **Salida Z**, el cual es un apantallado de 25 líneas que lleva las señales corregidas de todos los sensores. Estas señales llegan hasta los bornes de las bases terminales de cada módulo y estos bornes están identificados con detalle en el apéndice F, de manera que en este manual de conexiones solo tomaré los cuadros de asignaciones de terminales para explicar su correspondiente conexión con las señales de campo. A continuación en FIG.G-9, una base terminal mostrando los bornes donde las señales de campo:

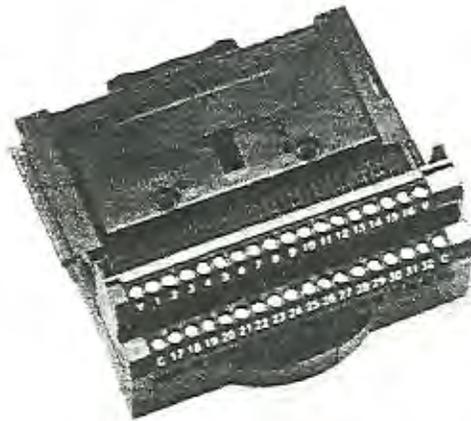


FIG.G-9 BASE TERMINAL CON BORNES

#### MÓDULO FP-AI-110

El módulo FP-AI-110 recibe señales de voltaje (aunque puede ser seteado para señales en mA) desde las celdas de carga de cada bomba, las mismas que son dos pares de líneas, el positivo y el común, y los canales (channel) utilizados son numerados como 2 y 3 los bornes utilizados para estas conexiones son los números 5 con su común 22 y 7 con su común 24 los mismos que se observan en la Tabla G-6 de asignaciones de terminales:

Tabla G-6 ASIGNACIONES DE LOS TERMINALES PARA EL FP-AI-110

Channel	Terminal Numbers			
	$V_{in}$	$I_{in}$	$V_{sup}$	COM
0	1	2	17	18
1	3	4	19	20
2	5	6	21	22
3	7	8	23	24
4	9	10	25	26
5	11	12	27	28
6	13	14	29	30
7	15	16	31	32

Los bornes de la columna  $V_{in}$  corresponden a la línea positiva de la señal de fuerza, mientras que los bornes de la columna COM corresponden al retorno de la señal. La identificación de las líneas que llegan hasta los bornes de la base de este módulo desde el cable *Salida Z*, se muestran en la Tabla G-7. La totalidad de los bornes de la base terminal se muestra en la FIG.9.

Tabla G-7 CORRESPONDENCIA ENTRE SEÑALES Y BORNES DE BASE TERMINAL

NÚMERO DE BORNE EN BASE TERMINAL	5	7	22	24
CÓDIGO NUMÉRICO DE SALIDA Z	16	07	17	08

## MÓDULO FP-CTR-500

A continuación se describe las conexiones en este módulo, el cual, recibe las señales de pulsos de los sensores electromagnéticos (flujo) y las señales de los optoacopladores (r.p.m.). El total de señales que llegan son cuatro, dos de flujo y dos rpm de las respectivas bombas.

Para el respectivo funcionamiento de este módulo es necesaria una alimentación de 12 V en el borne "V" del módulo por razones de la base de tiempo para el cálculo de las frecuencias (1); las señales de los sensores de entrada constan de la línea positiva y el retorno o común.

Todas estas señales llegan al módulo a través del cable **Salida Z**, y llegan hasta los bornes de la base terminal de este módulo; estos bornes terminales tienen una identificación que fue descrita en el apéndice F, de manera que se ha escogido los bornes que corresponden a los canales C1, C2, C3 Y C4 para las cuatro señales que llegan. En la Tabla G-8 se señala el borne ( $V_{in}$ ) y el canal (Channel) correspondiente utilizado.

---

(1) Daniel Ramírez Campuzano, "Desarrollo de un Programa de Adquisición de Datos para el banco de bombas del Laboratorio de Termofluidos de la FIMCP" ( Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral)

Channel	Terminal Numbers		
	V <sub>in</sub>	V <sub>sup</sub>	COM
<b>Count Inputs</b>			
C0	1	17	18
(C1)	(2)	17	18
(C2)	(3)	19	20
(C3)	(4)	19	20
(C4)	(5)	21	22
C5	6	21	22
C6	7	23	24
C7	8	23	24

Channel	Terminal Numbers		
	V <sub>in</sub>	V <sub>sup</sub>	COM
<b>Gate Inputs</b>			
G0	9	25	26
G1	10	25	26
G2	11	27	28
G3	12	27	28
<b>Outputs</b>			
O0	13	29	30
O1	14	29	30
O2	15	31	32
O3	16	31	32

Tabla G-8 ASIGNACIONES DE LOS TERMINALES PARA EL FP-CTR-500

En el borne "C" tenemos conectada una señal de tierra que corresponde al retorno de las cuatro señales que llegan a este módulo.

Tabla G-9 representa la ubicación de las señales del cable de salida Z en los bornes del módulo.

Tabla G-9 CORRESPONDENCIA ENTRE SEÑALES Y BORNES DE BASE TERMINAL

NÚMERO DE BORNE EN BASE TERMINAL	2	3	4	5	12	V	C
CÓDIGO NUMÉRICO DE SALIDA Z	12	10	03	01	34	32	33

#### MÓDULO FP-AI-111

El módulo FP-AI-111 recibe las señales de corriente (mA), las cuales también llegan en par, la positiva y el retorno, y en el módulo utilizamos siete canales 1-7 para los seis sensores de alta presión y el sensor de baja presión. Los canales utilizados son los C1,C2,C3,C4,C5,C6 y C7, los cuales son mostrados en la Tabla G-10

Tabla G-10 ASIGNACIONES DE LOS TERMINALES PARA EL FP-CTR-500

Channel	Terminal Numbers		
	$I_{in}$	$V_{sup}$	COM
0	1	17	18
①	②	①7	18
②	③	①9	20
③	④	①9	20
④	⑤	②1	22
⑤	⑥	②1	22
⑥	⑦	②3	24
⑦	⑧	②3	24
8	9	25	26
9	10	25	26
10	11	27	28
11	12	27	28
12	13	29	30
13	14	29	30
14	15	31	32
15	16	31	32

Los cuadros que se encuentran marcados representan los canales utilizados como entradas de las señales de presión, los bornes de la columna  $I_{in}$  corresponden al retorno de la señal mientras que los bornes de la columna  $V_{sup}$  corresponden a la línea positiva de la señal de presión.

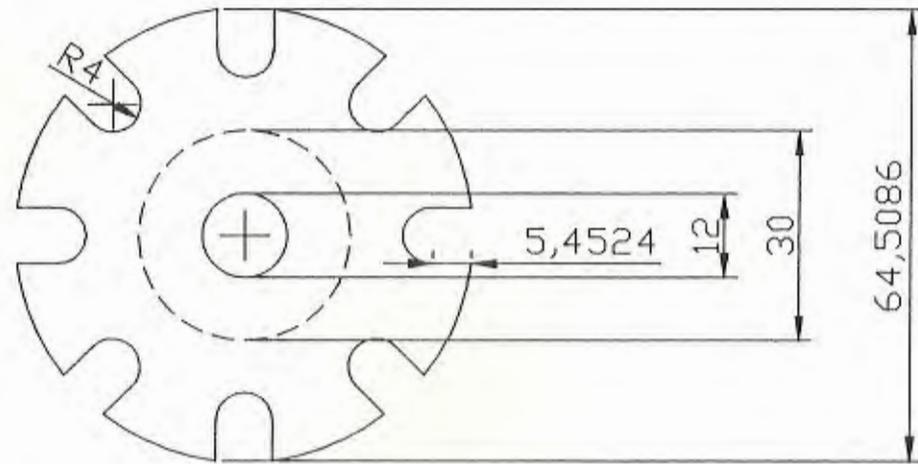
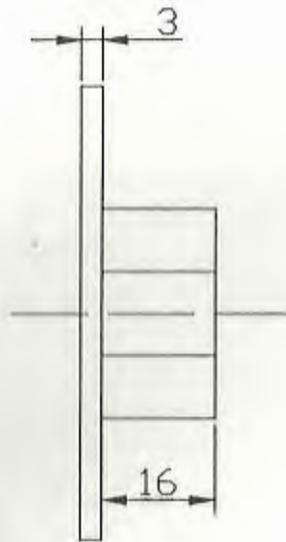
También va conectada una señal de tierra en el borne "C" del módulo, la cual corresponde al retorno de la alimentación de los sensores de presión. La identificación de las líneas de llegada a los bornes de la base terminal desde el cable **Salida Z** se muestra en la Tabla G-11.

Tabla G-11 CORRESPONDENCIA ENTRE SEÑALES Y BORNES DE BASE TERMINAL

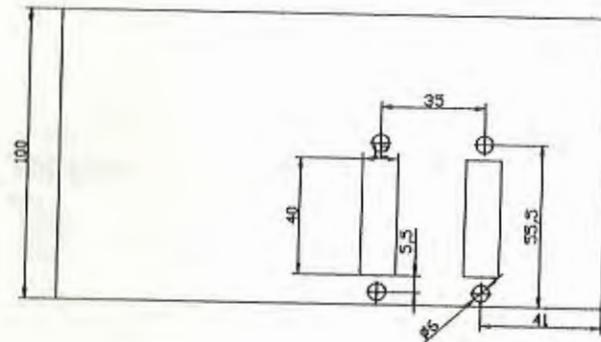
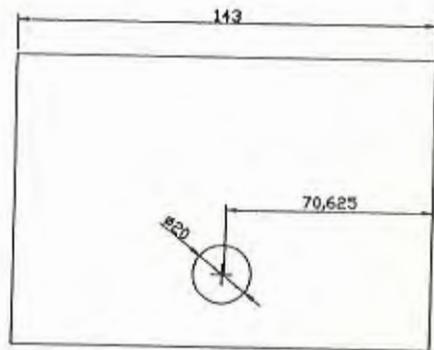
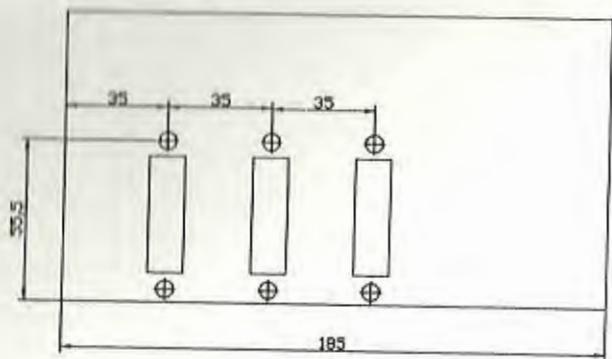
NUMERO DE BORNE EN BASE TERMINAL	CÓDIGO NUMÉRICO DE SALIDA Z
2	30
3	28
4	26
5	24
6	22
7	20
8	18
17	31
19	29
19	27
21	25
21	23
23	21
23	19
C	15

# PLANOS

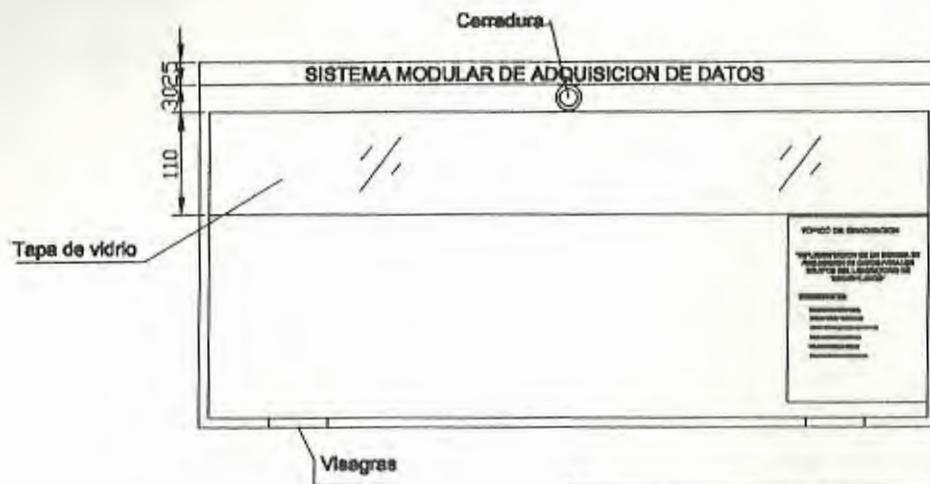
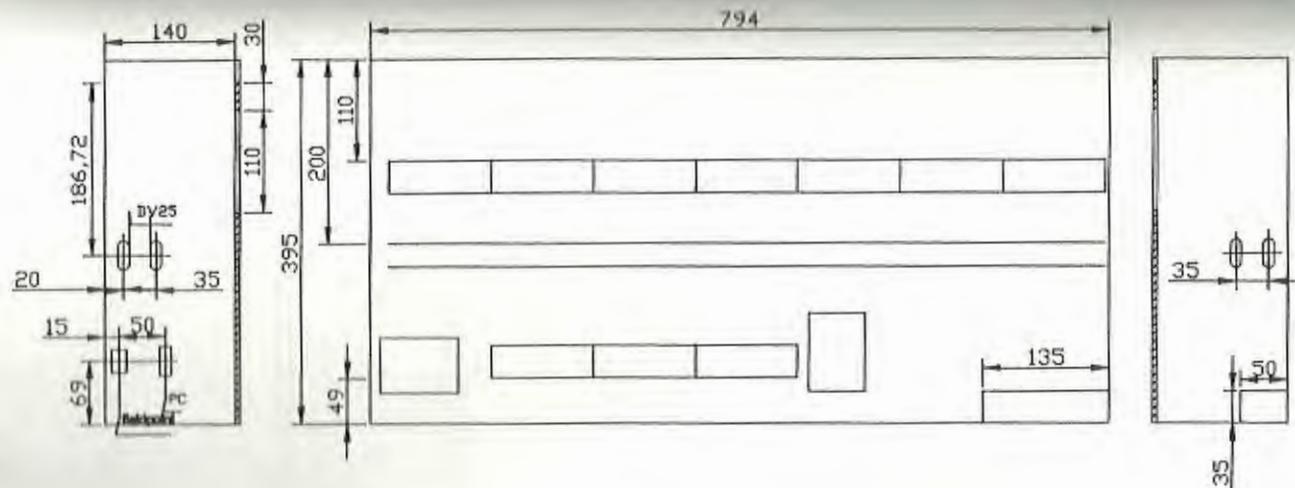




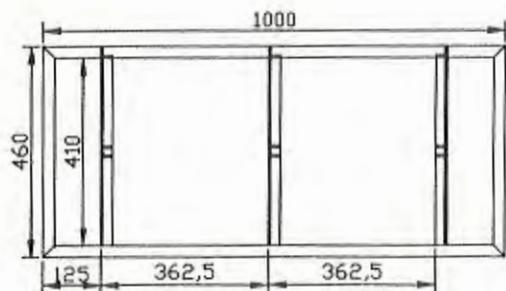
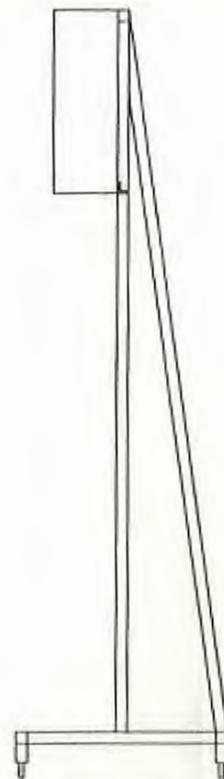
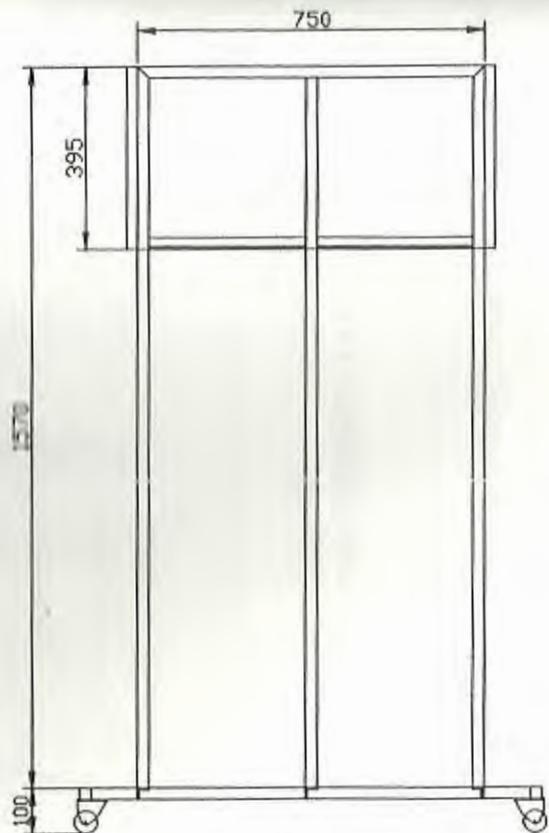
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: <b>TOPICO DE GRADUACION</b>			Dibujó	15/04/02 G. Ochoa
			Revisó	22/04/02 F. Loayza
 ESCALA: 1:1			CONTIENE:	
			<b>DISCO CON AGUJEROS</b>	
MATERIALES:			Plano No:	
Acero A36			1	
			Masa (kg)	



FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
Dibujó		15/04/02	G. Ochoa
Revisó		22/04/02	F. Loayza
PROYECTO:		Plano No:	
TOPICO DE GRADUACION		<b>2</b>	
	ESCALA:	CONTIENE:	
	1:2.5	CAJA PRE-INTERFASE	
MATERIALES:		Masa (kg)	
Acero A36			



FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
Dibujó		15/04/02	G. Ochoa
Revisó		22/04/02	F. Loayza
PROYECTO:		Plano No:	
TOPICO DE GRADUACION		<b>3</b>	
ESCALA:	CONTIENE:	Masa (kg)	
1:7.5	Caja de equipo Field Point		
	MATERIALES:		
	Acero A36		



<b>FIMCP - ESPOL</b>		FECHA	NOMBRE
		Dibujó 15/04/02	G. Ochoa
PROYECTO: <b>TOPICO DE GRADUACION</b>		Revisó 22/04/02	F. Loayza
		Plano No: <b>4</b>	
	ESCALA:	CONTIENE: <b>Soporte para caja de Field Point</b>	
	1:15	MATERIALES:	Masa (kg)
		Acero A36	



## BIBLIOGRAFÍA

1. DANIEL RAMÍREZ CAMPUZANO, "Desarrollo de un Programa de Adquisición de Datos para el banco de bombas del Laboratorio de Termofluidos de la FIMCP".(Tesis,Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2002)
2. COUGHLIN ROBERT AND DRISCOLL FREDERICH F.,  
Operational Amplifiers and Lineal Integrated Circuits, Fifth Edition
3. DATA ACQUISITION BASICS MANUAL LABVIEW, National Instrument, Enero de 1988
4. DOBELIN ESNEST , Measurement System Aplication and Desing,  
1966

5. GUÍA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUÍDOS, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Junio 2001
6. JUVINAL ROBERT, Fundamentos de Diseño
7. KEITHLEY JOSEPH F., Data Acquisition and Control Handbook a guide to hardware and software for computer based measurement and control, Keithley, Quinta Edición, USA 1998.
8. MALONEY TIMOTHY J., Electrónica Industrial: Dispositivos y Sistemas, 1993
9. MALVINO ALBERT PAUL, Principios de Electrónica, Tercera Edición
10. NATIONAL INSTRUMENTS, Operating Instructions Field Point AI-110
11. NATIONAL INSTRUMENTS, Operating Instructions Field Point AI-111

12. NATIONAL INSTRUMENTS, Operating Instructions Field Point  
CTR-500
  
13. NORTON ROBERT L., Machine Design an Integrated Approach,  
Prentice Hall, Primera Edición USA 1997.
  
14. Standard Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments  
for Verifying the Force Indication of Testing Machines, E74, Annual  
Book of ASTM Standards Vol 03.01, Filadelfia 1989
  
15. THE MEASUREMENT AND AUTOMATION (Catalog), National  
Instrument, 2001
  
16. J. P. HOLMAN, Métodos Experimentales para Ingenieros, McGraw  
Hill, 1977