

INSTRUMENTACION NEUMATICA PARA PROCESOS INDUSTRIALES

P R O G R A M A

Día	Duración	Tema	Introduccion
3 Julio	1 Hora	Introducción Teoría de Medición Conceptos Básicos y Terminología El "Loop" de Control	Ing. Remigio Barrán Instrumentos Bristol, S.A.
3 Julio	1 Hora	Medición de Presión Teoría básica	Ing. Mario Rafael Gutiérrez Foxboro, S.A.
5 Julio	2 Horas	Definición de Presión Descripción y Selección de los Elementos de Presión	
7 Julio	2 Horas	Gasto. a) Teoría Básica. Elementos Primarios de los Medidores Inferenciales	Ing. César Ponce Montuy Foxboro, S.A.
10 Julio	2 Horas	Descripción y Selección de los Equipos de Medición. Manejo de la Regla de Cálculo para Elementos Primarios.	
12 Julio	1 Hora	Sistema de Medición de Gasto para Gases Compensados por Presión y Temperatura	Ing. Francisco Correa
12 Julio	1 Hora	Gasto (Continúa) Rotámetros	Ing. Héctor Mondragón Fispo, S.A.
14 Julio	1 Hora	Teoría Básica Descripción y Selección de Rotámetros Tubo Dall y Vertedor Parshall	Ing. Ignacio Rodríguez Fispo, S.A.
14 Julio	1 Hora	Temperatura Teoría Básica	Ing. Miguel Esquivel Instrumentos Bristol, S.A.
17 Julio	2 Horas	Sistemas Llenos Descripción y Selección de los Elementos Termales	

19 de Julio	2 Horas	Nivel y Densidad. Métodos en la Medición de Nivel y Densidad.	Ing. Ricardo Arredondo Foxboro, S.A.
21 de Julio	2 Horas	Transmisión y Recepción Neumática.	Con la participación de Bailey, Bristol
24 de Julio	2 Horas	Sistemas de Balance de Movimientos y Balance de Fuerzas.	Fispo y Foxboro y Honeywell.
26 de Julio	1 Hora	Descripción de los diferentes diseños de Transmisores y Receptores. Tableros.	Coordinador Ing. César Ponce M.
26 de Julio	1 Hora	Teoría Básica del Control Automático.	Ing. Rafael Aguilar Bufete Industrial, S.A.
28 de Julio	2 Horas		
31 de Julio	2 Horas		
2 de Agosto	1 Hora		
2 de Agosto	2 Horas	Descripción y Principios de Operación de los	Con la participación de Bailey, Bristol, Fispo, Foxboro y Honeywell.
4 de Agosto	2 Horas	Diferentes Diseños de Controladores Neumáticos.	
7 de Agosto	1 Hora		Coordinador Ing. César Ponce M.
7 de Agosto	1 Hora	Válvulas de Control. Descripción y Selección	Ing. Alonso Andrade Medidores Bailey, S.A.
9 de Agosto	2 Horas	Cálculo del C.V. Velocidad Límite.	Ing. Armando Hernández Hojel (Mason-Neilan)
11 de Agosto	1 Hora	Posicionadores	
11 de Agosto	1 Hora	Equipo. Accesorios. Integradores, Generadores de Función, Alarmas, Etc.	Ing. Héctor Mondragón Fispo, S.A.
14 de Agosto	2 Horas	Extractores de Raíz Cuadrada	Ing. Alejandro López de Hoyos Fispo, S.A.

16 de Agosto 2 Horas

Aplicaciones y Sistemas  
de Control más Comunes  
Preguntas y Conclusiones

Ing. Rafael Aguilar  
Bufete Industrial

18 de Agosto 1 Hora

Fin del Curso

---

Prácticas de Taller de 8:30 a.m. a 1:00 p.m.

En Foxboro, S.A.  
Durango 247  
México 7, D.F.

Sábado 29 de julio  
Ing. Sergio Dávila

En Fispo, S.A.

Sábado 12 de Agosto  
Ing. Héctor Mondragón

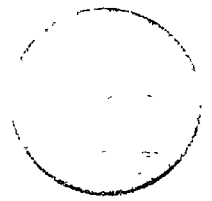
En Honeywell  
. Constituyentes 900  
México, D.F.

Sábado 5 de Agosto  
Ing. Francisco Correa





centro de educación continua  
facultad de ingeniería, unam



RELACION DE PROFESORES DEL CURSO INSTRUMENTACION  
NEUMATICA PARA PROCESOS INDUSTRIALES

Ing. Rafael Aguilar Alveláis  
Gerente del Depto. de Instrumentación  
de Bufete Industrial  
Tolstoi 22  
México, D.F.

Ing. Alonso Andrade  
Ingeniero del Depto.  
de Ventas.  
Bailey, S.A.  
Félix Guzmán 15  
Fracc. el Parque  
Naucalpan, de Juárez,

Ing. Ricardo Arredondo Vergara López  
Director del Centro de Entrenamiento  
de Foxboro, S.A.  
Durango 247  
México, D.F.

Ing. Remigio Barrán Cobo  
Gerente de Ventas  
Instrumentos Bristol, S.A.  
Parque Río Frío 6  
México 10, D.F.

Ing. Francisco Correa Lambarri  
Desarrollo de Proyectos e Instructor  
en Instrumentación Industrial  
Honeywell, S.A.  
Av. Constituyentes 900  
México 10, D.F.

Ing. Sergio Dávila S.  
Jefe de Servicio  
Foxboro, S.A.  
Durango 247  
México, D.F.

Ing. Miguel



centro de educación continua  
facultad de ingeniería, unam



- 2 -

Ing. Miguel Fernando Esquivel Martín  
Gerente Técnico  
Instrumentos Bristol  
Parque Río Frío 6  
México 10, D.F.

Ing. Mario Rafael Gutiérrez  
Gerente  
Foxboro, S.A.  
Durango 247  
México, D.F.

Ing. Armando Hernández Rodríguez  
Gerente de Ventas  
Div. Válvulas  
Cia. C.R. Hojel

Ing. Alejandro López de Hoyos  
Gerente General  
FISPO, S.A.  
Calle 3 No. 1-C  
Naucalpan de Juárez, México

Ing. Héctor Mondragón Aguilar  
Gerente de Producción  
Fispo, S.A.  
Calle 3 No. 1-C  
Naucalpan de Juárez, México

Ing. César Ponce Montuy  
Gerente General de Ventas  
Foxboro, S.A.  
Durango 247  
México, D.F.

Ing. Ignacio Rodríguez Fernández  
Jefe de Ingeniería y Servicio  
Fispo, S.A.  
Calle 3 No. 1-C  
Naucalpan de Juárez, México

Ing. Carlos Shepard Solache  
Ing. del departamento de Ventas  
Medidores Bailey, S.A.  
Félix Guzmán 15  
Naucalpan de Juárez, Méx.

DIRECTORIO DE ASISTENTES DEL CURSO DE INSTRUMENTACION NEUMATICA PARA PRO  
CESOS INDUSTRIALES ( del 3 de julio al 18 de agosto de 1972 )

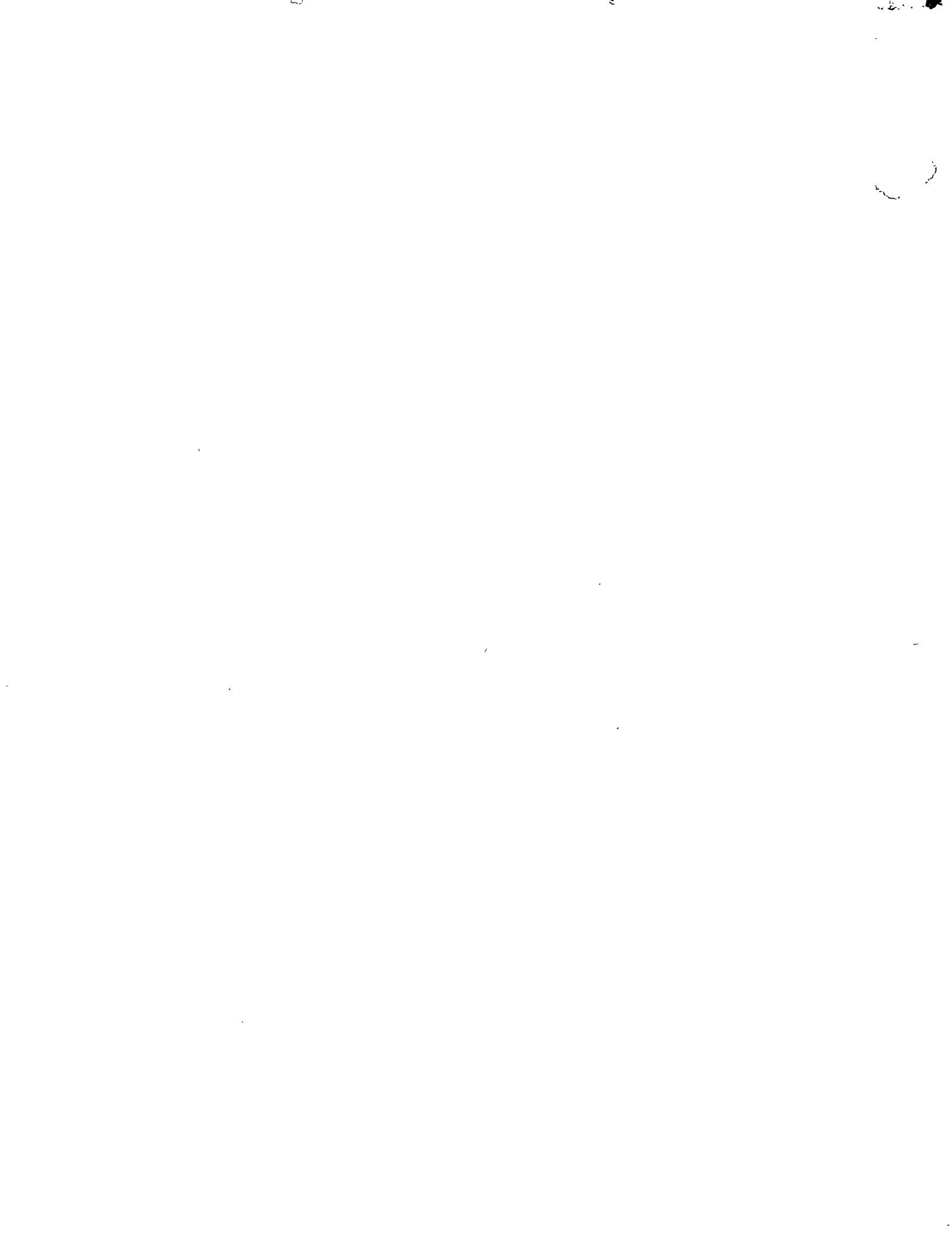
<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
1. ING. ABRAHAM AGUILAR CANCINO Calle de Rolando Garros No. 87 Col. Aviación Civil México 9, D. F.	CIA. EMBOTELLADORA NACIONAL, S. A. Calzada de la Viga No. 891 Axtacalco, D. F.
2. ING. JAIME ALVAREZ CARDENAS Pegaso No. 100-3 Col. Contry Monterrey, N. L.	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD Av. Universidad y Gral. Anaya Monterrey, N. L.
3. SR. JOSE IGNACIO BUENDIA ZALDIVAR Montecristo No. 8 México 21, D. F.	INSTRUMENTOS BRISTOL, S. A. Parque Rio Frio No. 6 México 10, D. F.
4. SRITA. MARTHA CASTAÑEDA SILVA Calle Durango No. 12 Frac. Explanada de Calacoaya Edo. de México	FISPO, S. A. Calle 3 No. 1-C Naucalpan Edo. de México
5. TEC. SALVADOR DELGADO CARDONA Av. 6 Calle 9 No. 908 Cordoba, Ver.	INGENIO SAN PEDRO, S. A. C. Lerdo Tejada Ver. (México-Rio Sena 49)
6. SR. RUBEN DIAZ DURAN	
7. ING. HUMBERTO C. DORIA BERNAL Amatista No. 113-3 Col. Estrella México 14, D. F.	BALMEC, S. A. Calle 2 No. 23 Naucalpan de Juárez Edo. de México
8. ING. RONALD D. ELIZONDO	GRUPO INDUSTRIAL LANZAGORTA, S.A.DEC.V.
9. SR. FERNANDO FLORES RODRIGUEZ Brisa No. 14 Col. Ampliación Vista Hermosa Edo. de México	OPERADORA NACIONAL DE INGENIOS Sena No. 49 México, D. F.
10. PROFR. BERNARDO FRONTANA DE LA CRUZ	

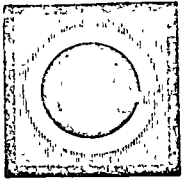
DIRECTORIO DE ASISTENTES DEL CURSO DE INSTRUMENTACION NEUMATICA PARA PROCESOS INDUSTRIALES ( del 3 de julio al 18 de agosto de 1972 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
11. ING. JOSE ANTONIO GARCIA ORTEGA Mar de las Crisis No. 47 Fracc. Los Olivos México 20, D. F.	INSTRUMENTOS BRISTOL, S. A. Parque Rio Frio No. 6 Naucalpan de Juárez Edo. de México
12. ING. MAXIMILIANO GARDUÑO MENDOZA	VIDRIO PLANO DE MEXICO, S. A.
13. SR. JUAN FELIPE GONZALEZ MONROY Amores No. 14-1 México 12, D. F.	INGENIEROS CONTRATISTAS EN INSTALACIONES, S. A. Quintana Roo No. 141 México 11, D. F.
14. ING. JORGE GUERRA MENDOZA Margaritas No. 107 La Florida México, D. F.	OPERADORA NACIONAL DE INGENIOS Sena 49 México, D. F.
15. ING. RAUL GUERRERO BRAVO Marques de Aguayo No. 7 Circuito Fundadores Cd. Satélite Edo. de México	PETROLEOS MEXICANOS Marina Nacional México, D. F.
16. ING. CARLOS HOLT RUIZ Av. Country Club No. 233 México 21, D. F.	INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO Av. 100 Metros No. 500 México, D. F.
17. SR. DARIO RENATO JURADO LIMA Aereolito No. 6324 Col. 3 Estrellas México 14, D. F.	ING. Y FZA. S. A. Plaza Santos Degollado No. 10-310 México 1, D. F.
18. SRITA. GLORIA LUCIA LUJAN GOMEZ Turquesa No. 62-A Col. Estrella México 14, D. F.	INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO Av. 100 Metros No. 500 Col. San Bartolo México 14, D. F.
19. ING. MARIO ORTIZ BERTHIER Cerro de las Campanas No. 2 Col. Campestre Churubusco México 21, D. F.	O.N.I.S.A. Rio Sena No. 49 México, D. F.

DIRECTORIO DE ASISTENTES DEL CURSO DE INSTRUMENTACION NEUMATICA PARA PROCESOS INDUSTRIALES ( del 3 de julio al 18 de agosto de 1972 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
20. ING. JULIAN PEREZ GARCIA Orizaba No. 16 México, D. F.	OPERADORA NACIONAL DE INGENIOS, S. A. Rio Sena No. 49 México, D. F.
21. SR. JORGE FRANCISCO PEREZ GOMEZ Edif. 52-B-402 Unidad Lindavista México, D. F.	ROTARY ENGINEERING, S. A. Av. Juárez No. 119 Desp. 23 México, D. F.
22. SR. JAVIER G. ROMAN MORENO Baja California No. 29-16 Col. Roma México 7, D. F.	VIDRIERA MEXICO, S. A. Lago Zurich No. 243 Col. Anahuac México, D. F.
23. ING. VICTOR MANUEL SALAZAR STRAUB Manta No. 727 Col. Lindavista México, D. F.	VIDRIO PLANO DE MEXICO, S. A.
24. SR. EUGENIO L. M. SANCHEZ GALINDO Alfredo Chavero No. 126-6 Col. Obrera México 8, D. F.	INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO Av. 100 Metros No. 500 México, D. F.
25. ING. MARIO ANTONIO URBINA SERRANO Calle de Gral. Rincón No. 122 Col. Gral. Anaya México 13, D. F.	INSTRUMENTOS BRISTOL, S. A. Parque Rio Frio No. 6 Naucalpan de Juárez Edo. de México





centro de educación continua de la facultad de ingeniería, unam



INSTRUMENTACION NEUMATICA PARA PROCESOS INDUSTRIALES

TEORIA DE MEDICION.- CONCEPTOS BASICOS Y TERMINOLOGIA

ING. REMIGIO BARRAN

México, D. F., julio de 1972



File: Ltd. Distr.  
P.D. A100.4-2 or B250-2

MEASUREMENT AND CONTROL TERMINOLOGY

**INSTRUMENTOS BRISTOL, S. A.**  
**RQUE RIO FRIO No. 6**  
**MEXICO 10, D. F.**  
**TELE. 876-73-88 876-80-72**

Copyright 1965 by  
Recorder-Controller Section, SAMA  
370 Lexington Avenue  
New York, N.Y. 10017

All Rights Reserved

## FOREWORD

Scientific Apparatus Makers Association Standards are adopted in the public interest and are designed to eliminate misunderstandings between the manufacturer and the purchaser and to assist the purchaser in selecting and obtaining without delay the proper product for his particular need. Existence of a Scientific Apparatus Makers Association Standard does not in any respect preclude any member or non-member from manufacturing or selling products not conforming with the standard.

## CONTENTS

Section No.		Page
1	Scope and Purpose . . . . .	1
2	Definitions . . . . .	1
	2.1 Introductory Notes . . . . .	1
	2.2 Sources and References. . . . .	2
	2.3 Terms, Alphabetical. . . . .	2
	2.4 Terms by Function . . . . .	3
	2.5 Definitions of Terms. . . . .	4
	2.6 Tables . . . . .	21

March 16, 1965

# MEASUREMENT AND CONTROL TERMINOLOGY

## 1. SCOPE AND PURPOSE

This Standard applies to terminology associated with industrial process instrumentation and related fields of measurement and control. Included are measurement, control, static and dynamic performance, and general terms relating to recorders, controllers, recorder-controllers, indicating controllers, indicators, transmitters, and transducers as used in industries such as chemical, petroleum, metallurgical, power, food, textile, paper, etc.

The purpose of this Standard is to establish common terminology for use by manufacturers, vendors, and users to describe specifications and performance.

While many control terms are included, the Standard in its present form covers essentially measurement terms; additional control terms will be added in the next revision.

## 2. DEFINITIONS

2.1 Introductory Notes. In defining certain performance terms, the context in which they are to be used has been considered. It is fitting, therefore, that the philosophy of performance evaluation on which these terms are based, be explained.

Ideally, instruments should be designed for realistic OPERATING CONDITIONS, those they are likely to meet in service, and they should be evaluated under the same conditions. Unfortunately, it is not practical to evaluate performance under all possible combinations of OPERATING CONDITIONS. A test procedure must be used which is practical under laboratory conditions and, at the same time, will make available with a reasonable amount of effort, sufficient data upon which a judgement of field performance can be made.

The method of evaluation envisioned is that of checking significant performance characteristics such as ACCURACY, DEAD BAND, and HYSTERESIS under a set of REFERENCE OPERATING CONDITIONS, these having a narrow range of tolerances.

REFERENCE PERFORMANCE is therefore to be evaluated and stated in terms of REFERENCE OPERATING CONDITIONS.

Generally, REFERENCE PERFORMANCE under REFERENCE OPERATING CONDITIONS represents the "best" performance that can be expected under ideal conditions.

The effect of change in an individual OPERATING CONDITION, such as AMBIENT TEMPERATURE, atmospheric pressure, relative humidity, line voltage, and frequency will be determined individually throughout a range defined as NORMAL OPERATING CONDITIONS. These can logically be expected to be encountered above and below the values of REFERENCE OPERATING CONDITIONS during field operation.

While this approach does not duplicate all actual OPERATING CONDITIONS, where many operating variables may vary simultaneously in random fashion, it does develop data from which performance can be inferred for any given set of OPERATING CONDITIONS.

The effect of changes in an individual OPERATING CONDITION, all other OPERATING CONDITIONS being held within the reference range, is herein called OPERATING INFLUENCE. There may be an OPERATING INFLUENCE corresponding to a change in each OPERATING CONDITION. In some cases the effect may be negligible, while in others it will be of significant magnitude.

Tabulations of OPERATING INFLUENCES will usually denote the performance quality level of a given design. Comparisons of REFERENCE PERFORMANCE and OPERATING INFLUENCES for instruments of a given design, or for different designs, will show clearly their relative merits and probable performance under actual OPERATING CONDITIONS.

### Operating Conditions vs. Performance

<u>OPERATING CONDITIONS</u>	<u>Performance</u>
REFERENCE (narrow band)	Reference (Region within which ACCURACY statements apply unless indicated otherwise.)
NORMAL (wide band)	Conditional (Region within which the influence of environment on performance is stated.)
OPERATIVE LIMITS (extreme band)	Indefinite (Region within which influences are not stated and beyond which damage may occur.)

2.2 Sources and References. Existing terms and definitions have been used wherever considered suitable. In many cases terms have been extracted from source documents with verbatim definitions and in such cases permission to quote from the respective source document has been obtained from the organization concerned, as indicated below. Terms defined verbatim are followed by the source document number and clause number. For example: "ASA C39.4, 4.10" indicates that this term is quoted verbatim from the particular clause of the standard referred to.

In other cases definitions have been modified in varying degrees in conformity with current practice in process instrumentation and have been prefixed "REF." followed by the source document number. For example: "REF. ASA C39.4, 4.10" indicates that this term is a modified definition of the clause referred to.

Source documents are as follows:

**American Standard C39.2-1953**

Direct-Acting Electrical Recording Instruments (Switchboard and Portable Types), Published by American Standards Association, Inc. Copyright 1953 by ASA

**American Standard C39.4-1956**

Specifications for Automatic Null-Balancing Electrical Measuring Instruments, Published by American Standards Association, Inc. Copyright 1957 by ASA

**American Standard C42.30-1957**

Instruments, Meters and Meter Testing (Group 30) Published by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

**American Standard C42.65-1957**

Communications (Group 65) Published by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

**American Standard C85.1-1963**

Terminology for Automatic Control, Published by the American Society of Mechanical Engineers Copyright 1963

**IEC Publication 51 (1960)**

Recommendations for Indicating Measuring Instruments and Their Accessories, Published by International Electrotechnical Commission

Copies of the American Standards and the IEC Publication referred to above may be purchased from the American Standards Association, Inc., at 10 East 40th Street, New York, N. Y.

**ASME Preprint 54-IRD-10**

ASME/BSI Terminologies for Process Control Preprint of a paper by A. J. Young, of London, prepared for presentation at a meeting of the Instruments & Regulators Division (since renamed the Automatic Control Division) of the American Society of Mechanical Engineers, September 1954.

**SAMA Standard RC 6-10-1963**

Filled System Thermometers, Published by the Recorder-Controller Section, SAMA, 370 Lexington Avenue, New York, N. Y. 10017

2.3 Terms, Alphabetical

ACCURACY  
AIR CONSUMPTION  
ATTENUATION  
BODE DIAGRAM  
BREAK POINT  
CALIBRATE  
CONFORMITY  
CONFORMITY, INDEPENDENT  
CONFORMITY, TERMINAL-BASED  
CONFORMITY, ZERO-BASED  
CORNER FREQUENCY  
CORRECTION  
DAMPING  
DAMPING FACTOR  
DAMPING, RELATIVE  
DEAD BAND  
DEVICE  
DRIFT  
ELEMENT  
ELEMENT, SENSING  
ERROR  
ERROR, SPAN  
ERROR, ZERO  
GAIN  
GAIN, DYNAMIC  
GAIN, STATIC  
HYSTERESIS, MAXIMUM  
IMMERSION LENGTH  
IMPEDANCE  
IMPEDANCE, INPUT  
IMPEDANCE, LOAD  
IMPEDANCE, OUTPUT  
IMPEDANCE, SOURCE  
INDICATOR TRAVEL  
INSTRUMENT  
INSTRUMENT, INDICATING  
INSTRUMENT, MEASURING  
INSTRUMENT, RECORDING

INTERFERENCE (Electrical)  
   INTERFERENCE, COMMON MODE  
   INTERFERENCE, DIFFERENTIAL MODE  
   INTERFERENCE, ELECTROSTATIC FIELD  
   INTERFERENCE, LONGITUDINAL  
   INTERFERENCE, MAGNETIC FIELD  
   INTERFERENCE, NORMAL MODE  
   INTERFERENCE, TRANSVERSE  
 LINEARITY  
   LINEARITY, INDEPENDENT  
   LINEARITY, TERMINAL-BASED  
   LINEARITY, ZERO-BASED  
 LOAD VOLTAGE REGULATION  
 MEASURED VARIABLE  
 MECHANICAL SHOCK  
 MOUNTING POSITION  
 NOISE  
 OPERATING CONDITIONS  
   OPERATING CONDITIONS, NORMAL  
   OPERATING CONDITIONS, REFERENCE  
   OPERATIVE LIMITS  
 OPERATING INFLUENCE  
 PEN TRAVEL  
 PHASE DIFFERENCE  
 PNEUMATIC EXHAUST CAPACITY  
 PNEUMATIC SUPPLY CAPACITY  
 POWER CONSUMPTION  
 PRESSURE  
   PRESSURE, AMBIENT  
   PRESSURE, PROCESS  
   PRESSURE, SUPPLY  
 PRIMARY ELEMENT (DETECTOR)  
 RANGE  
   LOWER RANGE-LIMIT  
   LOWER RANGE-VALUE  
   RANGE, ELEVATED-ZERO  
   RANGE, SUPPRESSED-ZERO  
   UPPER RANGE-LIMIT  
   UPPER RANGE-VALUE  
 REFERENCE PERFORMANCE  
 REPEATABILITY  
 REPRODUCIBILITY  
 RESOLUTION  
 RESONANCE  
 RESPONSE  
   RESPONSE, DYNAMIC  
   RESPONSE, FREQUENCY CHARACTERISTIC  
   RESPONSE, RAMP  
   RESPONSE, STEP  
   RESPONSE, TIME  
 SENSING ELEMENT ELEVATION  
 SENSITIVITY  
 SIGNAL  
   SIGNAL, INPUT  
   SIGNAL, MEASURED  
   SIGNAL, OUTPUT  
 SIGNAL TO NOISE RATIO  
 SIGNAL TRANSDUCER  
 SPAN

STEADY-STATE  
 SUPPRESSION RATIO  
 TEMPERATURE  
   TEMPERATURE, AMBIENT  
   TEMPERATURE, PROCESS  
 THERMAL SHOCK  
 TIME  
   TIME CONSTANT  
   TIME, DEAD  
   TIME, RAMP RESPONSE  
   TIME, RISE  
   TIME, SETTLING  
   TIME, STEP RESPONSE  
 TRANSDUCER  
 TRANSFER FUNCTION  
 TRANSIENT OVERSHOOT  
 TRANSMITTER  
 TRANSPORTATION & STORAGE CONDITIONS  
 WARM-UP PERIOD  
 ZERO SHIFT

#### 2.4 Terms by Function

#### DESCRIPTIVE TERMS

DEVICE  
 ELEMENT  
   ELEMENT, SENSING  
 INSTRUMENT  
   INSTRUMENT, INDICATING  
   INSTRUMENT, MEASURING  
   INSTRUMENT, RECORDING  
 NOISE  
 PRIMARY ELEMENT (DETECTOR)  
 SIGNAL  
   SIGNAL, INPUT  
   SIGNAL, OUTPUT  
 SIGNAL TO NOISE RATIO  
 SIGNAL TRANSDUCER  
 STEADY-STATE  
 TRANSDUCER  
 TRANSMITTER

#### DYNAMIC TERMINOLOGY

ATTENUATION  
 BODE DIAGRAM  
 BREAK POINT  
 CORNER FREQUENCY  
 DAMPING  
 DAMPING FACTOR  
 DAMPING, RELATIVE  
 GAIN  
   GAIN, DYNAMIC  
 PHASE DIFFERENCE  
 RESONANCE

RESPONSE

- RESPONSE, DYNAMIC
- RESPONSE, FREQUENCY CHARACTERISTIC
- RESPONSE, RAMP
- RESPONSE, STEP
- RESPONSE, TIME

TIME

- TIME CONSTANT
- TIME, DEAD
- TIME, RAMP RESPONSE
- TIME, RISE
- TIME, SETTLING
- TIME, STEP RESPONSE
- TRANSFER FUNCTION
- TRANSIENT OVERSHOOT

GENERAL INSTRUMENT TERMS

- AIR CONSUMPTION
- CALIBRATE
- IMPEDANCE
  - IMPEDANCE, INPUT
  - IMPEDANCE, OUTPUT
- INDICATOR TRAVEL
- LOAD VOLTAGE REGULATION
- MEASURED VARIABLE
- OPERATING CONDITIONS
  - OPERATING CONDITIONS, NORMAL
  - OPERATING CONDITIONS, REFERENCE
- OPERATIVE LIMITS
- PEN TRAVEL
- PNEUMATIC EXHAUST CAPACITY
- PNEUMATIC SUPPLY CAPACITY
- POWER CONSUMPTION
- RANGE
  - LOWER RANGE-LIMIT
  - LOWER RANGE-VALUE
  - RANGE, ELEVATED-ZERO
  - RANGE, SUPPRESSED-ZERO
  - UPPER RANGE-LIMIT
  - UPPER RANGE-VALUE
- SIGNAL
  - SIGNAL, MEASURED
- SPAN
- SUPPRESSION RATIO
- TRANSPORTATION & STORAGE CONDITIONS
- WARM-UP PERIOD

OPERATING VARIABLES

- IMMERSION LENGTH
- IMPEDANCE
  - IMPEDANCE, LOAD
  - IMPEDANCE, SOURCE

INTERFERENCE (Electrical)

- INTERFERENCE, COMMON MODE
- INTERFERENCE, DIFFERENTIAL MODE
- INTERFERENCE, ELECTROSTATIC FIELD
- INTERFERENCE, LONGITUDINAL
- INTERFERENCE, MAGNETIC FIELD
- INTERFERENCE, NORMAL MODE
- INTERFERENCE, TRANSVERSE
- MECHANICAL SHOCK
- MOUNTING POSITION
- PRESSURE
  - PRESSURE, AMBIENT
  - PRESSURE, PROCESS
  - PRESSURE, SUPPLY
- SENSING ELEMENT ELEVATION
- TEMPERATURE
  - TEMPERATURE, AMBIENT
  - TEMPERATURE, PROCESS
- THERMAL SHOCK

STATIC PERFORMANCE CHARACTERISTICS

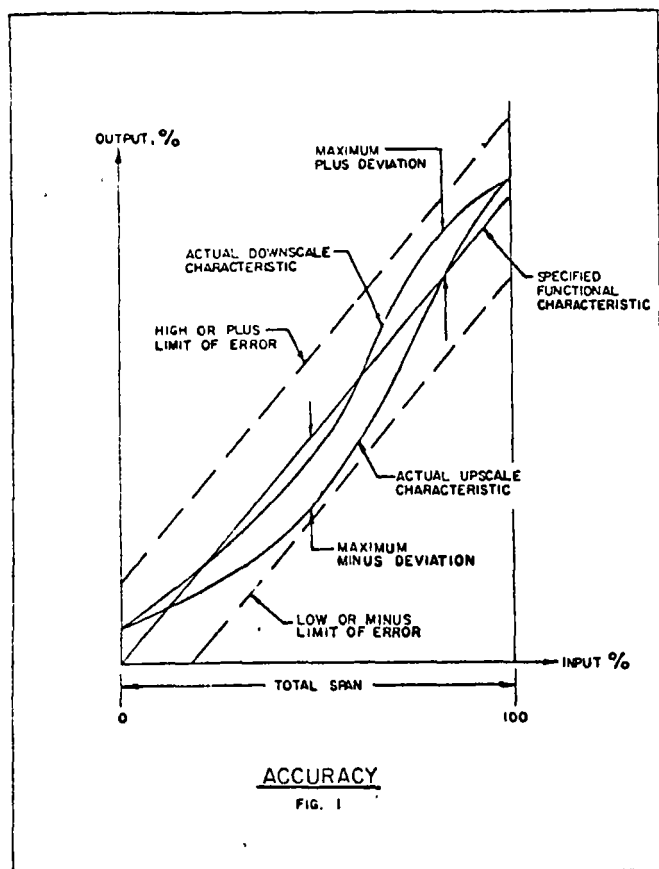
- ACCURACY
- CONFORMITY
  - CONFORMITY, INDEPENDENT
  - CONFORMITY, TERMINAL-BASED
  - CONFORMITY, ZERO-BASED
- CORRECTION
- DEAD BAND
- DRIFT
- ERROR
  - ERROR, SPAN
  - ERROR, ZERO
- GAIN
  - GAIN, STATIC
- HYSTERESIS, MAXIMUM
- LINEARITY
  - LINEARITY, INDEPENDENT
  - LINEARITY, TERMINAL-BASED
  - LINEARITY, ZERO-BASED
- OPERATING INFLUENCE
- REFERENCE PERFORMANCE
- REPEATABILITY
- REPRODUCIBILITY
- RESOLUTION
- SENSITIVITY
- ZERO SHIFT

2.5 Definitions of Terms

ACCURACY

A number or quantity which defines the limit of ERROR under REFERENCE OPERATING CONDITIONS. See Figure 1.

Note 1: Unless otherwise specified, ACCURACY is defined as that in effect under REFERENCE OPERATING CONDITIONS.



Note 2: ACCURACY includes the combined CONFORMITY, HYSTERESIS and REPEATABILITY errors. The units being used are to be stated explicitly. It is preferred that a + and/or - sign precede the number or quantity. The absence of a sign infers a + and - sign. It can be expressed in a number of forms. The following five examples are typical:

1. ACCURACY expressed in output units. Typical expression: The ACCURACY is  $\pm 1^{\circ}\text{F}$ .
2. ACCURACY expressed in percent of output SPAN. Typical expression: The ACCURACY is  $\pm 1/2\%$  of output SPAN. (This percentage is calculated using scale units such as  $^{\circ}\text{F}$ , PSI, etc.)
3. ACCURACY expressed in percent of the UPPER RANGE-VALUE. Typical expression: The ACCURACY is  $\pm 1/2\%$  of UPPER RANGE-VALUE. (This percentage is calculated using scale units such as  $^{\circ}\text{F}$ , PSI, etc.)
4. ACCURACY expressed in percent scale length. Typical expression: The ACCURACY is  $\pm 1/2\%$  of scale length.

5. ACCURACY expressed in percent of actual output reading. Typical expression: The ACCURACY is  $\pm 1\%$  of actual output reading. (This percentage is calculated using scale units such as  $^{\circ}\text{F}$ , PSI, etc.)

#### AIR CONSUMPTION

The maximum rate at which air is consumed by a DEVICE within its operating range during STEADY STATE SIGNAL conditions.

Note: It is usually expressed in standard cubic feet per minute (SCFM).

#### AMBIENT PRESSURE

See PRESSURE, AMBIENT.

#### AMBIENT TEMPERATURE

See TEMPERATURE, AMBIENT.

#### ATTENUATION

1. A decrease in SIGNAL magnitude between two points, or between two frequencies.
2. The reciprocal of gain, when the gain is less than one. REF. ASA C85.1

Note: It may be expressed as a dimensionless ratio, scalar ratio or in decibels as 20 times the log of that ratio.

#### BODE DIAGRAM

A plot of log amplitude ratio and phase angle values on a log frequency base for a TRANSFER FUNCTION. ASA C85.1

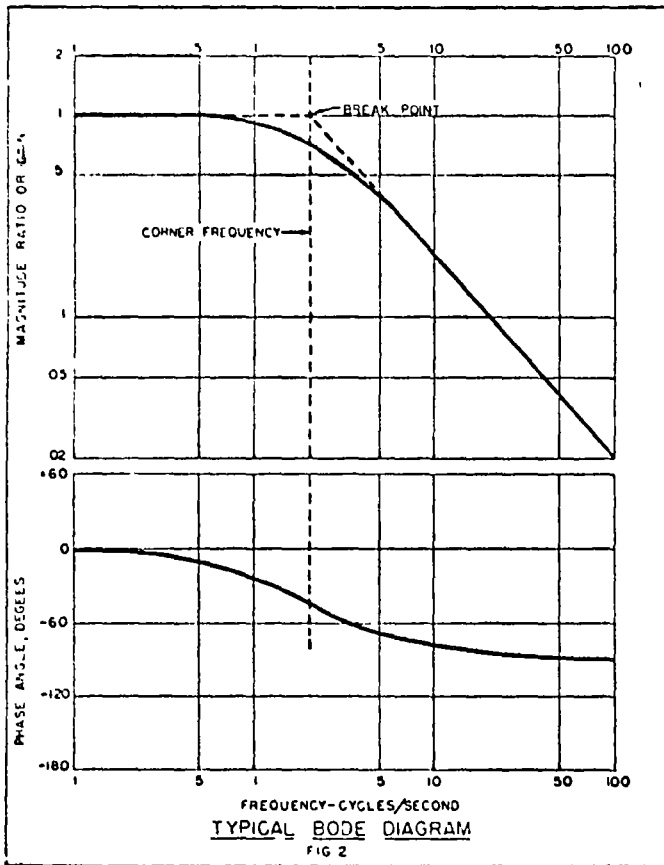
Note: This may be an ELEMENT, output or loop transfer function. See Figure 2.

#### BREAK POINT

The junction of two confluent straight-line segments of a plotted curve. See Figure 2. ASA C85.1

#### CALIBRATE

1. To ascertain, usually by comparison with a standard, the locations at which scale/chart graduations should be placed to correspond to a series of values of the quantity which the instrument is to measure, receive, or transmit.



CONFORMITY, INDEPENDENT

The value of nonconformity determined after any translation and/or rotation of the actual curve is made to minimize the maximum deviation. See Figure 4.

CONFORMITY, TERMINAL-BASED

The value of nonconformity determined after any translation and/or rotation of the actual curve is made to make it coincide with the specified curve at UPPER and LOWER RANGE-VALUES. See Figure 5.

CONFORMITY, ZERO-BASED

The value of nonconformity determined after any translation and/or rotation of the actual curve is made to make it coincide with zero on the specified curve and that minimizes the maximum deviation. See Figure 6.

CORNER FREQUENCY

The value of the abscissa of the confluence in the asymptotic approximation of a log amplitude vs. log frequency relation. See Figure 2. ASA C85.1

2. To adjust the output of a DEVICE, to bring it to a desired value, within a specified tolerance, for a particular value of the input.
3. To ascertain the ERROR in the output of a DEVICE by checking it against a standard.

REF. ASA C42.30.28.010/.015/.020

COMMON MODE INTERFERENCE

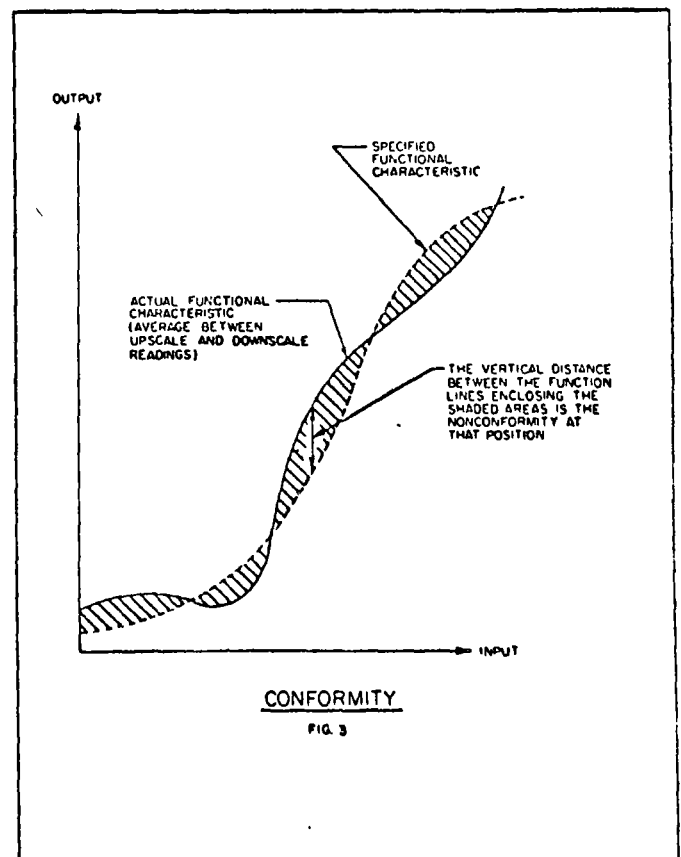
See INTERFERENCE, COMMON MODE.

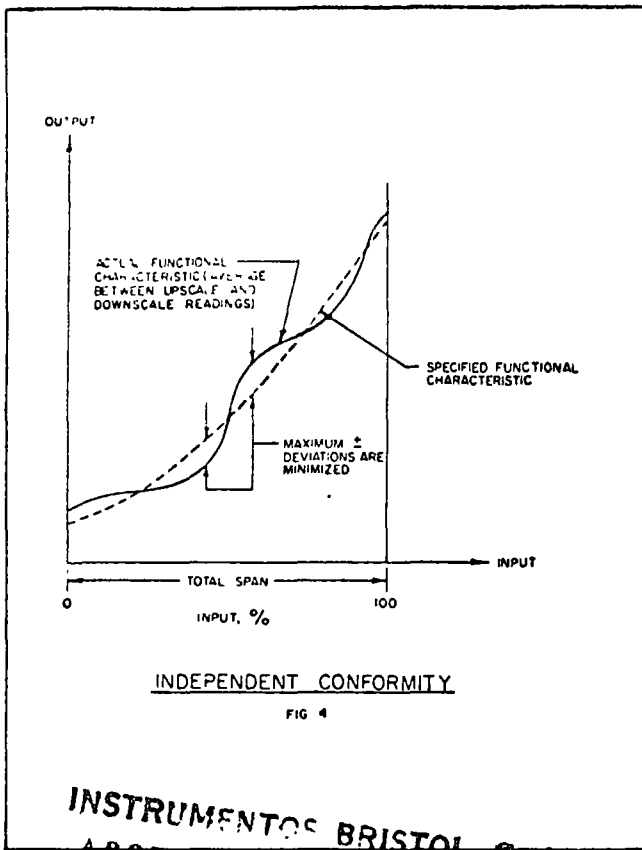
CONFORMITY

Of a curve, the closeness to which it approximates a specified functional curve (e.g. logarithmic, parabolic, cubic, etc.) See Figure 3.

Note: It is usually expressed in terms of nonconformity, e.g., the maximum deviation between an average curve and a specified functional curve. The average curve is determined after making two or more full RANGE traverses in opposite directions. The value of nonconformity is referred to the output unless otherwise stated. REF. ASA C85.1

See LINEARITY.





**INSTRUMENTOS BRISTOL, S. A.**  
 AV. OTTAVIANO No. 6  
 MEXICO 10, D. F.  
 TELS. 676-73-88 676-80-72

**DAMPING FACTOR**

For the free oscillation of a second-order linear system, a measure of **DAMPING**, expressed (without sign) as the quotient of the greater by the lesser of a pair of consecutive swings of the output (in opposite directions) about an ultimate **STEADY-STATE** value. See Figure 7. REF. ASA C85.1

**DAMPING, RELATIVE**

For an underdamped system, a number expressing the quotient of the actual **DAMPING** of a second-order linear system or **ELEMENT** by its critical **DAMPING**.

Note: For any system whose **TRANSFER FUNCTION** includes a quadratic factor  $s^2 + 2z\omega_n s + \omega_n^2$ , **RELATIVE DAMPING** is the value of  $z$ , since  $z = 1$  for critical **DAMPING**. Such a factor has a root  $-\sigma + j\omega$  in the complex  $s$ -plane, from which  $z = \sigma / \omega_n = \sigma / (\sigma^2 + \omega^2)^{1/2}$ . ASA C85.1

**CORRECTION**

The difference between the true value and the indication of the measured quantity.

Note: A positive **CORRECTION** denotes that the indication of the instrument is less than the true value.

**CORRECTION = True - Indication**

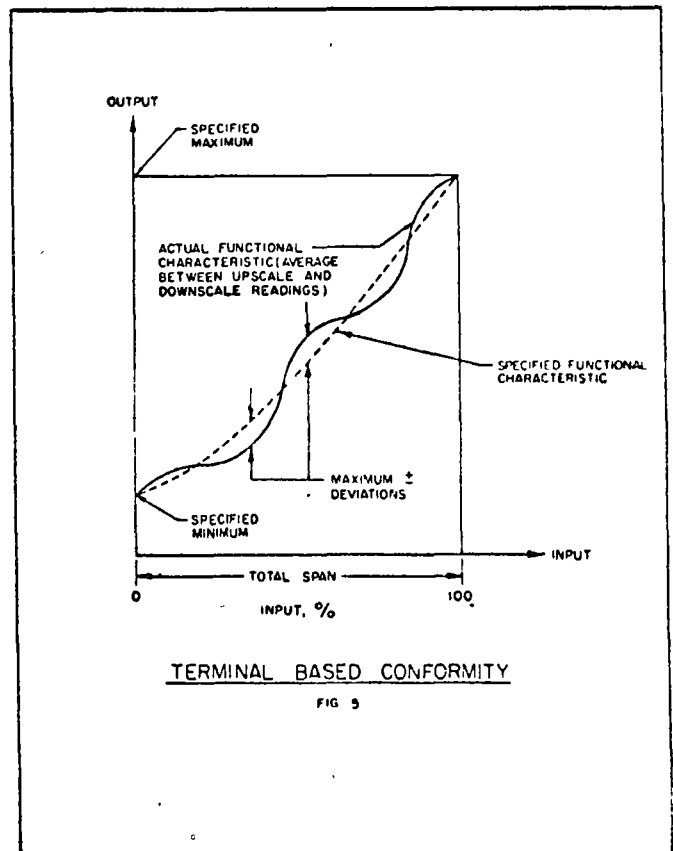
REF. ASA C39.4, 4.10

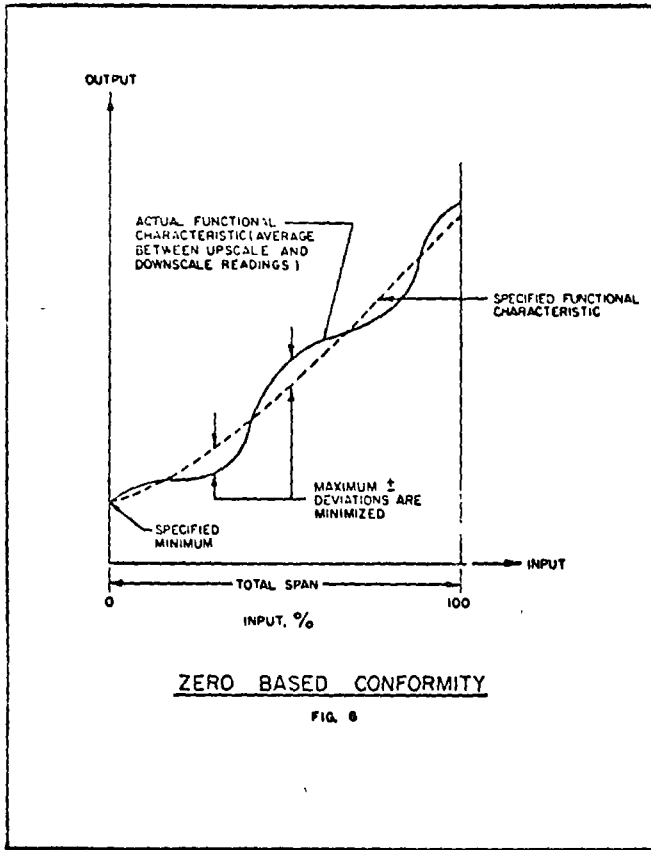
See **ERROR**.

**DAMPING**

The manner in which the output settles to its **STEADY-STATE** value after a change in the value of **MEASURED SIGNAL**. REF. ASA C39.2

Note: When the **TIME RESPONSE** to an abrupt stimulus is as fast as possible without overshoot, the response is said to be "critically damped"; "underdamped" when overshoot occurs; "over-damped" when response is slower than critical. ASA C85.1





**DEVICE**

An apparatus for performing a prescribed function.

**DIFFERENTIAL MODE INTERFERENCE**

See INTERFERENCE, DIFFERENTIAL MODE.

**DRIFT**

An undesired change in output over a period of time, which change is unrelated to input, OPERATING CONDITIONS, or load.

Note: DRIFT is usually expressed as the change in output over a specified time with fixed input, and OPERATING CONDITIONS. REF. ASA C85.1

**DYNAMIC GAIN**

See GAIN, DYNAMIC.

**DYNAMIC RESPONSE**

See RESPONSE, DYNAMIC.

**DEAD BAND**

The RANGE through which an input can be varied without initiating response.

Note: DEAD BAND is usually expressed in percent of SPAN.

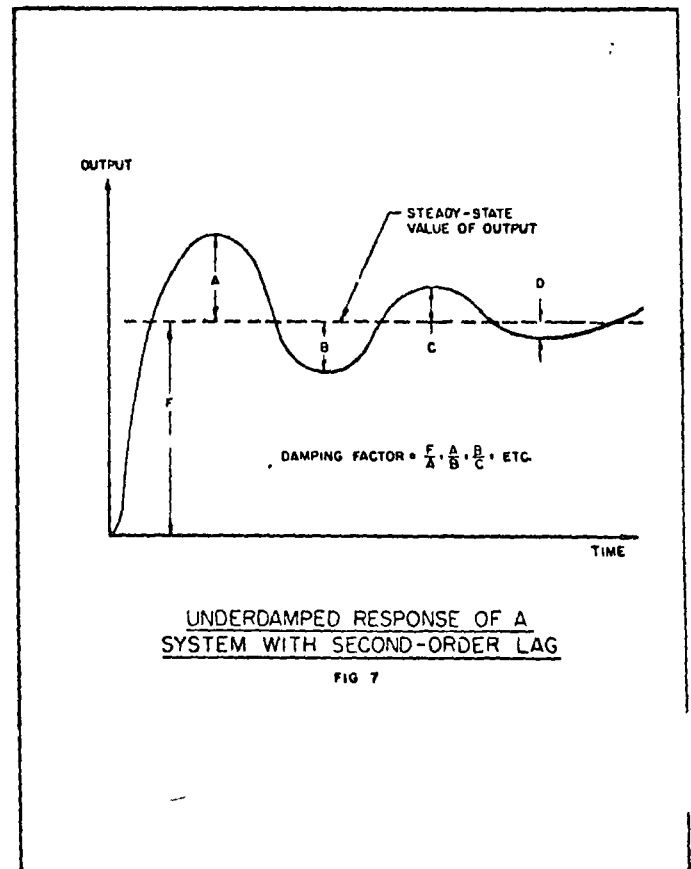
Resolution Sensitivity and Ultimate Sensitivity have been defined as one-half DEAD BAND. When the output is at the center of the DEAD BAND, they denote the minimum change in measured quantity required to initiate response.

Since this condition is not normally achieved and is not readily recognizable, these terms are not used in this standard.

SENSITIVITY has frequently been used to denote the same quantity. However, its usage in this sense is deprecated since it is not in accord with accepted standard definitions of the term. REF. ASA C39.4, 4.5

**DEAD TIME**

See TIME, DEAD.



**ELECTROSTATIC FIELD INTERFERENCE**

See INTERFERENCE, ELECTROSTATIC FIELD.

**ELEMENT**

A component of a DEVICE or system.

**ELEMENT, SENSING**

The portion of a DEVICE directly responsive to the value of the measured quantity.

Note: It may include the case protecting the sensitive portion.

**ELEVATED-ZERO RANGE**

See RANGE, ELEVATED-ZERO.

**ERROR**

The difference between the indication and the true value of the MEASURED SIGNAL.

Note: A positive ERROR denotes that the indication of the instrument is greater than the true value.

$ERROR = \text{Indication} - \text{True}$

REF. ASA C39.4, 4.10

See CORRECTION.

**ERROR, SPAN**

The difference between the actual SPAN and the ideal SPAN.

Note: It is usually expressed as a percent of ideal SPAN.

**ERROR, ZERO**

The ERROR of a DEVICE operating under the specified conditions of use when the input is at the LOWER RANGE-VALUE. REF. ASA C85.1

**FREQUENCY RESPONSE CHARACTERISTIC**

See RESPONSE, FREQUENCY CHARACTERISTIC.

**GAIN****GAIN, DYNAMIC**

The magnitude ratio of the STEADY-STATE amplitude of the OUTPUT SIGNAL

from an ELEMENT or system to the amplitude of the INPUT SIGNAL to that ELEMENT or system, for a sinusoidal signal. ASME 54-IRD-10

Note: It may be expressed as a ratio, or in decibels as 20 times the log of that ratio for a specified frequency.

**GAIN, STATIC**

The ratio an output change to an input change after STEADY-STATE has been reached.

Note: Sometimes referred to as zero frequency gain. It may be expressed as a ratio, or in decibels as 20 times the log of that ratio. REF. ASA C85.1

See SENSITIVITY.

**HYSTERESIS, MAXIMUM**

The maximum difference for the same input between the upscale and down scale indications of the MEASURED SIGNAL during full RANGE traverses. See Figure 8.

Note 1: The difference is expressed as a percent of SPAN.

Note 2: Statement used in definition is a common usage definition and includes Hysteric Error and DEAD BAND. REF. ASA C85.1

**IMMERSION LENGTH**

The length from the free end of the bulb or well to the point of immersion in the medium, the temperature of which is being measured. RC 6B-9-1960, 2.3.8

**IMPEDANCE****IMPEDANCE, INPUT**

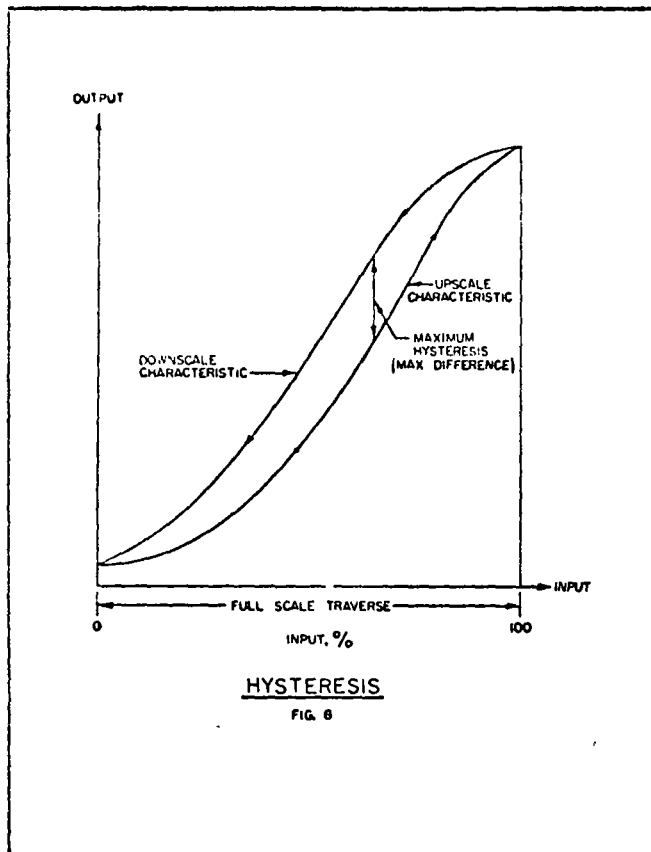
The impedance presented by a DEVICE to the source. REF. ASA C42.65.08.399

**IMPEDANCE, LOAD**

The impedance presented to the output of a DEVICE by the load. REF. ASA C42.65.08.405

**IMPEDANCE, OUTPUT**

The impedance presented by a DEVICE to the load. REF. ASA C42.65.08.402



### IMPEDANCE, SOURCE

The impedance presented to the input of a DEVICE by the source. REF. ASA C42.65. 08.396

### INDEPENDENT CONFORMITY

See CONFORMITY, INDEPENDENT.

### INDEPENDENT LINEARITY

See LINEARITY, INDEPENDENT.

### INDICATING INSTRUMENT

See INSTRUMENT, INDICATING.

### INDICATOR TRAVEL

The length of the path described by the indicating means or the tip of the pointer in moving from one end of the scale to the other.

Note 1: The path may be an arc or a straight line.

Note 2: In the case of knife-edge pointers and others extending beyond the scale division marks, the pointer shall be considered as ending at the outer end of the shortest scale division marks. REF. ASA C42.30.21.075

### INPUT IMPEDANCE

See IMPEDANCE, INPUT.

### INPUT SIGNAL

See SIGNAL, INPUT.

### INSTRUMENT

#### INSTRUMENT, INDICATING

A MEASURING INSTRUMENT in which the value of the measured quantity is visually indicated.

#### INSTRUMENT, MEASURING

A DEVICE for ascertaining the magnitude of a physical quantity or condition presented to it.

#### INSTRUMENT, RECORDING

A MEASURING INSTRUMENT in which the values of the measured quantity are recorded.

### INTERFERENCE (Electrical)

Any spurious voltage or current arising from external sources and appearing in the circuits of a DEVICE. ASA C39.4, 4.14

See NOISE.

#### INTERFERENCE, COMMON MODE

A form of INTERFERENCE which appears between measuring circuit terminals and ground. ASA C39.4, 4.14.2

#### INTERFERENCE, DIFFERENTIAL MODE

See INTERFERENCE, NORMAL MODE.

#### INTERFERENCE, ELECTROSTATIC FIELD

A form of INTERFERENCE induced in the circuits of a DEVICE due to the presence of an electrostatic field.

Note: It may appear as COMMON MODE or NORMAL MODE INTERFERENCE in the measuring circuits.

#### INTERFERENCE, LONGITUDINAL

See INTERFERENCE, COMMON MODE.

**INTERFERENCE, MAGNETIC FIELD**

A form of INTERFERENCE induced in the circuits of a DEVICE due to the presence of a magnetic field.

Note: It may appear as COMMON MODE or NORMAL MODE INTERFERENCE in the measuring circuits.

**INTERFERENCE, NORMAL MODE**

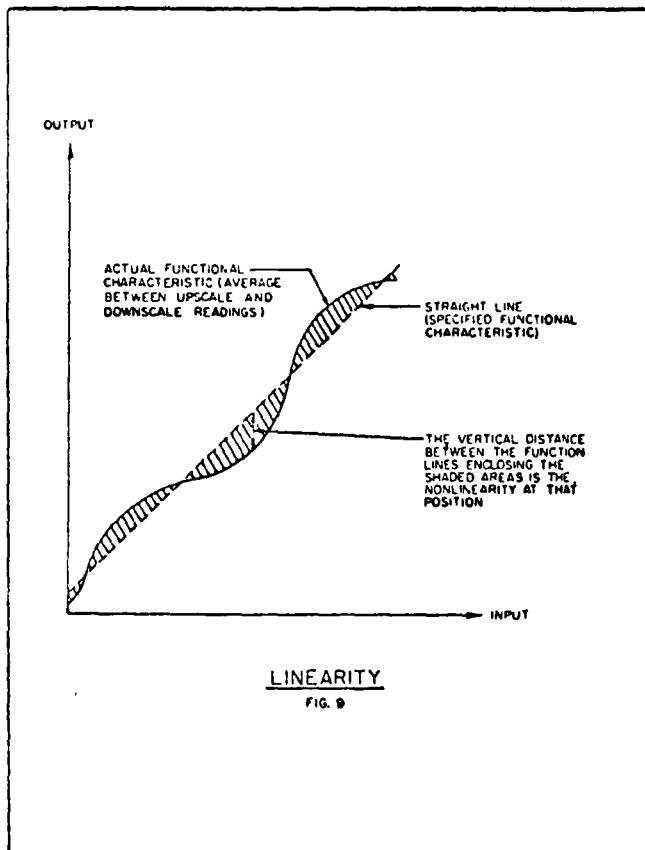
A form of INTERFERENCE which appears between measuring circuit terminals. ASA C39.4, 4.14.2

**INTERFERENCE, TRANSVERSE**

See INTERFERENCE, NORMAL MODE.

**LINEARITY**

The closeness to which a curve approximates a straight line. See Figure 9.

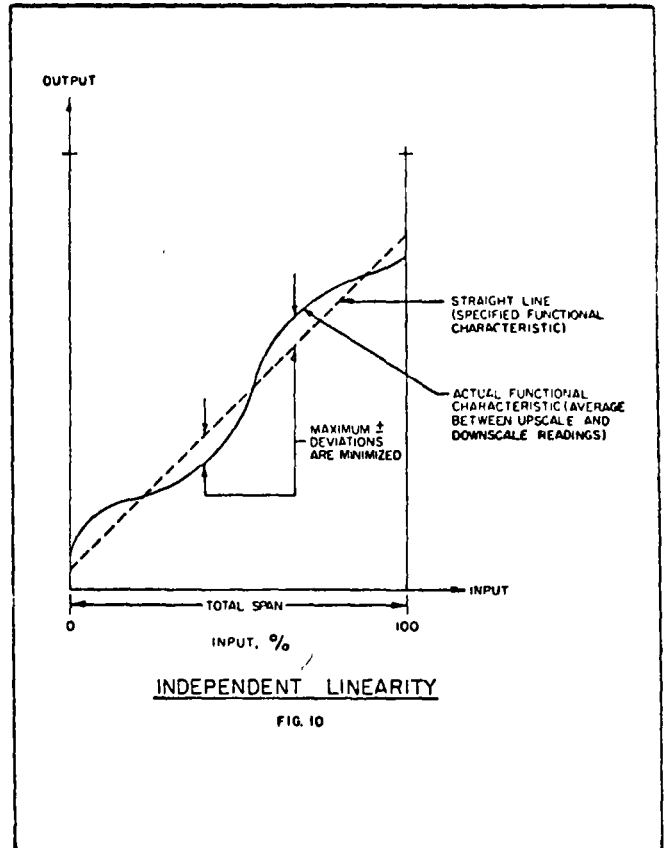


Note: It is usually expressed as a non-linearity, e. g. , a maximum deviation between an average curve and a straight line. The average curve is determined after making two or more full RANGE traverses in opposite directions. The value of non-linearity is referred to the output unless otherwise stated. REF. ASA C85.1

See CONFORMITY.

**LINEARITY, INDEPENDENT**

The value of non-linearity determined after any translation and/or rotation of the actual curve is made to minimize the maximum deviation from a straight line. See Figure 10.



**LINEARITY, TERMINAL-BASED**

The value of non-linearity determined after any translation and/or rotation of the actual curve is made to make it coincide with a straight line at UPPER and LOWER RANGE-VALUES. See Figure 11.

**LINEARITY, ZERO-BASED**

The value of non-linearity determined after any translation and/or rotation of the actual curve is made to make it coincide with a straight line through zero that minimizes the maximum deviation. See Figure 12.

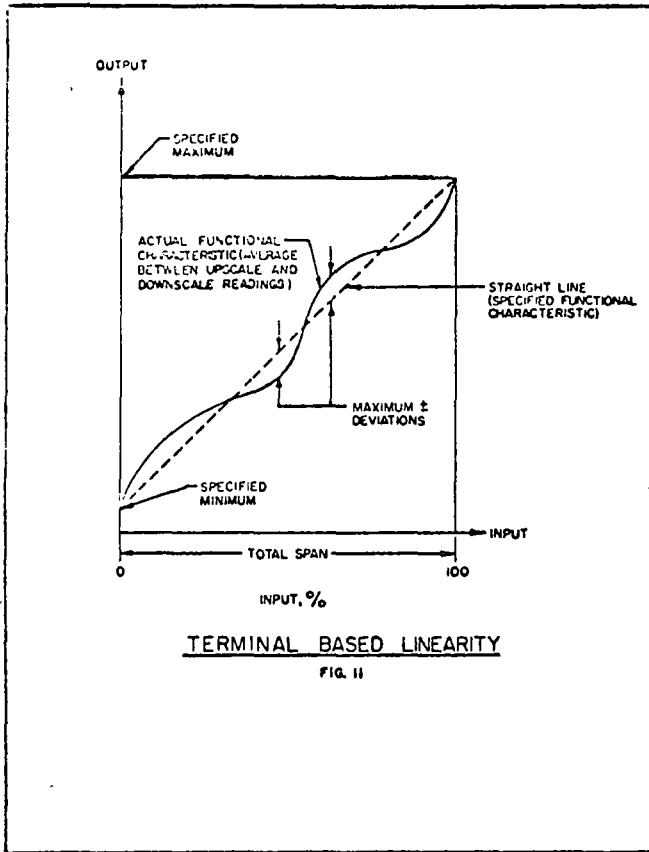
**LOAD IMPEDANCE**

See IMPEDANCE, LOAD.

**LOAD VOLTAGE REGULATION**

The change in output voltage of a power source for a specified change in the load.

Note: It may be expressed as the percentage ratio of the voltage change from no load to rated load divided by the no load voltage.



**LONGITUDINAL INTERFERENCE**

See INTERFERENCE, COMMON MODE.

**MAGNETIC FIELD INTERFERENCE**

See INTERFERENCE, MAGNETIC FIELD.

**MAXIMUM HYSTERESIS**

See HYSTERESIS, MAXIMUM.

**MEASURED SIGNAL**

See SIGNAL, MEASURED.

**MEASURED VARIABLE**

The physical quantity, property, or condition which is to be measured. REF. ASA C39.4. 4. 18

Note 1: It is sometimes referred to as the measurand.

Note 2: Common MEASURED VARIABLES are temperature, pressure, rate of flow, thickness, speed, etc. See Table 2.

See SIGNAL, MEASURED.

**MEASURING INSTRUMENT**

See INSTRUMENT, MEASURING.

**MECHANICAL SHOCK**

The momentary application of an acceleration force to a DEVICE.

Note: It is usually expressed in units of gravity (g).

**MOUNTING POSITION**

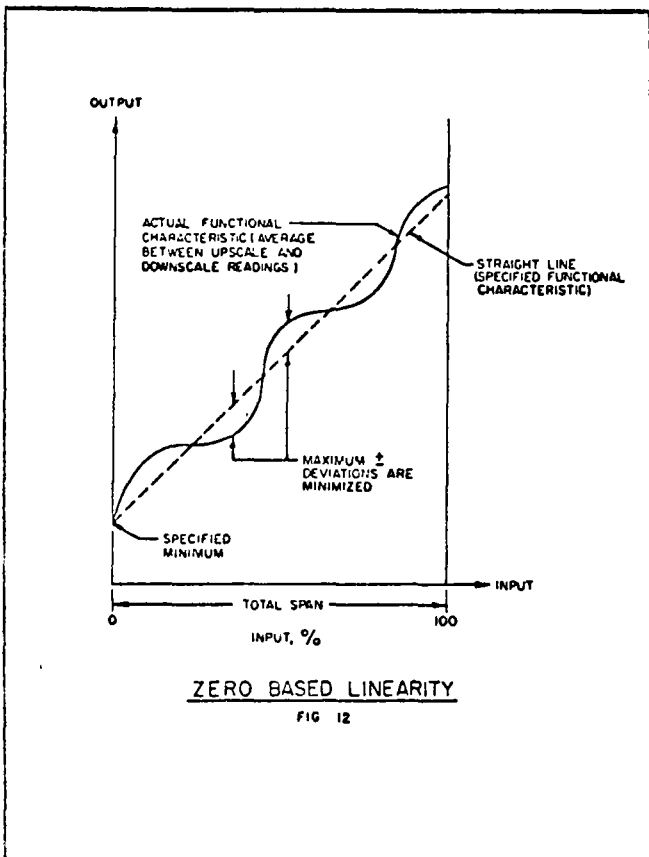
The position of a DEVICE relative to physical surroundings.

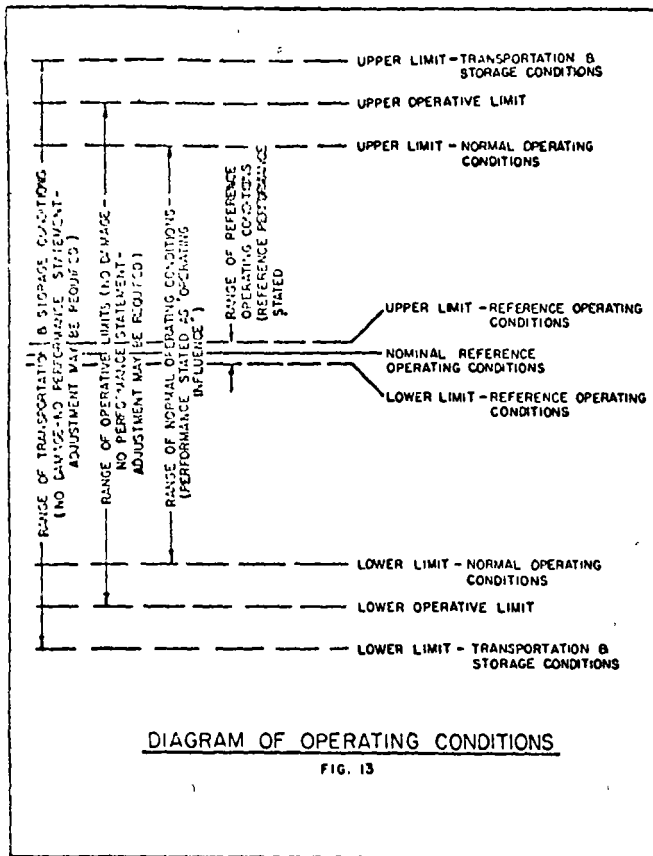
**NOISE**

An unwanted component of a SIGNAL or variable which obscures its information content. REF. ASA C85.1

Note: It may be expressed in units of the output or in percent of output SPAN.

See INTERFERENCE (Electrical).





### NORMAL MODE INTERFERENCE

See INTERFERENCE, NORMAL MODE.

### NORMAL OPERATING CONDITIONS

See OPERATING CONDITIONS, NORMAL.

### OPERATING CONDITIONS

Conditions (such as AMBIENT TEMPERATURE, AMBIENT PRESSURE, vibration, etc.) to which a DEVICE is subjected, but not including the variable measured by the DEVICE. REF. IEC-51,2.5.1

#### OPERATING CONDITIONS, NORMAL

The range of OPERATING CONDITIONS within which a DEVICE is designed to operate and under which OPERATING INFLUENCES are usually stated. REF. ASA C39.4.4.27 See Figure 13.

#### OPERATING CONDITIONS, REFERENCE

The range of OPERATING CONDITIONS of a DEVICE, within which OPERATING INFLUENCES are negligible.

Note 1: The range is usually narrow.

Note 2: They are the conditions under which REFERENCE PERFORMANCE is stated and the base from which the values of OPERATING INFLUENCES are determined. See Figure 13.

### OPERATIVE LIMITS

The range of OPERATING CONDITIONS to which a DEVICE may be subjected without permanent impairment of operating characteristics. REF. ASA C39.4.4.12

Note 1: In general, performance characteristics will not be stated in the region between the limits of NORMAL OPERATING CONDITIONS and OPERATIVE LIMITS.

Note 2: Upon returning within the limits of NORMAL OPERATING CONDITIONS, a DEVICE may require adjustments to restore normal performance. See Figure 13.

### OPERATING INFLUENCE

The change in a designated performance characteristic caused solely by a prescribed change in a specified operating variable from REFERENCE OPERATING CONDITION to another specified OPERATING CONDITION, all other operating variables being held within the limits of REFERENCE OPERATING CONDITIONS.

Note: The specified OPERATING CONDITIONS are usually the limits of the NORMAL OPERATING CONDITIONS. REF. ASA C39.4

OPERATING INFLUENCE may be stated in either of two ways:

1. As the total change in a performance characteristic from reference OPERATING CONDITION to another specified OPERATING CONDITION.

Example: Voltage influence on ACCURACY may be expressed as:

2% of SPAN based on a change in voltage from reference value of 120 volts to normal value of 130 volts.

or

2. As a coefficient expressing the change in a performance characteristic corresponding to unit change of the OPERATING CONDITION, from REFERENCE OPERATING CONDITION to another specified OPERATING CONDITION.

Example a: Voltage influence on ACCURACY may be expressed as:

$$\frac{2\% \text{ of SPAN}}{130V - 120V} = 0.2\% \text{ of SPAN per volt}$$

Note: If the relation between OPERATING INFLUENCE and change in OPERATING CONDITION is linear, one coefficient will suffice. If it is non-linear, it may be desirable to state more than one coefficient such as .05% per volt from 120 to 125V, and .15% from 125 to 130V.

Example b: Temperature influence on SPAN may be expressed as:

$$\frac{2.5\% \text{ of SPAN}}{125F - 75F} = 0.05\% \text{ of SPAN per } ^\circ F$$

#### OUTPUT IMPEDANCE

See IMPEDANCE, OUTPUT.

#### OUTPUT SIGNAL

See SIGNAL, OUTPUT.

#### PEN TRAVEL

The length of the path described by the pen in moving from one end of the chart scale to the other. The path may be an arc or a straight line.

#### PHASE DIFFERENCE

Between sinusoidal input and output of the same frequency, phase angle of the output minus phase angle of the input. ASA C85.1

#### PNEUMATIC EXHAUST CAPACITY

The maximum rate at which a DEVICE can exhaust air from a load at a 1 psi drop in pressure, at a specified pressure level.

Note 1: It is usually expressed in standard cubic feet per minute, (SCFM).

Note 2: The pressure drop is to be measured across the DEVICE only.

#### PNEUMATIC SUPPLY CAPACITY

The maximum rate at which a DEVICE can supply air to a load at a 1 psi drop in pressure, at a specified pressure level.

Note 1: It is usually expressed in standard cubic feet per minute, (SCFM).

Note 2: The pressure drop is to be measured across the DEVICE only.

#### POWER CONSUMPTION

The maximum wattage used by a DEVICE within its operating RANGE during STEADY-STATE SIGNAL condition.

Note: For a power factor other than unity, POWER CONSUMPTION shall be stated as maximum volt-amperes used under above stated conditions.

#### PRESSURE

##### PRESSURE, AMBIENT

The pressure of the medium surrounding a DEVICE.

##### PRESSURE, PROCESS

The pressure of the process medium at the SENSING ELEMENT.

##### PRESSURE, SUPPLY

The pressure at the supply port of the DEVICE.

#### PRIMARY ELEMENT (DETECTOR)

The first system ELEMENT that responds quantitatively to the MEASURED VARIABLE and performs the initial measurement operation.

Note 1: A PRIMARY ELEMENT performs the initial conversion of measurement energy.

Note 2: For transmitters not used with external PRIMARY ELEMENTS, the sensing portion is the PRIMARY ELEMENT.

REF. ASA C39.4.4.24

## PROCESS PRESSURE

See PRESSURE, PROCESS.

## PROCESS TEMPERATURE

See TEMPERATURE, PROCESS.

## RAMP RESPONSE

See RESPONSE, RAMP.

## RAMP RESPONSE TIME

See TIME, RAMP RESPONSE.

## RANGE

The region between the limits within which a quantity is measured, received, or transmitted, expressed by stating the LOWER and UPPER RANGE-VALUES. REF. ASA C42.30. 21.055

Note 1: For example:

- a. 0 to 150F
- b. -20 to +200F
- c. 20 to 150F

Note 2: Unless otherwise modified, input RANGE is implied.

Note 3: The following compound terms are used with suitable modifications in the units: MEASURED VARIABLE RANGE, MEASURED SIGNAL RANGE, Indicating-Scale Range, Chart Scale Range, etc. See Tables 1 and 2.

Note 4: For multi-range devices, this definition applies to the particular RANGE that the DEVICE is set to measure.

## LOWER RANGE-LIMIT

The lowest quantity that a DEVICE can be adjusted to measure.

Note: The following compound terms are used with suitable modifications to the units: MEASURED VARIABLE LOWER RANGE-LIMIT, MEASURED SIGNAL LOWER RANGE-LIMIT, etc.

See Tables 1 and 2.

## LOWER RANGE-VALUE

The lowest quantity that a DEVICE is adjusted to measure.

Note 1: The following compound terms are used with suitable modifications in the units: MEASURED VARIABLE LOWER RANGE-VALUE, MEASURED SIGNAL LOWER RANGE-VALUE, etc.

See Tables 1 and 2.

Note 2: For multi-range devices, this definition applies to the particular RANGE that the DEVICE is set to measure.

## RANGE, ELEVATED-ZERO

A RANGE where the zero value of the MEASURED VARIABLE, MEASURED SIGNAL, etc., is greater than the LOWER RANGE-VALUE.

Note: The zero may be between the LOWER and UPPER RANGE-VALUES, at the UPPER RANGE-VALUE, or above the UPPER RANGE-VALUE.

See Table 1.

## RANGE, SUPPRESSED-ZERO

A RANGE where the zero value of the MEASURED VARIABLE is less than the LOWER RANGE-VALUE. Zero does not appear on the scale. REF. ASA C39.4.4.33

Note: For example:

20 to 100

See Table 1.

## UPPER RANGE-LIMIT

The highest quantity that a DEVICE can be adjusted to measure.

Note: The following compound terms are used with suitable modifications in the units: MEASURED VARIABLE UPPER RANGE-LIMIT, MEASURED SIGNAL UPPER RANGE-LIMIT, etc.

See Tables 1 and 2.

## UPPER RANGE-VALUE

The highest quantity that a DEVICE is adjusted to measure.

Note 1: The following compound terms are used with suitable modifications in the units:

MEASURED VARIABLE UPPER RANGE-VALUE, MEASURED SIGNAL UPPER RANGE-VALUE, etc.

See Tables 1 and 2.

Note 2: For multi-range devices, this definition applies to the particular RANGE that the DEVICE is set to measure.

#### RECORDING INSTRUMENT

See INSTRUMENT, RECORDING.

#### REFERENCE OPERATING CONDITIONS

See OPERATING CONDITIONS, REFERENCE.

#### REFERENCE PERFORMANCE

Performance attained under REFERENCE OPERATING CONDITIONS.

Note: Performance includes such things as ACCURACY, DEAD BAND, REPEATABILITY, HYSTERESIS, LINEARITY, etc.

#### REPEATABILITY

The closeness of agreement among a number of consecutive measurements of the output for the same value of the MEASURED SIGNAL under the same OPERATING CONDITIONS, approaching from the same direction, for full RANGE traverses. See Figure 14.

Note: It is usually expressed as a maximum non-repeatability in percent of SPAN. It does not include HYSTERESIS.

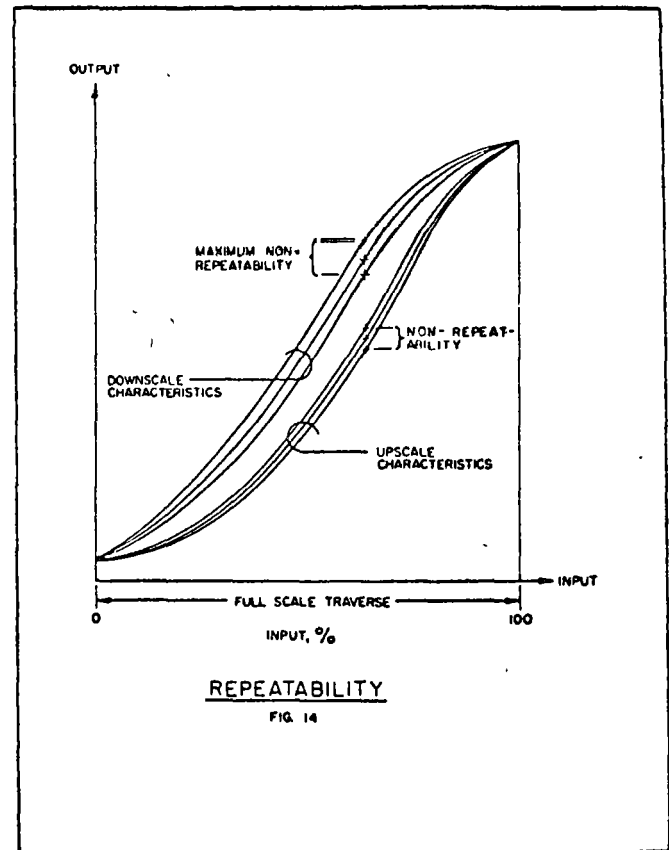
#### REPRODUCIBILITY

The closeness of agreement among repeated measurements of the output for the same value of input made under the same OPERATING CONDITIONS over a period of time, approaching from either direction.

Note: It is expressed as a maximum non-reproducibility in percent of SPAN for a specified time. Normally, this implies a long period of time, but under certain conditions the period may be a short time during which DRIFT may be included.

REPRODUCIBILITY includes HYSTERESIS, DRIFT, REPEATABILITY, and DEAD BAND.

OPERATING CONDITIONS and input may vary between normal OPERATING LIMITS between measurements.



#### RESOLUTION

The least interval between two adjacent discrete details which can be distinguished one from the other.

Note: RESOLUTION is termed fine or coarse as the interval is small or large. For continuous-reading DEVICES, SAMA deprecates use of the term in the sense of "Resolution Sensitivity" because "specified conditions" are so seldom given. REF. ASA C85.1

#### RESONANCE

Of system or ELEMENT, a condition evidenced by large oscillatory amplitude, which results when a small amplitude of a periodic input has a frequency approaching one of the natural frequencies of the driven system. ASA C85.1

#### RESPONSE

##### RESPONSE, DYNAMIC

The behavior of the output of a DEVICE as a function of the input, both with respect to time. REF. ASA C39.4

## RESPONSE, FREQUENCY CHARACTERISTIC

The frequency-dependent relation, in both amplitude and phase, between STEADY-STATE sinusoidal inputs and the resulting fundamental sinusoidal outputs. REF. ASA C85.1

Note: FREQUENCY RESPONSE is commonly plotted on a BODE DIAGRAM. See Figure 2.

## RESPONSE, RAMP

The total (transient plus STEADY-STATE) TIME RESPONSE resulting from a sudden increase in the rate of change in the input from zero to some finite value. ASA C85.1

## RESPONSE, STEP

The TIME RESPONSE of an instrument when subjected to an instantaneous change in input from one STEADY-STATE value to another. REF. ASA C39.4

## RESPONSE, TIME

An output, expressed as a function of time, resulting from the application of a specified input under specified OPERATING CONDITIONS. See Figure 15. ASA C85.1

## RISE TIME

See TIME, RISE.

## SENSING ELEMENT

See ELEMENT, SENSING.

## SENSING ELEMENT ELEVATION

The difference in elevation between the SENSING ELEMENT and the case.

Note: The elevation is considered positive when the SENSING ELEMENT is above the case.

## SENSITIVITY

The ratio of a change in output to the change of input which causes it, after STEADY-STATE has been reached.

Note: It is expressed as a numerical ratio with the units of measurement of the two quantities stated.

See GAIN, STATIC.

## SETTLING TIME

See TIME, SETTLING.

## SIGNAL

Information about a variable that can be transmitted. REF. ASA C85.1

## SIGNAL, INPUT

A SIGNAL applied to a DEVICE, ELEMENT, or system. REF. ASA C85.1

## SIGNAL, MEASURED

The electrical, mechanical, pneumatic, or other variable applied to the input of a DEVICE. It is the analog of the MEASURED VARIABLE produced by a TRANSDUCER (when such is used). REF. ASA C39.4.4.19

Note: For example:

In a thermocouple thermometer system, the MEASURED SIGNAL is an emf which is the electrical analog of the temperature applied to the thermocouple.

In a flow meter, the MEASURED SIGNAL may be a differential pressure which is the analog of the rate of flow through the orifice.

In an electric tachometer system, the MEASURED SIGNAL may be a voltage which is the electrical analog of the speed of rotation of the part coupled to the tachometer generator.

See Table 2.

See MEASURED VARIABLE.

## SIGNAL, OUTPUT

A SIGNAL delivered by a DEVICE, ELEMENT, or system. REF. ASA C85.1

## SIGNAL TO NOISE RATIO

Ratio of SIGNAL amplitude to noise amplitude.

Note: For sinusoidal SIGNALS amplitude may be peak or rms. For non-sinusoidal SIGNALS, peak values should be used.

## SIGNAL TRANSDUCER (Signal Converter)

A TRANSDUCER which converts one standardized transmission SIGNAL to another.

## SOURCE IMPEDANCE

See IMPEDANCE, SOURCE.

## SPAN

The algebraic difference between the UPPER and LOWER RANGE-VALUES. REF. ASA C42. 30. 21. 068

Note 1: For example:

- a. RANGE 0 to 150F, SPAN 150F
- b. RANGE -20 to 200F, SPAN 220F
- c. RANGE 20 to 150F, SPAN 130F

Note 2: The following compound terms are used with suitable modifications in the units: MEASURED VARIABLE SPAN, MEASURED SIGNAL SPAN, etc.

Note 3: For multi-range devices, this definition applies to the particular RANGE that the DEVICE is set to measure.

See Table 1.

## SPAN ERROR

See ERROR, SPAN.

## STATIC GAIN

See GAIN, STATIC.

## STEADY-STATE

A characteristic of a condition, such as value, rate, periodicity, or amplitude, exhibiting only negligible change over an arbitrary long period of time. REF. ASA C85.1

Note: It may describe a condition in which some characteristics are static, others dynamic.

## STEP RESPONSE

See RESPONSE, STEP.

## STEP RESPONSE TIME

See TIME, STEP RESPONSE.

## SUPPLY PRESSURE

See PRESSURE, SUPPLY.

## SUPPRESSED-ZERO RANGE

See RANGE, SUPPRESSED-ZERO.

## SUPPRESSION RATIO

(Of a SUPPRESSED-ZERO RANGE) - the ratio of the LOWER RANGE-VALUE to the SPAN. REF. ASA C39. 4. 4. 34

Note: For example:

RANGE 20 to 100

$$\text{SUPPRESSION RATIO} = \frac{20}{80} = 0.25$$

See Table 1.

## TEMPERATURE

### TEMPERATURE, AMBIENT

The temperature of the medium surrounding a DEVICE.

Note 1: For DEVICES which do not generate heat this temperature is the same as the temperature of the medium at the point of DEVICE location when the DEVICE is not present.

Note 2: For DEVICES which do generate heat this temperature is the temperature of the medium surrounding the DEVICE when it is present and dissipating heat.

Note 3: Allowable AMBIENT TEMPERATURE limits are based on the assumption that the DEVICE in question is not exposed to significant radiant energy sources.

### TEMPERATURE, PROCESS

The temperature of the process medium at the SENSING ELEMENT.

## TERMINAL-BASED CONFORMITY

See CONFORMITY, TERMINAL-BASED.

## TERMINAL-BASED LINEARITY

See LINEARITY, TERMINAL-BASED.

## THERMAL SHOCK

An abrupt temperature change applied to a DEVICE.

## TIME

### TIME CONSTANT

For a first order system, the time required for the output to complete 63.2% of the total rise or decay as a result of a step change of the input. REF. ASA C85.1

Note: Usually quoted mathematically as the value  $T$  in an exponential response term  $A \exp. (-t/T)$  or in one of the transform factors  $1 + sT$ ,  $1 + j\omega T$ ,  $1/(1 + sT)$ ,  $1/(1 + j\omega T)$ .

### TIME, DEAD

The interval of time between initiation of an input change or stimulus and the start of the resulting response. ASA C85.1 See Figure 15.

### TIME, RAMP RESPONSE

The time interval by which an output lags an input, when both are varying at a constant rate. ASA C85.1

### TIME, RISE

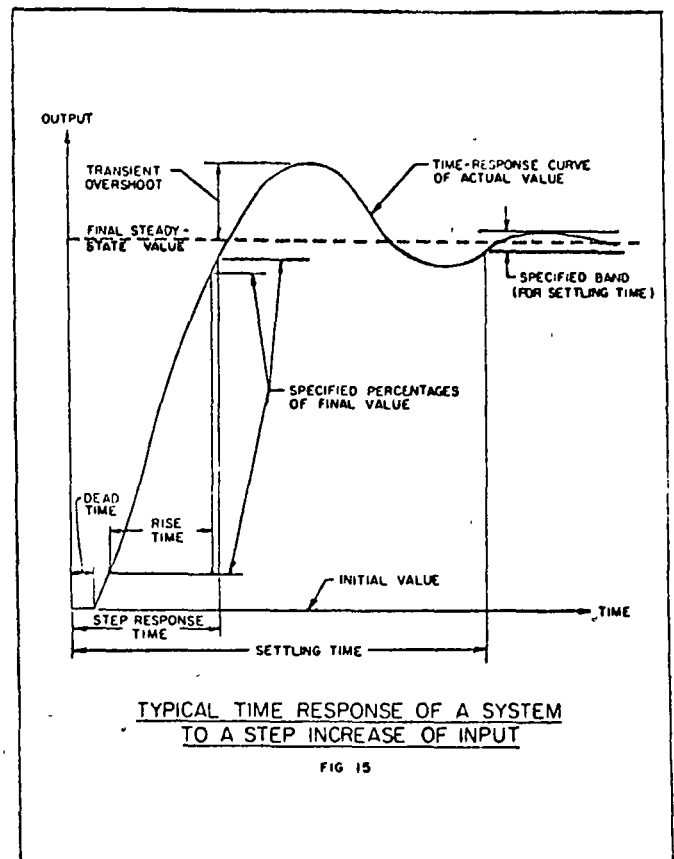
The time required for the output of a system (other than first order) to make the change from a small specified percentage (often 5 or 10) of the STEADY-STATE increment to a large specified percentage (often 90 or 95), either before or in the absence of overshoot. See Figure 15.

Note: If the term is unqualified, response to a unit step stimulus is understood, otherwise the pattern and magnitude of the stimulus should be specified. ASA C85.1

### TIME, SETTLING

The time required, following the initiation of a specified stimulus to a linear system, for the output to enter and remain within a specified narrow band centered on its STEADY-STATE value. See Figure 15.

Note: The stimulus may be a step, impulse, ramp, parabola, or sinusoid. For a step or impulse, the band is often specified as  $\pm 2\%$ . For non-linear behavior both magnitude and pattern of the stimulus should be specified. ASA C85.1



### TIME, STEP RESPONSE

Of a system or an ELEMENT, the time required for an output to make the change from an initial value to a large specified percentage of a STEADY-STATE either before or in the absence of overshoot, as a result of a step change to the input. See Figure 15. REF. ASA C85.1 (Time, Response.)

Note: Usually stated for 90, 95, 99 percent change. See "TIME CONSTANT" for use of 63% value.

## TRANSDUCER

An ELEMENT or DEVICE which receives information in the form of one physical quantity and converts it to information in the form of the same or other physical quantity.

Note: This is a general definition and applies to specific classes of DEVICES such as PRIMARY ELEMENT, SIGNAL TRANSDUCER, and TRANSMITTER. REF. ASA C85.1

See PRIMARY ELEMENT, SIGNAL TRANSDUCER and TRANSMITTER.

## TRANSFER FUNCTION

A mathematical, graphical, or tabular statement, of the influence which a system or ELEMENT has on a SIGNAL or action compared at input and at output terminals. ASA C85.1

## TRANSIENT OVERSHOOT

An excursion beyond the final STEADY-STATE value of output as the result of a step-input change. See Figure 15.

Note: It is usually referred to as the first excursion; expressed as a percentage of the STEADY-STATE output step.

## TRANSMITTER

A TRANSDUCER which responds to a MEASURED VARIABLE by means of a SENSING ELEMENT, and converts it to a standardized transmission SIGNAL which is a function only of the measurement.

## TRANSPORTATION AND STORAGE CONDITIONS

The conditions to which a DEVICE may be subjected between the time of construction and the time of installation. Also included are the conditions that may exist during shutdown.

Note: No permanent physical damage or impairment of operating characteristics shall take place under these conditions, but minor adjustments may be needed to restore performance to normal. See Figure 13.

## TRANSVERSE INTERFERENCE

See INTERFERENCE, NORMAL MODE.

## WARM-UP PERIOD

The time required after energizing a DEVICE before its rated performance characteristics apply.

## ZERO-BASED CONFORMITY

See CONFORMITY, ZERO-BASED.

## ZERO-BASED LINEARITY

See LINEARITY, ZERO-BASED.

## ZERO ERROR

See ERROR, ZERO.

## ZERO SHIFT

Any parallel shift of the input-output curve

2.6 Tables

TABLE 1  
ILLUSTRATIONS OF THE USE OF RANGE AND SPAN TERMINOLOGY

TYPICAL RANGES	NAME	RANGE	LOWER RANGE-VALUE	UPPER RANGE-VALUE	SPAN	SUPPLEMENTARY DATA
	--	0 to 100	0	+100	100	—
	SUPPRESSED ZERO RANGE	20 to 100	20	+100	80	SUPPRESSION RATIO = .25
	ELEVATED ZERO RANGE	-25 to +100	-25	+100	125	—
	ELEVATED ZERO RANGE	-100 to 0	-100	0	100	—
	ELEVATED ZERO RANGE	-100 to -20	-100	-20	80	—

TABLE 2  
ILLUSTRATIONS OF THE USE OF THE TERMS "MEASURED VARIABLE" AND "MEASURED SIGNAL"

TYPICAL RANGES	TYPE OF RANGE	RANGE	LOWER RANGE-VALUE	UPPER RANGE-VALUE	SPAN
(1) THERMOCOUPLE THERMOMETER 	MEASURED VARIABLE	0 to 2000F	0 F	2000F	2000F
	MEASURED SIGNAL	-0.68 to +44.91mV	-0.68mV	+44.91mV	45.59mV
	SCALE AND/OR CHART	0 to 2000F	0 F	2000F	2000F
(2) FLOW METER 	MEASURED VARIABLE	0 to 10,000 LB/HR	0 LB/HR	10,000 LB/HR	10,000 LB/HR
	MEASURED SIGNAL	0 to 50" Hg	0" Hg	50" Hg	50" Hg
	SCALE AND/OR CHART	0 to 10,000 LB/HR	0 LB/HR	10,000 LB/HR	10,000 LB/HR
(3) TACHOMETER 	MEASURED VARIABLE	0 to 500 RPM	0 RPM	500 RPM	500 RPM
	MEASURED SIGNAL	0 to 6V	0 V	6V	6V
	SCALE AND/OR CHART	0 to 80 MPH	0 MPH	80 MPH	80 MPH



# GLOSSARY OF TERMS FOR PROCESS CONTROL



**BRISTOL** DIVISION  
WATERBURY, CONNECTICUT 06720

SPECIFICATION SUMMARY SHEET W-1842

**Accuracy** Conformity of an indicated value to an accepted standard value, or true value.

**Accuracy, Reference** A number or quantity which defines the limit that errors will not exceed when the device is used under reference operating conditions.

Note: Reference accuracy includes the combined conformity, hysteresis and repeatability errors. The units being used are to be stated explicitly. It is preferred that a + and - sign precede the number or quantity. The absence of a sign infers a + and - sign. Reference accuracy can be expressed in a number of forms. The following examples are typical:

1. Reference accuracy expressed in terms of the measured variable. Typical expression: The reference accuracy is  $\pm 1^\circ\text{F}$ .
2. Reference accuracy expressed in percent of span. Typical expression: The reference accuracy is  $\pm \frac{1}{2}\%$  of span.
3. Reference accuracy expressed in percent of actual output reading. Typical expression: The reference accuracy is  $\pm 1\%$  of actual output reading.

**Auctioneering Device** A device which automatically selects either the highest or the lowest input signal from among two or more input signals.

**Bode Diagram** A plot of log amplitude ratio and phase angle values on a log frequency base for a transfer function.

**Control Action** The nature of the change of the output effected by the input of a controller or a controlling system.

**Control Action, Adaptive** Control action whereby automatic means are used to change the type or influence (or both) of control parameters in such a way as to improve the performance of the control system.

**Control Action, Cascade** Control action where the output of one controller is the setpoint for another controller.

**Control Action, Derivative (Rate)** Control action in which the output is proportional to the rate of change of the input.

**Control Action, Direct Digital** Control action in which control is performed by a digital device which establishes the signal to the final controlling element.

**Control Action, Feedback** Control action in which a measured variable is compared to its desired value to produce an actuating error signal which is acted upon in such a way as to reduce the magnitude of the error.

**Control Action, Feedforward** Control action in

which information concerning one or more conditions that can disturb the controlled variable is converted into corrective action to minimize deviations of the controlled variable.

Note: Feedforward control action can be combined with other types of control to anticipate and minimize deviations of the controlled variable.

**Control Action, High Limiting** Control action in which the output never exceeds a predetermined high limit value.

**Control Action, Integral (Reset)** Control action in which the output is proportional to the time integral of the input ; i.e., the rate of change of output is proportional to the input.

**Control Action, Low Limiting** Control action in which the output is never less than a predetermined low limit value.

**Control Action, Optimizing** Control action that automatically seeks and maintains the most advantageous value of a specified variable, rather than maintaining it at one set value.

**Control Action, Proportional** Control action in which there is a continuous linear relation between the output and the input.

**Control Action, Proportional Plus Derivative (Rate)** Control action in which the output is proportional to a linear combination of the input and the time rate-of-change of input.

**Control Action, Proportional Plus Integral (Reset)** Control action in which the output is proportional to a linear combination of the input and the time integral of the input.

**Control Action, Proportional Plus Integral (Reset) Plus Derivative (Rate)** Control action in which the output is proportional to a linear combination of the input, the time integral of input and the time rate-of-change of input.

**Control Action, Shared Time** Control action in which one controller divides its computation or control time among several control loops rather than acting on all loops simultaneously.

**Control Action, Supervisory** Control action in which the control loops operate independently subject to intermittent corrective action; e.g., setpoint changes from an external source.

**Control Mode** A specific type of control action such as proportional, integral or derivative.

**Control System** A system in which deliberate guidance or manipulation is used to achieve a prescribed value of a variable.

Note: It is subdivided into a controlling system and a controlled system.

**Control System, Multi-Element (Multi-Variable)** A control system utilizing input signals derived from

INSTRUMENTOS BRISTOL, S. A.

PARQUE RIO FRIO No 6

MEXICO, D. F.

TELS. 576-73-88 574-80-74

two or more process variables for the purpose of jointly affecting the action of the control system.

**Control System, Non-Interacting** A multi-element control system designed to avoid disturbances to other controlled variables due to the process input adjustments which are made for the purpose of controlling a particular process variable.

**Controller** A device which operates automatically to regulate a controlled variable.

**Controller, Direct-Acting** A controller in which the absolute value of the output signal increases as the absolute value of the input (measured variable) increases.

**Controller, Integral (Reset) (I)** A controller which produces integral control action only.

Note: May also be referred to as controller, proportional speed floating.

**Controller, Multi-position** A controller having two or more discrete values of output.

**Controller, On-Off** A multi-position controller having two discrete values of output, fully on, or fully off.

**Controller, Proportional (P)** A controller which produces proportional control action only.

**Controller, Proportional Plus Derivative (Rate), (PD)** A controller which produces proportional plus derivative (rate) control action.

**Controller, Proportional Plus Integral (Reset) (PI)** A controller which produces proportional plus integral (reset) control action.

**Controller, Proportional Plus Integral (Reset) Plus Derivative (Rate), (PID)** A controller which produces proportional plus integral (reset) plus derivative (rate) control action.

**Controller, Ratio** A controller that maintains a predetermined ratio between two or more variables.

**Controller, Reverse-Acting** A controller in which the absolute value of the output signal decreases as the absolute value of the input (measured variable) increases.

**Controller, Sampling** A controller using intermittently observed values of a signal such as the setpoint signal, the actuating error signal, or the signal representing the controlled variable, to effect control action.

**Controller, Self-Operated (Regulator)** A controller in which all the energy to operate the final controlling element is derived from the controlled system, through the sensing element.

**Controller, Time Proportioning** A controller whose output consists of periodic pulses whose duration is varied to relate, in some prescribed manner, the time average of the output to the actuating error signal.

**Controller, Time Schedule** A controller in which the setpoint (or reference input signal) automatically adheres to a predetermined time schedule.

**Controlling System**

1. Of a feedback control system, that portion which compares functions of a directly controlled variable and a setpoint; and adjusts a manipulated variable as a function of the difference. It includes the reference input elements; summing point; forward and final controlling

elements; and feedback elements (including sensing element).

2. Of an automatic control system without feedback, that portion of the control system which manipulates the controlled system.

**Damping** The progressive reduction or suppression of the oscillation of a system.

Note: When the time response to an abrupt stimulus is as fast as possible without overshoot the response is said to be "critically damped"; "underdamped" when overshoot occurs; "overdamped" when response is slower than critical.

**Damping, Relative** For an underdamped system, a number expressing the quotient of the actual damping of a second-order linear system or element by its critical damping.

Note: a second order linear system is a system which is the product of two second order lags.

**Dead Band** The range through which an input can be varied without initiating response.

Note: Dead Band is usually expressed in percent of span.

**Deviation** Any departure from a desired or expected value or pattern.

**Deviation, System** The instantaneous value of the ultimately controlled variable minus the setpoint.

**Drift** A change in the output-input relationship over a period of time.

**Element** A component of a device or system.

**Element, Final Controlling** That forward controlling element which directly changes the value of the manipulated variable.

**Element, Sensing** The portion of a device directly responsive to the value of the measured quantity.

**Elements, Feedback** Those elements in the controlling system which change the feedback signal in response to the directly controlled variable.

**Elements, Forward Controlling** Those elements in the controlling system which change a variable in response to the actuating error signal.

**Error** The algebraic difference between the indication and the true value of the measured signal. It is the quantity which algebraically subtracted from the indication gives the true value.

**Error, Span** The difference between the actual span and the ideal span.

**Error, Zero** The error of a device operating under the specified conditions of use when the input is at the lower range-value.

**Frequency Response Characteristic** The frequency-dependent relation, in both amplitude and phase, between steady-state sinusoidal inputs and the resulting fundamental sinusoidal outputs.

**Gain, Closed Loop** The gain of a closed loop system, expressed as the ratio of the output change to the input change at a specified frequency.

**Gain, Dynamic** The magnitude ratio of the steady-state amplitude of the output signal from an element or system to the amplitude of the input signal to that element or system, for a sinusoidal signal.

Note: It may be expressed as a ratio, or in decibels as 20 times the log of that ratio for a specified frequency.

**Gain, Loop** The ratio of the change in the return signal to the change in its corresponding error signal at a specified frequency.

Note: The gain of the loop elements is frequently measured by opening the loop, with appropriate terminations. The gain so measured is often called the **open loop gain**.

**Gain, Proportional** The ratio of the change in output due to proportional control action to the change in input.

**Gain, Static** The value of the gain approached as a limit as frequency approaches zero.

**Hysteresis** When used as a performance specification, the maximum difference for the same input between the upscale and downscale output values during a full range traverse in each direction.

**Impedance, Input** The impedance presented by a device to the source.

**Impedance, Load** The impedance presented to the output of a device by the load.

**Impedance, Output** The impedance presented by a device to the load.

**Impedance, Source** The impedance presented to the input of a device by the source.

**Indicator Travel** The length of the path described by the indicating means or the tip of the pointer in moving from one end of the scale to the other.

#### **Integral Action Rate (Reset Rate)**

1. Of proportional plus integral or proportional plus integral plus derivative control action devices; for a step input, the ratio of the initial rate of change of output due to integral control action to the change in steady-state output due to proportional control action.

Note: Integral action rate is often expressed as the number of repeats per minute because it is equal to the number of times per minute that the proportional response to a step input is repeated by the initial integral response.

**Interference, Common Mode** A form of interference which appears between measuring circuit terminals and ground.

Note: May also be referred to as interference, longitudinal; however interference, common mode is the preferred term.

**Interference, Differential Mode** See interference, normal mode.

**Interference, Electrical** Any spurious voltage or current arising from external sources and appearing in the circuits of a device.

**Interference, Electrostatic Field** A form of interference induced in the circuits of a device due to the presence of an electrostatic field.

Note: It may appear as common mode or normal mode interference in the measuring circuits.

**Interference, Longitudinal** See interference, common mode.

**Interference, Magnetic Field** A form of interference induced in the circuits of a device due to the presence of a magnetic field.

Note: It may appear as common mode or normal mode interference in measuring circuits.

**Interference, Normal Mode** A form of interference which appears between measuring circuit terminals.

Note: May also be referred to as interference, differential mode or interference, transverse, however interference, normal mode is the preferred term.

**Interference, Transverse** See interference, normal mode.

**Linearity** The closeness to which a curve approximates a straight line.

Note 1: It is usually measured as a nonlinearity and expressed as linearity; e.g. a maximum deviation between an average curve and a straight line. The average curve is determined after making two or more full range traverses in each direction. The value of linearity is referred to the output unless otherwise stated.

**Load, Regulation** The change in output (usually speed or voltage) from no-load to full-load (or other specified limits).

**Longitudinal Interference** See interference, common mode.

**Loop, Closed (Feedback Loop)** A signal path which includes a forward path, a feedback path and a summing point, and forms a closed circuit.

**Loop, Open** A signal path without feedback.

**Modulation** The process, or result of the process, whereby some characteristic of one wave is varied in accordance with some characteristic of another wave.

**Mounting Position** The position of a device relative to physical surroundings.

**Noise** An unwanted component of a signal or variable which obscures the information content.

Note: It may be expressed in units of the output or in percent of output span.

**Offset** The steady-state deviation when the set-point is fixed. See also deviation, steady-state.

**Operating Conditions** Conditions (such as ambient temperature, ambient pressure, vibration, etc.) to which a device is subjected, but not including the variable measured by the device.

**Operating Conditions, Normal** The range of operating conditions within which a device is designed to operate, and under which operating influences are usually stated.

**Operative Limits** The range of operating conditions to which a device may be subjected without permanent impairment of operating characteristics.

**Overrange** Of a system or element, any excess value of the input signal above its upper range-value or below its lower range-value.

INSTRON, S. A.

1970 6

TELS. 676-73-80 576-80-72

**Parameter** A controllable or variable characteristic of a system or device, temporarily regarded as a constant, the respective values of which serve to distinguish the various specific states of a (the) system or device.

**Power Consumption** The maximum wattage used by a device within its operating range during steady-state signal condition.

**Pressure, Ambient** The pressure of the medium surrounding a device.

**Pressure, Process** The pressure of the process medium at the sensing element.

**Pressure Supply** The pressure at the supply port of the device.

**Primary Element** The system element that quantitatively converts measured variable energy into a form suitable for measurement.

**Process** The collective functions performed in and by the equipment in which the variable(s) is (are) to be controlled.

**Proportional Band** The change in input required to produce a full range change in output, due to proportional control action.

**Range** The region between the limits within which a quantity is measured, received, or transmitted, expressed by stating the lower and upper range-values.

**Range, Elevated-Zero** A range where the zero value of the measured variable, measured signal, etc., is greater than the lower range-value.

Note 1: The zero may be between the lower and upper range-values, at the upper range-value, or above the upper range-value.

Note 2: Terms suppression, suppressed range or suppressed span are frequently used to express the condition in which the zero of the measured variable is greater than the lower range value. The term range, elevated-zero is preferred.

**Range, Suppressed-Zero** A range where the zero value of the measured variable is less than the lower range-value. Zero does not appear on the scale.

**Range-Limit, Lower** The lowest quantity that a device can be adjusted to measure.

**Range-Limit, Upper** The highest quantity that a device can be adjusted to measure.

**Reference Performance** Performance attained under reference operating conditions.

Note: Performance includes such things as accuracy, dead band, repeatability, hysteresis, linearity, etc.

**Repeatability** The closeness of agreement among a number of consecutive measurements of the output for the same value of the input under the same operating conditions, approaching from the same direction, for full range traverses.

Note: It is usually measured as a non-repeatability and expressed as repeatability in percent of span. It does not include hysteresis.

**Reproducibility** The closeness of agreement among repeated measurements of the output for the same value of input, made under the same operating conditions over a period of time, approaching from both directions.

Note 1: It is usually measured as a non-reproducibility and expressed as reproducibility in percent of span for a specified time period. Normally, this implies a long period of time, but under certain conditions, the period may be a short time during which drift may not be included.

Note 2: Repeatability includes hysteresis, drift and repeatability.

**Resolution** The degree to which equal values of a quantity can be discriminated by the device.

**Response, Dynamic** The behavior of the output of a device as a function of the input, both with respect to time.

**Response, Ramp** The total (transient plus steady-state) time response resulting from a sudden increase in the rate of change in the input from zero to some finite value.

**Response, Step** The time response of an instrument when subjected to an instantaneous change in input from one steady-state value to another.

**Response, Time** An output, expressed as a function of time, resulting from the application of a specified input under specified operating conditions.

**Sampling Period** The time interval between observations in a periodic sampling control system.

**Sensitivity** The ratio of a change in output magnitude to the change of input which causes it after the steady state has been reached.

Note 1: It is expressed as a ratio with the units of measurement of the two quantities stated. (The ratio is constant over the range of a linear device. For a nonlinear device the applicable input level must be stated).

Note 2: Sensitivity has frequently been used to denote the deadband. However its usage in this sense is deprecated since it is not in accord with accepted standard definitions of the term.

**Setpoint (Command)** An input variable which sets the desired value of the controlled variable.

**Signal** Information about a variable that can be transmitted.

**Signal, Error** In a closed loop, the signal resulting from subtracting a particular return signal from its corresponding input signal.

**Signal, Feedback** That return signal which results from a measurement of the directly controlled variable.

**Signal, Input** A signal applied to a device, element or system.

**Signal, Measured** The electrical, mechanical, pneumatic, or other variable applied to the input of a device. It is the analog of the measured variable produced by a transducer (when such is used).

**Signal Output** A signal delivered by a device, element or system.

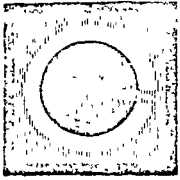
**Signal, Reference-Input** One external to a control loop which serves as the standard of comparison for the directly-controlled variable.

**Signal, Return** In a closed loop, the signal resulting from a particular input signal, and transmitted by the loop and to be subtracted from the input signal.

**Signal to Noise Ratio** Ratio of signal amplitude to noise amplitude.







centro de educación continua de la facultad de ingeniería, unam

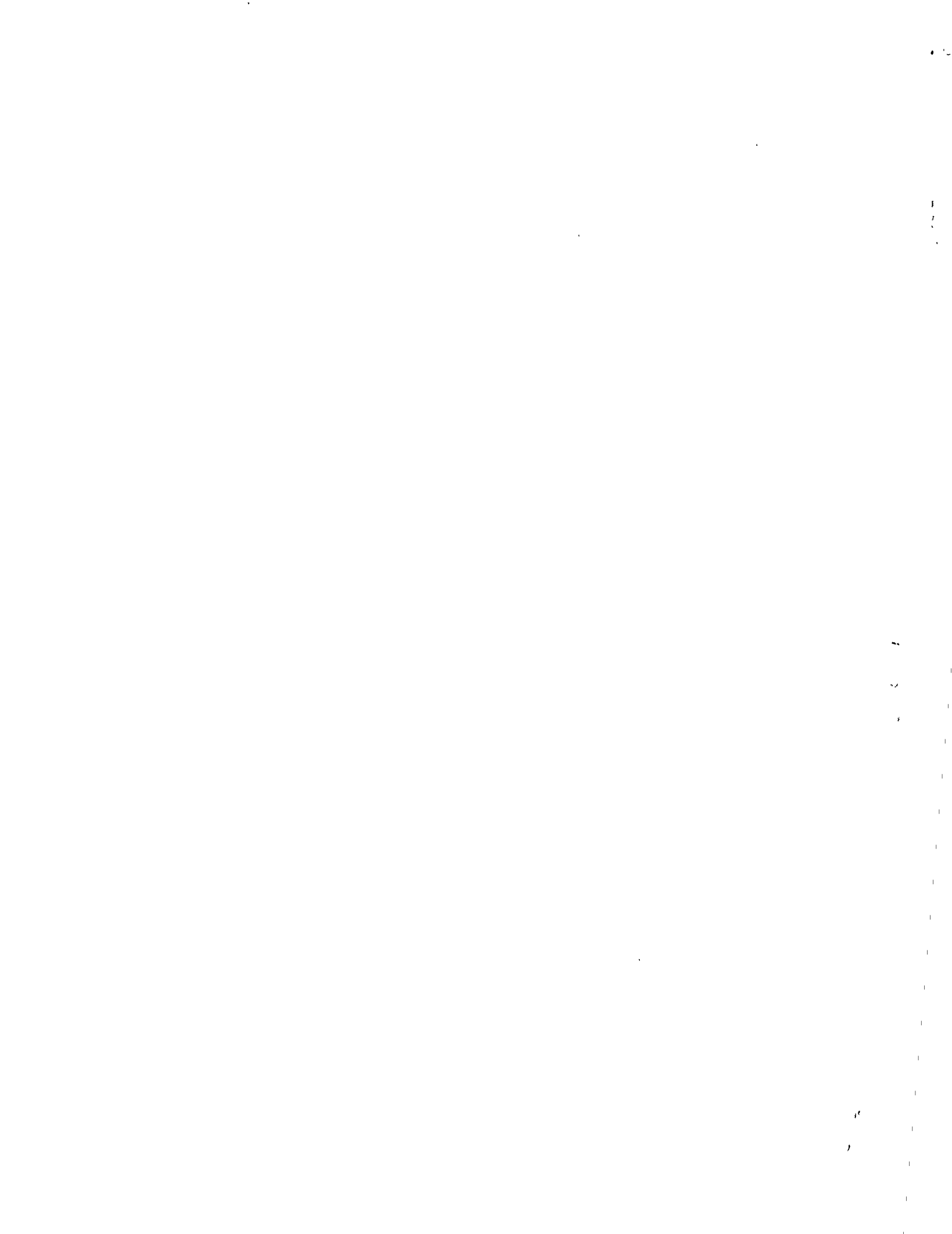


## INSTRUMENTACION NEUMATICA PARA PROCESOS INDUSTRIALES

### MEDICION DE PRESION

ING. MARIO RAFAEL GUTIERREZ

México, D. F., julio de 1972



## TABLE OF CONTENTS CONT.

<p><b>Pneumatic Force-Balance Temperature Transmitter</b> . . . . . B48</p> <p><b>Pneumatic and Electronic Indicating Temperature Transmitters</b> . . . . . B49</p> <p><b>Pneumatic Non-Indicating Temperature Transmitter</b> . . . . . B49</p> <p><b>Resistance Bulbs</b> . . . . . B50, B51</p> <p><b>Resistance-to-Current Converter</b> . . . . . B51</p> <p><b>Resistance-to-Air Converter</b> . . . . . B51</p> <p><b>Thermocouples</b> . . . . . B52</p>	<p><b>LOAD</b></p> <p>Electric Strain Measuring Cells . . . . . B58</p> <p><b>DENSITY</b></p> <p>Gas Density Measuring Cell . . . . . B59</p> <p><b>MOISTURE AND HUMIDITY</b></p> <p>Introduction, with Selector Guide . . . . . B60</p> <p>Psychrometers and Hygrometers . . . . . B61</p> <p>Dew Point Measuring Elements and Accessories . . . . . B62, B63</p> <p><b>PRODUCT ANALYSIS</b></p> <p>pH Measuring Systems and Elements . . . . . B64, B65</p> <p>ORP, REDOX Measuring Systems and Elements . . . . . B66</p> <p>Turbidity Measuring System . . . . . B67</p> <p>Ion-Selective Measuring Systems . . . . . B68, B69</p> <p>Ion-Selective Measuring System Components . . . . . B69</p> <p>Conductivity Measuring Cells and Dielectric Measuring Cells . . . . . B70</p> <p>Force-Balance Composition Deviation Transmitters, Pneumatic and Electronic . . . . . B71</p> <p>Force-Balance Consistency Transmitter . . . . . B71</p> <p><b>TELEMETERING TRANSMITTERS AND RECEIVERS</b></p> <p>Electronic 2-Second Telemeter System . . . . . B72, B73</p> <p>Electromechanical 12-Second Teletax System . . . . . B73</p>	<p>ELECTRONIC CONTROL INSTRUMENTS</p> <hr/> <p>UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS ELECTRONIC</p> <hr/> <p>PNEUMATIC CONTROL INSTRUMENTS</p> <hr/> <p>UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS PNEUMATIC</p> <hr/> <p>SPECIAL PURPOSE INSTRUMENTS</p> <hr/> <p>PANELS &amp; CABINETS</p> <hr/> <p>DIGITAL SYSTEMS</p>
---	--	--

<p><b>SPEED</b></p> <p>Pneumatic Speed Transmitter . . . . . B53</p> <p>Electric Speed Transmitters . . . . . B54</p>	<p><b>POSITION</b></p> <p>Pneumatic Position Transmitter . . . . . B55</p>	
---	--	--

<p><b>ELECTRICAL MEASUREMENT AND TRANSMISSION</b></p> <p>Electrical Measuring Elements for a-c Power, a-c Current, d-c Current, d-c Voltage, and d-c Voltage Ratio . . . . . B56</p> <p>Converters—EMF-to-Air; Pneumatic-to-Current; Current-to-Air; EMF-to-Current . . . . . B57</p>		
---	--	--

### PRESSURE MEASUREMENT

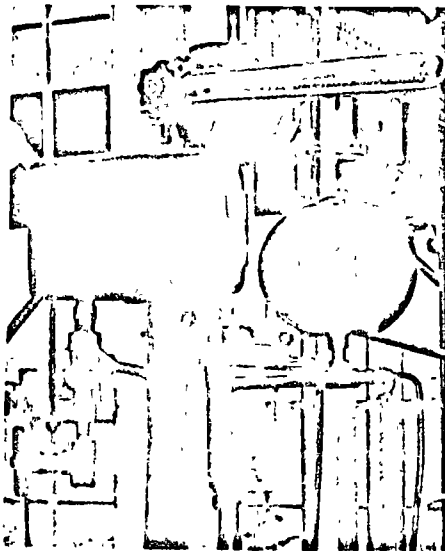


Fig. B9292

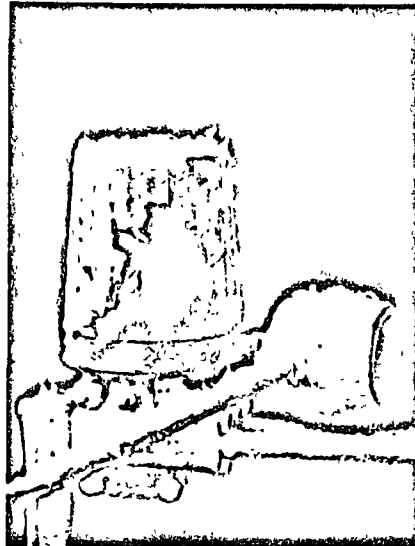


Fig. B9625

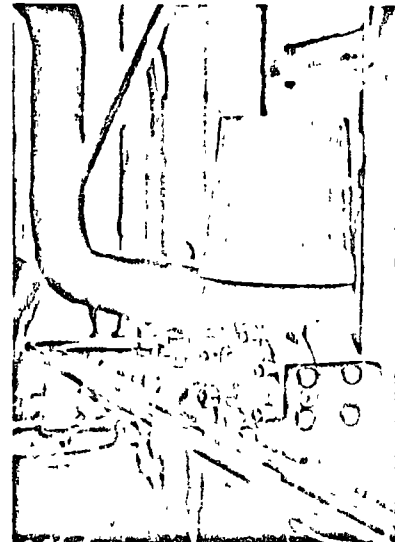


Fig. B9626

Measurement of gauge pressure, absolute pressure, and vacuum are all part of the *Foxboro Total Instrument Capability*. . . . . keys to regulation and control in almost any process industry. Pressure measurement is used in all types of applications.

There are many solutions to pressure problems. Foxboro offers a wide variety of approaches depending on user requirements. Measurement may be direct or transmitted, pneumatic or electronic. Your application may call for a simple pressure instrument, or you may require a special purpose indicator, recorder or transmitter. Foxboro pressure instru-

ments provide a complete selection of operating ranges from 0-10 mm Hg. absolute to 0-100,000 psi.

The following pages will serve as a guide in selecting the particular instruments to meet your application requirements. You'll encounter such factors as maximum operating pressures, range and span limits, accuracy, ambient conditions, overrange limits, transmission distance, and pneumatic and electronic output signals.

Your local Foxboro engineer will be pleased to assist you with any specific problems which apply to your particular process.

ELECTRONIC CONTROL INSTRUMENTS
UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS ELECTRONIC
PNEUMATIC CONTROL INSTRUMENTS
UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS PNEUMATIC
SPECIAL PURPOSE INSTRUMENTS
PANELS & CABINETS
DIGITAL SYSTEMS
FLOW
LIQUID LEVEL
TEMPERATURE
SPEED, POSITION, ELECTRIC MEASUREMENT
WEIGHT FORCE, TORQUE DENSITY
HUMIDITY & MOISTURE
PRODUCT ANALYSIS
TELEMETERING
VALVES POSITIONERS, OPERATORS
ACCESSORIES
ENGINEERING DATA

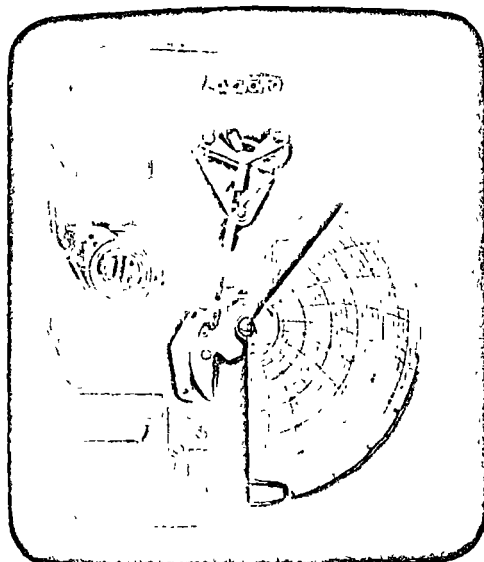
ELECTRONIC  
CONTROL  
INSTRUMENTSSERIES 200 PRIMARY  
ELEMENTS FOR PRESSUREUNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
ELECTRONICPNEUMATIC  
CONTROL  
INSTRUMENTSUNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
PNEUMATICSPECIAL  
PURPOSE  
INSTRUMENTSPANELS &  
CABINETSDIGITAL  
SYSTEMS

Fig. B5137 Cutaway of typical pressure recorder with spiral-type pressure measuring element. More than one element can be housed in most standard cases. Universal Rectangular Case instrument, shown here, continuously records up to four separate measurements on a single 12-inch chart.

PRESSURE

FLOW

LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED,  
POSITION,  
ELECTRIC  
MEASUREMENTWEIGHT FORCE,  
TORQUE,  
DENSITYHUMIDITY &  
MOISTUREPRODUCT  
ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES,  
POSITIONERS,  
OPERATORS

ACCESSORIES

ENGINEERING  
DATA

## ELEMENT DESCRIPTION

**A Diaphragm Elements** Large-surface-area diaphragms for high power, sustained accuracy at low ranges. Welded seams assure positive protection from leakage, high overrange margins. Free-floating (frictionless)—no bearings, pivots, or opposing springs. Assembly's straight-line travel insures uniform motion even at limits of range—therefore, linear calibration.

**B Bellows Elements** For low pressures. Compact, highly accurate. Bellows formed from homogeneous, seamless tubing with uniform wall thickness. Thermally stable Ni-Span C alloy calibration spring. High power relative to input pressure.

**C Spiral Elements** Pivotless, arborless construction guarantees friction-free motion with accurate, uniform response—even to the smallest pressure changes. Long, spirally-formed Bourdon tube, large in cross-section, provides abundant power and uniform motion for reliable measurement in the medium ranges.

**D Helical Elements** Correct relationship between cross-section and length of helically-formed Bourdon tube, together with pivotless, arborless construction, assures ample motion with low material stress for accurate, sustained performance in the higher pressure ranges.

**E Heavy Duty Helical Elements** For very high pressures, continuously fluctuating pressures, and other heavy-duty applications. Multi-coil construction reduces metal stress, permits greater wall thickness for long life with high safety factor.

**F Absolute Pressure Bellows Elements** One bellows element, connected to process, opposed by a second which has been evacuated and sealed. Thus all measurements are referenced to absolute zero, compensated for altitude and barometric fluctuations.

**G Absolute, Double Spiral Elements** For absolute pressure measurement. Pivotless, arborless construction guarantees friction-free motion with uniform, accurate response. One spiral element is connected to process and is directly opposed by second spiral element which has been evacuated and sealed. Therefore, all measurements are referenced to absolute zero, compensated for altitude and barometric fluctuations. Measure ranges above the capability of Absolute Pressure Bellows Element.

For pressure measurement of process fluids—liquid or gaseous, corrosive or non-corrosive—at pressure ranges from 0-8 inches of water to 80,000 psi, vacuum ranges from 0-20 inches of water to full vacuum. Connected directly to process, elements convert pressure changes to mechanical motion which positions—through self-aligning ball linkage—pen or pointer, transmitter or controller input, alarm contacts, or a combination of these—e.g., indicating transmitter, recording controller, etc.




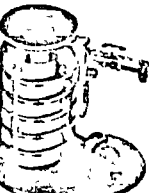

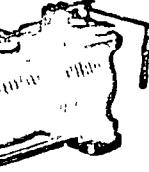

For unusually corrosive, viscous, or solids-forming process fluids, pressure seals are installed at process taps to protect primary element. Sealed measuring system (primary element, seal, and connecting tubing) is evacuated and solid-filled with liquid medium which transmits pressure changes.

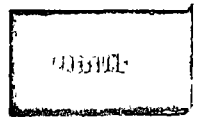
**WIDEST VARIETY OF STANDARD PRESSURE INSTRUMENTS AVAILABLE** Mechanical pressure elements listed on these pages actuate a full line of standard recorder, indicator, and controller assemblies detailed in Section A, pages A34-A43. Same elements actuate pneumatic and electronic pressure transmitters described on pages B4, B5. For transmitting pressure measurements several miles, see Telemetering, pages B72, B73.

**MATERIALS OF CONSTRUCTION SUIT PROCESS CONDITIONS** For any operating condition, whether corrosive fluids, high ambient temperatures, fouling vapors, or extreme overrange, there is available a precision pressure element fabricated from the best material for the job.

### ELEMENT CROSS REFERENCE

ELECTRONIC  
CONTROL  
INSTRUMENTS

	ELEMENT	PRESSURE RANGES	VACUUM RANGES	OVERRANGE	EXPANDED SCALE RANGES	COMPOUND RANGES		
 Fig. B5498	<b>DIAPHRAGM ELEMENTS:</b>						UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS ELECTRONIC	
	A	3-inch, Cu-Ni-Mn 2-inch, Cu-Ni-Mn	0-8 to 0-40 inches of water 0-40 inches of water to 0-5 psi	Not Available 0-40 to 0-140 inches of water	2 psi 10 psi 25 psi	Available Available		Not Available Available
 Fig. B5139	<b>BELLOWS ELEMENTS:</b>						UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS PNEUMATIC	
	B	Brass Type 316 SS	0-100 inches of water to 0-25 psi 0-4.5 to 0-29 psi	0-10 to 0-30 inches Hg Not Applicable	30 psi 60 psi	Available Available		Not Available Not Available
 Fig. B5140	<b>SPIRAL ELEMENTS:</b>						PANELS & CABINETS	
	C	Bronze	0-10 to 0-200 psi	0-20 to 0-30 inches Hg	28 psi 360 psi	Available		Available
		Beryllium-Copper	0-10 to 0-200 psi	0-20 to 0-30 inches Hg	36 psi 400 psi	Available		Available
		Ni-Span C Alloy	0-10 to 0-200 psi	0-20 to 0-30 inches Hg	22 psi 400 psi	Available		Available
Type 316 SS		0-12 to 0-200 psi	0-25 to 0-30 inches Hg	32 psi 320 psi	Available	Available		
 B5141	<b>HELICAL ELEMENTS:</b>						DIGITAL SYSTEMS	
	D	Bronze	0-201 to 0-400 psi	Not Applicable	260 psi 500 psi	Available		Available
		Beryllium-Copper	0-201 to 0-6000 psi	Not Applicable	316 psi 8000 psi	Available		Available
		Ni-Span C Alloy	0-201 to 0-6000 psi	Not Applicable	336 psi 7200 psi	Available		Available
Type 316 SS		0-201 to 0-6000 psi	Not Applicable	425 psi 8000 psi	Available	Available		
 Fig. B5142	<b>HEAVY DUTY HELICAL ELEMENTS:</b>						FLOW	
	E	Type 316 SS	0-75 to 0-30,000 psi 0-40,000 to 0-80,000 psi	Not Applicable Not Applicable	400 psi 30,000 psi 80,000 psi	Available Available		Not Applicable Not Applicable
 Fig. B5143	<b>ABSOLUTE PRESSURE BELLOWS ELEMENTS:</b>						TEMPERATURE	
	F	Brass Type 316 SS	0-100 mm Hg to 0-35 psia 0-125 mm Hg to 0-35 psia	Not Applicable Not Applicable	50 psia 35 psia	Available Available		Not Applicable Not Applicable
 Fig. B5499	<b>ABSOLUTE, DOUBLE SPIRAL ELEMENTS:</b>						WEIGHT, FORCE, TORQUE, DENSITY	
	G	Bronze	0-40 to 0-100 psia	Not Applicable	0-65 psia to 0-100 psia	Available		Not Applicable
		Beryllium-Copper	0-40 to 0-100 psia	Not Applicable	0-65 psia to 0-215 psia	Available		Not Applicable
		Ni-Span C Alloy	0-40 to 0-100 psia	Not Applicable	0-65 psia to 0-210 psia	Available		Not Applicable
Type 316 SS		0-40 to 0-100 psia	Not Applicable	0-45 psia to 0-155 psia	Available	Not Applicable		



LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED,  
POSITION,  
ELECTRIC  
MEASUREMENT

WEIGHT, FORCE,  
TORQUE,  
DENSITY

HUMIDITY &  
MOISTURE

PRODUCT  
ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES,  
POSITIONERS,  
OPERATORS

ACCESSORIES

ELECTRONIC  
CONSOLE  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
ELECTRONIC

PNEUMATIC  
CONSOLE  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
PNEUMATIC

SPECIAL  
PURPOSE  
INSTRUMENTS

PANELS &  
CABINETS

DIGITAL  
SYSTEMS

FLOW

LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED,  
POSITION,  
ELECTRIC  
MEASUREMENT

WEIGHT FORCE,  
TORQUE,  
DENSITY

HUMIDITY &  
MOISTURE

PRODUCT  
ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES,  
POSITIONERS,  
OPERATORS

ACCESSORIES

ENGINEERING  
DATA

## MODEL 45 PNEUMATIC INDICATING TRANSMITTER

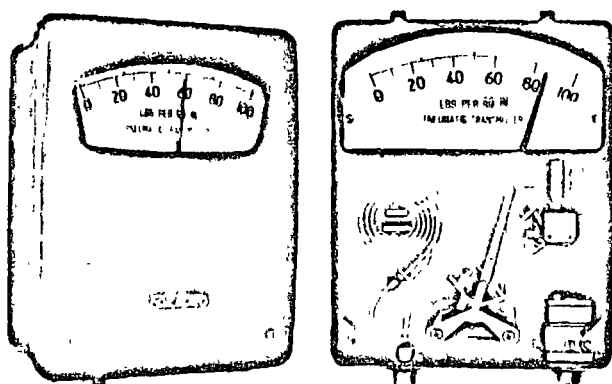


Fig. B5146

Universal-design transmitter with high input-to-output accuracy. Indicates and transmits measurement of the four major process variables, pressure, temperature, flow, liquid level as well as dew point and position. Calibration is within  $\pm 0.5$  percent of full scale. Transmitters offer uniform physical characteristics, same operating features and calibration procedures, regardless of the measured variable. Uses standard Foxboro mechanical measuring elements. Available in ranges and calibrations to meet all applications (see element ranges on pages B2, B3).

User benefits include reduced spare parts inventory, simple design, lower initial cost, low maintenance, and simplified personnel training.

Model 45 transmitters will improve plant efficiency by assuring high accuracy and better over-all loop performance.

**VERSATILE AND COMPATIBLE** Accommodates standard Foxboro mechanical measuring elements for wide variety of process applications as described above. Elements can be interchanged depending upon range requirements, overrange limits, ambient conditions, and other determining factors. Transmits to standard Foxboro universal case or pneumatic CONSOTROL receivers located up to several hundred feet away. Instrument case can accommodate single or dual electric-contact alarm unit including plug-in load relay. Pneumatic alarms also available.

**EXCELLENT TEMPERATURE STABILITY** Less than one percent zero shift per 100 F. Low ambient temperature effect, combined with sustained bench-calibrated accuracy assures better operating accuracy.

**CONTINUOUS INDICATION** Direct actuated pointer for continuous indication even on loss of air supply.

Permits checking variable during manual control under emergency conditions.

**DEPENDABLE, ACCURATE** Output signal, as well as indication, calibrated to  $\pm 0.5$  percent of full scale measurement.

**HEAVY-DUTY, WEATHERPROOF CASE** Deep-drawn steel with unbreakable polyester cover. Easily accommodates pneumatic or electric alarms.

**EASY TO READ** Highly visible scale with fluorescent red pointer. Provides long distance readability.

**INTERNALLY-MOUNTED AIR RELAY** Case is constantly purged with filter-cleaned dry air, keeping interior of case free from dust and fouling vapors.

### PRESSURE APPLICATIONS

For indicating and transmitting pressure measurements between 0 to 10 inches of water and 0 to 80,000 psi; or 0 to 30 inches of water and full vacuum.\* Indicates, with fluorescent red pointer, on 6-1/8-inch scale.

Pressure measurements are obtained from standard mechanical pressure elements listed on pages B2, B3. Transmitter unit, operating from 20 psi air supply, continuously converts position of measuring element to linearly proportional 3-15 psi signal. Transmits to pneumatic receivers up to several hundred feet from point of measurement.

\*Pressure, vacuum, or compound ranges from 0 to 0.3 to 0 to 3.0 inches of water also available.

### SPECIFICATIONS

Accuracy  $\pm 0.5$  percent of full scale.

Output Signal Either 3-15 psi or 0.2-1.0 kg per cm<sup>2</sup>. 3-27 psi available at slight addition.

Air Supply 20 psi.

Case Heavy gauge drawn steel. Green, baked textured, vinyl corrosion resistant finish.

Cover Green, fiber glass reinforced polyester. Tongue-and-groove gasketed, weatherproof

Dimensions (inches) 9-1/8 W x 11-3/8 H x 4-7/8 D.

Scale Eccentric, 6-1/8-inch effective length. Black numerals and legends on white background. Red fluorescent pointer.

Mounting Universal bracket for surface or 2-inch pipe. 2-inch yoke for flow transmitters. Flush mounting available.

Connections Process measurement: pressure or temperature—bottom of case. Flow—taps on element body. Pneumatic supply and output: bottom, tapped for 1/4 NPT.

Elements: see pages B2, B3.

## MODEL 44 PNEUMATIC INDICATING TRANSMITTER

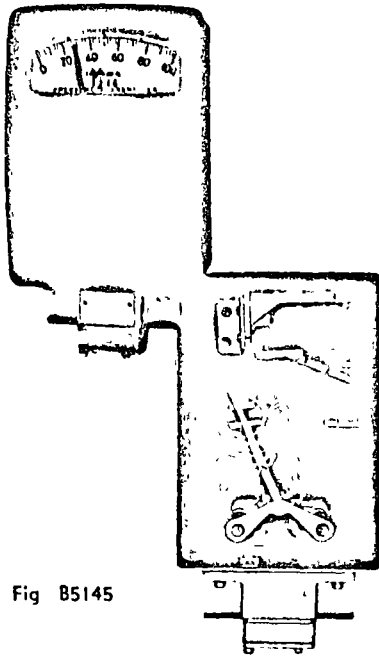


Fig. B5145

For measuring and transmitting pressure measurements between 0 to 30 inches of water and 0 to 6000 psi; or, between 0 to 30 inches of water and 0 to 30 inches of mercury (vacuum). Indicates, with fluorescent red pointer, 4-1/8-inch scale.

Pressure measurements are obtained from standard mechanical pressure elements described in detail on pages B2 and B3. Transmitter unit, operating from 20 psi air supply, continuously converts position of measuring element to linearly proportional 3-15 psi signal. Transmits to pneumatic receivers—recorders, controllers, or indicators—up to several hundred feet from point of measurement.

**±0.75 PERCENT INPUT-TO-OUTPUT ACCURACY AT ALL RANGES** At high pressures to 6000 psi and in low ranges down to 0-30 inches of water.

**COMPACT, LOW COST TRANSMITTERS** The perfect solution for many pressure measuring problems. Small-case, field-mounted, all weather transmitter uses same durable, responsive pressure elements as in larger, more expensive instruments.

### SPECIFICATIONS\*

Output Signal 3-15 psi.

Supply Pressure 20 psi.

Maximum Bleed Rate 0.2 scfm.

\*For Range, see elements, pages B2, B3.

Case Rectangular. Deep drawn steel. Fiber glass reinforced green polyester cover, gasketed.

Dimensions 5-13/16 W x 10-1/8 H x 3-11/16 D.

Mounting Universal bracket supplied for mounting on surface or on 2-inch pipe.

Connections Process pressure bottom of case, 1/4 NPT female for 0-30 inches of water to 0-2000 psi; 1/2 NPT male for 0-2001 to 0-6000 psi. Air supply and output bottom of case tapped for 1/4 NPT.

Scale Eccentric; 4-1/8-inch. Fluorescent red pointer on white face with black figures and graduations.

## MODEL 44/BP PRESSURE TRANSMITTER

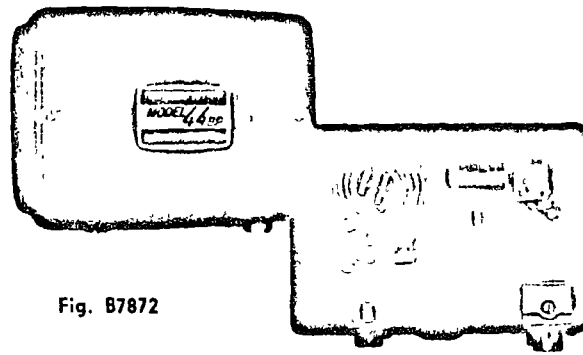


Fig. B7872

Economical and accurate means of measuring and transmitting pressure measurement where no indication is required. Operates in ranges as low as 0 to 8 inches of water and as high as 6000 psi. Uses same pneumatic components and mechanical elements as Model 45 Indicating Transmitter. Has same performance characteristics.

**VERSATILE AND COMPATIBLE** Measuring elements can be easily interchanged to meet new range requirements. Transmitter is compatible with pneumatic CONSOTROL instrumentation.

**STABILIZED DESIGN** for low ambient temperature error factor.

**DEPENDABLE, ACCURATE** within ±0.5 percent of scale, input-to-output.

**WEATHERPROOF, COMPACT** Steel-case instrument is designed for field mounting. Measures 5-13/16 H x 8-1/8 W x 4-1/16 D.

5

ELECTRONIC  
CONSOTROL  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
ELECTRONIC

PNEUMATIC  
CONSOTROL  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
PNEUMATIC

SPECIAL  
PURPOSE  
INSTRUMENTS

PANELS &  
CABINETS

DIGITAL  
SYSTEMS



FLOW

LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED,  
POSITION,  
ELECTRIC  
MEASUREMENT

WEIGHT, FORCE,  
TORQUE,  
DENSITY

HUMIDITY &  
MOISTURE

PRODUCT  
ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES,  
POSITIONERS,  
OPERATORS

ACCESSORIES

B5

ENGINEERING  
DATA

ELECTRONIC  
CONSOTROL  
INSTRUMENTS

## MODEL 631 ELECTRONIC CONSOTROL PRESSURE TRANSMITTER

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
ELECTRONIC

PNEUMATIC  
CONSOTROL  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
PNEUMATIC

SPECIAL  
PURPOSE  
INSTRUMENTS

PANELS &  
CABINETS

DIGITAL  
SYSTEMS

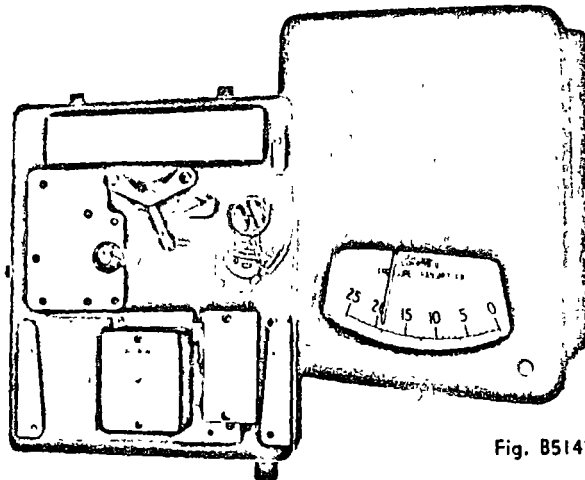


Fig. B5147

One of the Model 630 series of electronic CONSOTROL motion-type indicating transmitters. Model 630 transmitters measure and transmit pressure, temperature, flow, liquid level, differential pressure, position and other variables with standard Foxboro measuring elements.

Solid-state maintenance-free transmitter operates from 115 volt a-c supply to convert motion of measuring element to linearly proportional 10-50 ma d-c signal. Transmits over ordinary unshielded leads to electronic CONSOTROL receivers up to several thousand feet from point of measurement (or more with telemetering). Instrument operation and calibration are mechanically similar and electrically identical for all measurements.

**HIGH INPUT-TO-OUTPUT ACCURACY** All Model 630 transmitters are accurate within  $\pm 0.5$  percent of full scale value.

**HIGH LINEARITY** Efficient Dynaformer transducer in transmitter receives angular motion of primary element, producing necessary signal. Rugged, laminated magnetic core concentrates large amount of flux across small, curved air-gap. Motion is confined to light-weight copper loop within air-gap, rotating through approximately 25 degree arc, thus maintaining angular motion from element transformer. This differential transformer provides truly linear and stepless electrical output.

**LOW AMBIENT TEMPERATURE EFFECT** Temperature-stable elements available for nearly all variables to mate with temperature-stabilized electrical components. Ambient temperature effect, excluding measuring elements, is less than 10 percent per 100 F variation.

**UNSURPASSED VERSATILITY** In addition to wide choice of measurable variables, transmitter is capable of an unlimited variety of functions. Can have wide variety of alarm or on-off control contacts. May be field or panel mounted.

**EXCELLENT LEGIBILITY** Fluorescent red pointer with black-on-white scale easily read up to 30 feet away. Pointer powered directly from measuring element, insuring continuous indication even under power failure.

Model 631\* Pressure Transmitter indicates and transmits pressure measurements between 0 to 10 inches of water and 0 to 80,000 psi; or 0 to 30 inches of water and full vacuum.\*\* Pressure measurements obtained from standard Foxboro mechanical pressure elements shown on pages B2, B3.

\*Others in Model 630 series include Model 632 for temperature, Models 633 and 637 for flow and liquid level, Model for position.

\*\*Pressure, vacuum or compound ranges from 0 to 0.3 to 0 to 3 inches of water also available.

### SPECIFICATIONS†

**Output Signal** 10 to 50 ma d-c (into 600 ohms  $\pm 10.0$  percent).

**Power Supply** 115 volts  $\pm 10.0$  percent.

**Case** Heavy-gauge drawn steel, weatherproof

**Cover** Fiber glass-reinforced polyester, gasketed.

**Scale** Eccentric with fluorescent red pointer.

**Dimensions** 11-3/8 H x 9-1/8 W x 7-5/16 D.

**Mounting Surface**, flush or pipe.

**Connections** Pressure, 1/4 NPT up to 2000 psi, 1/2 NPT for higher pressures. Electrical, 18-inch 5-conductor cable through 1/2-inch conduit hub bottom of case.

**Weight** 20 pounds net (approx.)

†For pressure ranges, see elements, pages B2, B3.

GENERAL
FLOW
LIQUID LEVEL
TEMPERATURE
SPEED, POSITION, ELECTRIC MEASUREMENT
WEIGHT, FORCE, TORQUE, DENSITY
HUMIDITY & MOISTURE
PRODUCT ANALYSIS
TELEMETERING
VALVES, POSITIONERS, OPERATORS
ACCESSORIES
ENGINEERING DATA

# FORCE-BALANCE PRESSURE TRANSMITTERS

**EXCEPTIONAL ACCURACY** Accuracy of force-balance transmitters is a percentage of span, not of the maximum reading. Narrow spans may be elevated to 1000 percent of the span. A typical elevated span at 2000 to 2200 psi gives accuracy within 0.1 percent of operating pressure.

**SPANS ARE FULLY ADJUSTABLE TO A 10:1 RATIO** within the span limits of each sensing element.

**TRUE FORCE-BALANCE SYSTEM** True force-balance measuring elements—less than 0.010 of an inch motion—and an excellent force-balance transmitter mechanism. Virtually no motion, negligible hysteresis, virtually no dead-band, no wear, no periodic checking and readjusting.

**IDENTICAL INSTRUMENTS, STANDARDIZED CALIBRATING TECHNIQUES** There are two standard transmitters—pneumatic and electronic. Within each of these families only the sensing capsules (below) are different. *Fewer back-up transmitters. Only one calibration procedure.*

**EXTREMELY SENSITIVE CAPSULE** Dead band is less than 0.05 percent of span.

**HIGH OVERRANGE PROTECTION** To 133 percent of full operating pressure, with heavy-walled capsule used in compression.

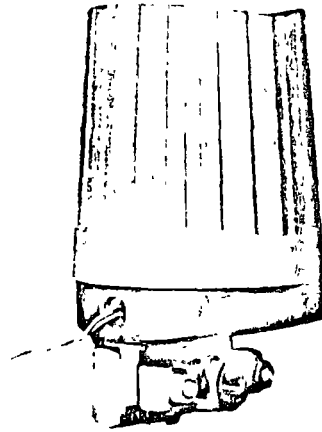


Fig. B9629 Model E11GM Electronic CONSOLE Pressure Transmitter.

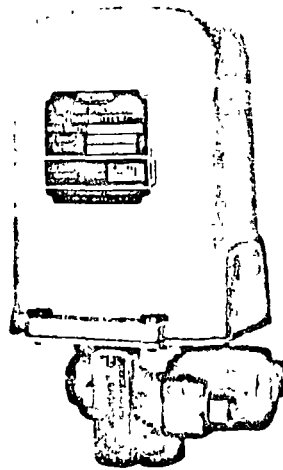


Fig. B7874 Model 11GM Pneumatic Pressure Transmitter.

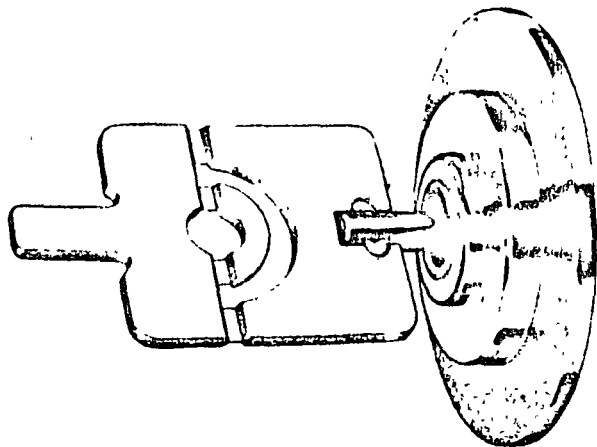


Fig. B5678 Sensing Capsule for Model 11GM Transmitter

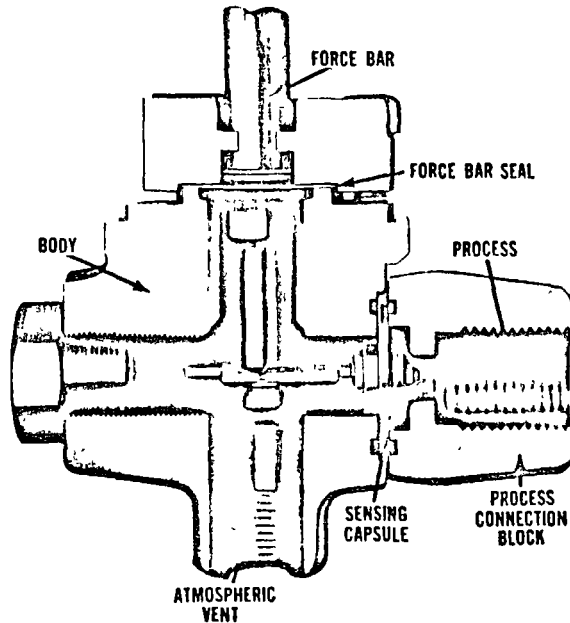


Fig. B5677 Sectional View of Pneumatic Force-Balance Pressure Transmitter.

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
ELECTRONIC

PNEUMATIC  
CONSOLE  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
PNEUMATIC

SPECIAL  
PURPOSE  
INSTRUMENTS

PANELS &  
CABINETS

DIGITAL  
SYSTEMS



FLOW

LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED, POSITION,  
ELECTRIC  
MEASUREMENT

WEIGHT, FORCE,  
TORQUE,  
DENSITY

HUMIDITY &  
MOISTURE

PRODUCT  
ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES,  
POSITIONERS,  
OPERATORS

ACCESSORIES

ENGINEERING  
DATA

# MODEL 11GM PNEUMATIC PRESSURE TRANSMITTER

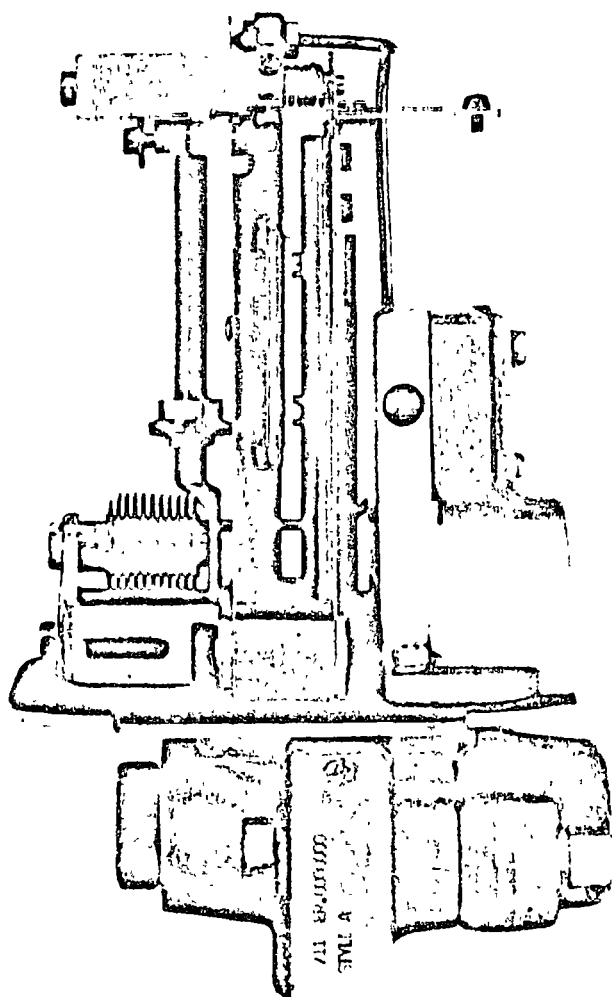


Fig. B5553 Model 11GM Pressure Transmitter.

Measures and transmits pressures from -15 to 3000 psi with accuracy of 0.5 percent of span. Sensing element is a thick-walled capsule which has a total motion of less than 0.010 of an inch for full span, gives overrange protection to at least 150 percent of full operating pressure. The transmitter mechanism converts the change in force exerted by the sensing element to a proportional 3-15 psi signal which is transmitted to pneumatic receivers up to several hundred feet from point of measurement. The combination of element and transmitter has a truly outstanding sensitivity and high overrange protection.

**EXCEPTIONAL ACCURACY** Elevation feature allows typical ranges of 300-325 psi with accuracy of  $\pm 0.21$  psi or 2500-2700 psi with accuracy within 1.75 psi—this is within 0.07 percent of full pressure.

**HIGHLY ELEVATED SPANS** Zero elevation to 1250 percent of span is obtainable within range limits of capsule.

**EASY RANGE CHANGE** Four interchangeable 316 stainless steel sensing capsules cover spans from 0-25 through 0-2000 psi. Capsule range limits overlap, allowing choice for application flexibility.

**SIMPLE AND CONVENIENT SPAN AND ZERO ELEVATION ADJUSTMENTS** Spans are continuously adjustable to a 10:1 ratio within the limits of each sensing element. Zero elevation is continuously adjustable within the limits of each capsule.

**INSTRUMENT VERSATILITY AND STANDARDIZED TECHNIQUES** Changing the element changes the range—one transmitter mechanism. Fewer back-up transmitters. Only one calibration procedure.

## SPECIFICATIONS

CAPSULE	RANGE LIMITS	SPAN LIMITS	MAXIMUM OVERRANGE PRESSURE
A	-15 to 350 psi	25- 250 psi	500 psi
B	-15 to 750 psi	50- 500 psi	1000 psi
C	-15 to 1500 psi	100-1000 psi	2000 psi
D	-15 to 3000 psi	200-2000 psi	4000 psi

Repeatability 0.15 percent of span.

Accuracy  $\pm 0.5$  percent of span.

Dead Band 0.005 percent of span.

Output Signal 3-15 psi or 0.2-1.0 kg/cm<sup>2</sup>.

Air Supply Pressure 20 psi.

Dimensions (Inches) 9-3/4 H x 4-3/4 W x 4-1/4 D.

Body 316 stainless steel. Cover Coated cast aluminum. Element and all wetted parts 316 stainless steel, with silicone rubber "O"-ring gaskets.

Mounting Transmitter vertical on bracket for 2-inch horizontal or vertical pipe.

Connections Process 1/4 NPT or 1/2 NP1 female. Air tapped for 1/4 NPT.

ELECTRONIC CONTROL INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS ELECTRONIC

PNEUMATIC CONTROL INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS PNEUMATIC

SPECIAL PURPOSE INSTRUMENTS

PANELS & CABINETS

DIGITAL SYSTEMS

PRESSURE

FLOW

LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED, POSITION, ELECTRIC MEASUREMENT

WEIGHT, FORCE, TORQUE, DENSITY

HUMIDITY & MOISTURE

PRODUCT ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES, POSITIONERS, OPERATORS

ACCESSORIES

PNEUMATIC ABSOLUTE PRESSURE TRANSMITTERS

These force-balance transmitters measure absolute pressure from 0-10 mm Hg absolute to 0-350 psi absolute, in spans from 10 mm Hg absolute to 250 psia. Measurement is transmitted by a proportional 3-15 psi signal to pneumatic CONSOTROL receivers located up to several hundred feet away. This broad spectrum of absolute pressure measuring capability is accomplished by three transmitters, Models 11AH, 11AM, and 11AL.

11AH handles the highest range capabilities. It is available with absolute pressure spans of 25 to 250 psia, fully adjustable to range limits of capsule.

11AM can be provided with spans from 40 to 1520 mm Hg absolute (30 psia) by means of two interchangeable capsules. Medium range capsule limits are 0-40 to 0-400 mm Hg absolute, and the high range capsule limits are 0-375 to 0-1520 mm Hg absolute.

11AL has the lowest range capability. It can be furnished with pressure spans from 10 to 40 mm Hg absolute (1.5 psia).

Foxboro Absolute Pressure Transmitters enjoy a wide variety of applications. Narrow span calibration and zero elevation features make these transmitters ideal for measurements on low pressure fractionating columns, evaporators, vacuum crystallizers and degassing systems.

**EXCEPTIONAL LINEARITY, REPEATABILITY, DEAD BAND AND DEPENDABILITY** These qualities are inherent with Foxboro balance design and construction. Lack of motion permits use of corrosion-resistant 316 stainless diaphragm element—without hysteresis effect usually encountered with this material. The element, heart of the measuring system, is made with watchmaker precision for utmost reliability under all process conditions.

**HIGH OVERRANGE PROTECTION** Models 11AM and 11AL sensing element and backing plate have matching convolutions to provide support when overranged. Model 11AH has a heavy-walled, all welded 316 stainless bellows which provides overrange protection to 15 times minimum calibrated span.

**WIDE RANGEABILITY** Spans are fully adjustable to provide wide rangeability in a single instrument. Fewer standby transmitters are required.

**EXCEPTIONAL ACCURACY AT HIGHLY ELEVATED SPANS** Narrow spans may be adjusted to maximum limits of capsule. This permits narrow span calibrations around measured value. Accuracy remains a function of calibrated span.

**DESIGN SIMPLICITY ADDS VERSATILITY** This is the widely accepted, reliable d/p Cell Transmitter mechanism. Only one calibration procedure for entire line of force-balance transmitters for pressure, flow or liquid level measurements.

**LONG CAPSULE LIFE** Sealing is performed, after evacuation to microns, by new electron beam welding technique. Method eliminates all impurities in capsule reference chamber.

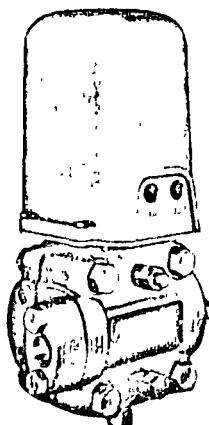


Fig. B5579 Model 11AM Medium Range Transmitter

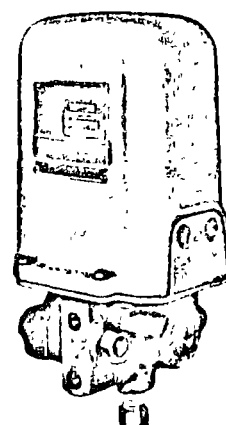


Fig. B5578 Model 11AH High Range Transmitter

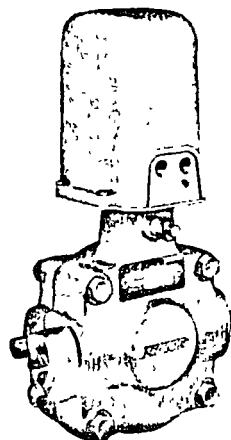


Fig. B5580 Model 11AL Low Range Transmitter

SPECIFICATIONS

MODELS	11AH	11AM	11AL
Repeatability (in % of span)	0.15%	0.10%	better than 0.5%
Accuracy (in % of span)	±0.5%	±0.5% at typical ranges	±1.0%
Dead Band (in % of span)	0.005%	0.05%	0.05%
Max. Overrange	375 psia	150 psi	50 psi

Output Signal 3-15 psi.

Ambient Temperature Limits -20 F to +250 F.

Air Supply 20 psi.

Air Consumption Normal relay bleed rate 0.5 scfm.

Mounting Bracket for 2-inch pipe. Calibrated for vertical mounting.

Weight 11AH, ca. 10 lbs. 11AM, ca. 19 lbs. 11AL, ca. 30 lbs.

ELECTRONIC CONSOTROL INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS ELECTRONIC

PNEUMATIC CONSOTROL INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS PNEUMATIC

SPECIAL PURPOSE INSTRUMENTS

PANELS & CABINETS

DIGITAL SYSTEMS



FLOW

LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED POSITION, ELECTRIC MEASUREMENT

WEIGHT, FORCE, TORQUE, DENSITY

HUMIDITY & MOISTURE

PRODUCT ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES, POSITIONERS, OPERATORS

ACCESSORIES

PNEUMATIC FORCE-BALANCE PRESSURE TRANSMITTERS

9

ELECTRONIC  
CONTROL  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
ELECTRONIC

PNEUMATIC  
CONTROL  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS

SPECIAL  
PURPOSE  
INSTRUMENTS

PANELS &  
CABINETS

DIGITAL  
SYSTEMS



FLOW

LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED,  
POSITION,  
ELECTRIC  
MEASUREMENT

WEIGHT, FORCE,  
TORQUE  
DENSITY

HUMIDITY &  
MOISTURE

PRODUCT  
ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES  
POSITIONERS  
OPERATORS

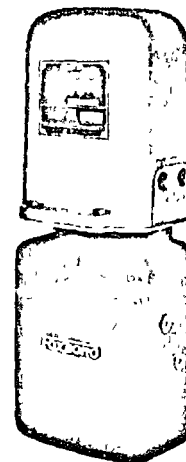
ACCESSORIES

ENGINEERING  
DATA

**MODEL 11GL PNEUMATIC PRESSURE TRANSMITTER**

Measures and transmits pressures from -15 to 60 psi in spans of 10 to 60 psi, with overrange protection to 100 psi and zero elevation to 500 percent of span. Sensing element is bellows-shaped, heavy-walled, all welded; choice of bronze or 316 stainless—total motion is less than 0.010 of an inch. It is flexure-coupled to the transmitter mechanism, which is the same as in the Model 11GM Transmitter described on the preceding page.

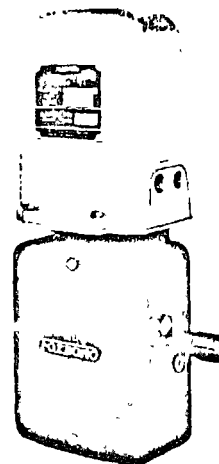
Fig. B7864 Model 11GL



**MODEL 11GH PNEUMATIC PRESSURE TRANSMITTER**

Zero may be elevated to 500 percent of span within the range limits. The sensing element is a heavy-walled "C" Bourdon tube, all welded; NiSpan C. Because there is virtually no motion, there is virtually no dead-band, negligible hysteresis. Transmitter mechanism is the same as in the Model 11GM Transmitter described on preceding page.

Fig. B7865 Model 11GH

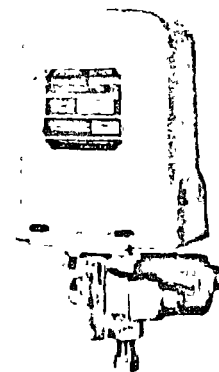


RANGE LIMITS	SPAN LIMITS	MAXIMUM OVERRANGE PRESSURE
0 to 6000 psi	1000 to 6000 psi	9000 psi
0 to 12,000 psi	2000 to 12,000 psi	18,000 psi

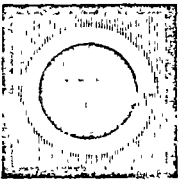
**MODEL 11DM PNEUMATIC PRESSURE TRANSMITTER**

Sensing elements and transmitter mechanism are the same as in the Model 11GM Transmitter on preceding page.

Fig. B7866 Model 11DM



CAPSULE	SPAN LIMITS	MAXIMUM DIFFERENTIAL	MAXIMUM STATIC PRESSURE
A	25 to 250 psi	350 psi	375 psi
B	50 to 500 psi	750 psi	750 psi
C	100 to 1000 psi	1500 psi	1500 psi
D	200 to 1500 psi	1500 psi	1500 psi



centro de educación continua de la facultad de ingeniería, unam



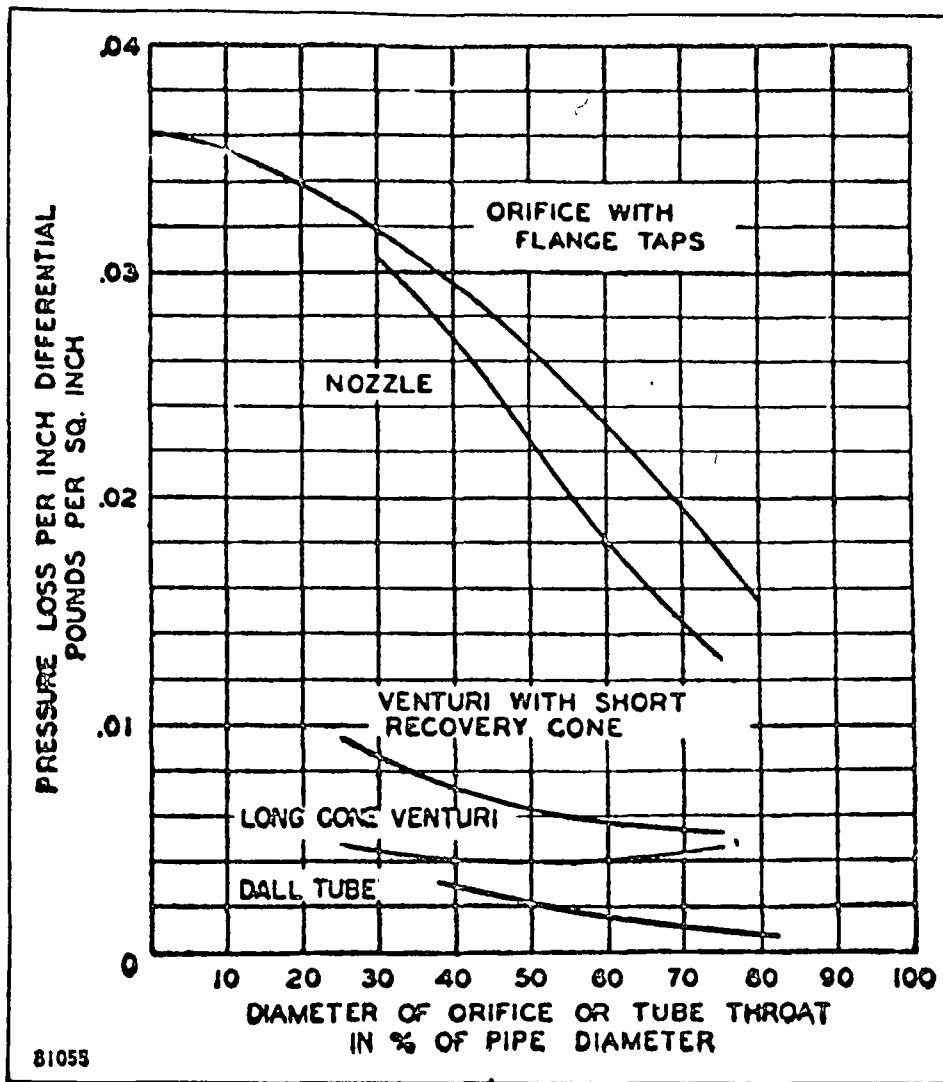
INSTRUMENTACION NEUMATICA PARA PROCESOS INDUSTRIALES

GASTO.- TEORIA BASICA

ING. CESAR PONCE MONTUY

México, D. F., julio de 1972





# Medidores Diferenciales de Presión

Por el Ing. CESAR PONCE MONTUY  
de Schultz y Cia., S. A.

## Principios Elementales que deben normar su empleo en la Medición de Flujos

### PREFACIO

La intención de este artículo es dar las ideas fundamentales en cuanto a la práctica que se sigue para medidores diferenciales. No pretende ser éste un estudio exhaustivo en la materia, sino una orientación dirigida principalmente a la industria que se encuentra actualmente transformando sus sistemas de combustible líquido (combustóleo), por gas.

### I.—INTRODUCCION

Entre los medidores llamados inferenciales encontramos clasificados a los medidores diferenciales de presión. Entendiéndose por medidor inferencial, aquél de cuyos principios de medición

se infiere (de ahí el nombre) el resultado final.

El medidor diferencial de presión se identifica por la característica de que su elemento primario crea una diferencia o caída de presión que depende de la velocidad y densidad del fluido. Esta diferencia es medida por un segundo elemento, llamado secundario.

Muy diversos tipos de elementos primarios han sido usados para producir la diferencial de presión, pero los más comunes son:

- La Placa de Orificio
- La Boquilla o Tobera
- El Tubo Venturi

Las siguientes líneas están dedicadas solamente al elemento primario y sus accesorios.

### II.—HISTORIA

Para darnos una idea de lo reciente que es este tipo de medición, podemos mencionar que, aunque se tiene noticia de que en el tiempo de los Césares en Roma, se usaban restricciones para medir el agua en las casas, no fue sino hasta el siglo XVII que se empezaron a desarrollar las bases teóricas para el diseño de los modernos medidores diferenciales. A su efecto concurren muchos investigadores, entre

los cuales Benedetto Castelli y Evangelista Torricelli condujeron al principio de que: el gasto (volumen o peso por unidad de tiempo) era igual a la velocidad por el área, y que el flujo en una restricción era función de la raíz cuadrada de la caída de presión producida.

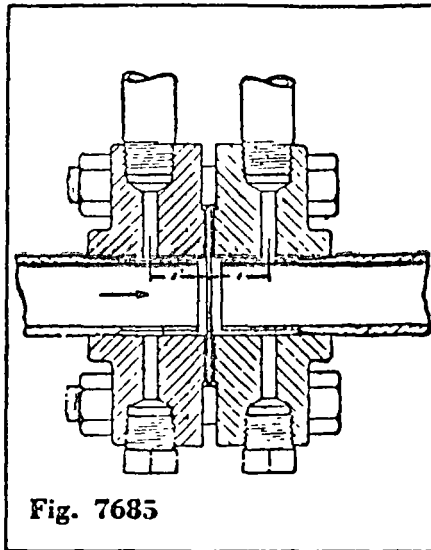
El 12 de noviembre de 1732, Henri Pitot presentó su estudio intitulado "Descripción de un mecanismo para medir la velocidad del agua corriente y la velocidad en recipientes". Poco más tarde, en 1738, Juan Bernoulli desarrolla su famoso teorema en el cual se basan las ecuaciones hidráulicas para medidores diferenciales. En 1797 Giovanni Batista Venturi, publica el resultado de su trabajo sobre los principios básicos de medición en el tubo llamado Venturi, y a principios del siglo XVIII, Geovani Poleni trabaja con éxito en los medidores de orificio.

### III.—PRIMEROS USOS COMERCIALES

Por vez primera en el año de 1887, Clemens Herschel, haciendo uso del trabajo básico de Venturi, desarrolla la aplicación comercial del tubo Venturi, probando ser éste un medio bastante práctico y económico para medir grandes volúmenes de flujo. Sin embargo, como la ecuación desarrollada de las leyes que sigue la medición de gases en este tubo y que son las de expansión adiabática, resultaban muy complicadas y poco prácticas para aplicarse más ampliamente a la medición comercial del gas, trajo como consecuencia ciertas objeciones para su uso, aparte del hecho de que no existían medios más accesibles para la medición de grandes volúmenes de gas natural. Esto condujo en el año de 1900 a la investigación de la aplicación de la placa de orificio como elemento de medición comercial, obteniéndose resultados más satisfactorios no solamente para gas sino para muchas otras aplicaciones industriales más

### IV.—HISTORIA DEL MEDIDOR DE ORIFICIO

Por su importancia, dada la amplia aplicación industrial que ha encontrado el medidor de orificio, merece una mención especial de la forma en que fue desarrollado. Tomas R. Weymouth de la United Natural Gas Company en 1903 empezó experimentando con la placa de orificio concéntrica, usando las tomas de presión en las bridas a una pulgada antes y una después de las caras de la placa, las cuales, entre paréntesis, han llegado a ser las de uso predominante. Desarrolló coeficientes empíricos, co-



relacionados con la relación del diámetro del orificio ( $d$ ) al diámetro de la tubería ( $D$ ), que fueron reemplazados más tarde por datos más exactos basados en los estudios de investigación de un programa de diez años, y cuyos resultados fueron publicados en 1935 por la American Gas Association (AGA). En 1913 E. O. Hickstein publicó datos similares a los de Weymouth, pero con tomas de presión a  $2\frac{1}{2}$  diámetros antes y 8 diámetros después de la placa de orificio. Estos

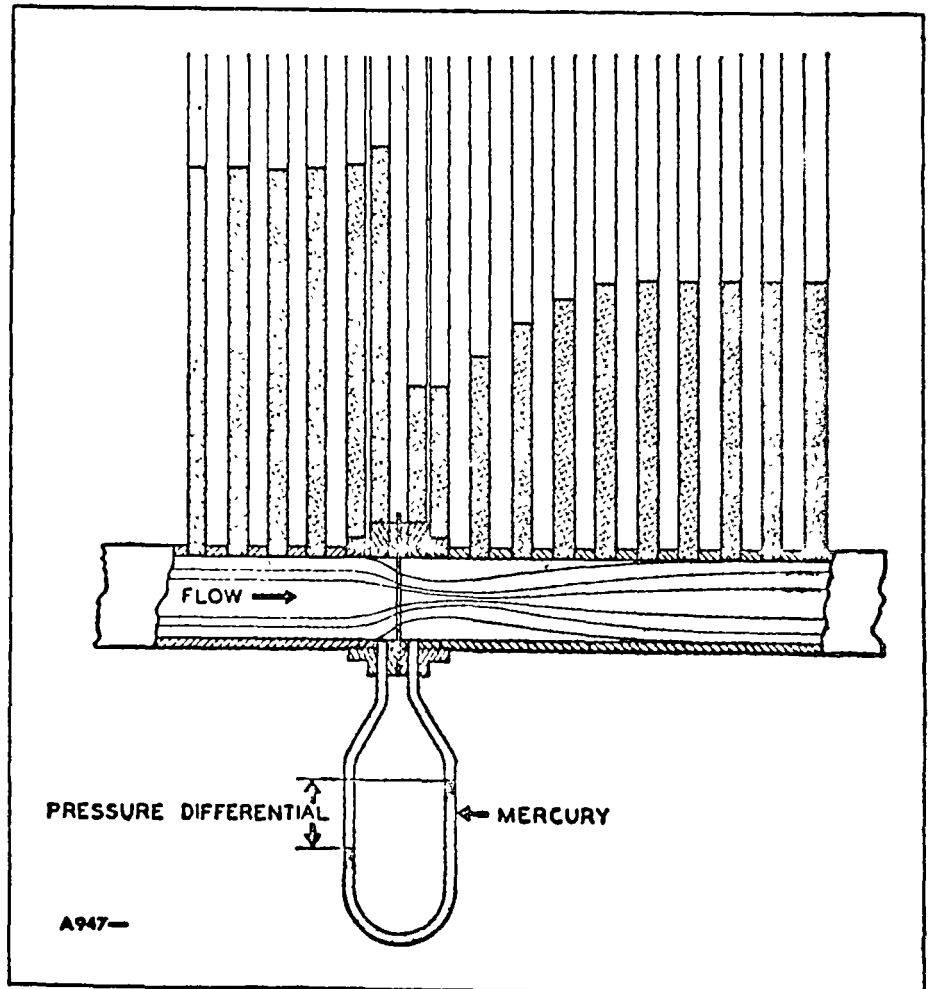
fueron también puestos el día en la publicación antes mencionada.

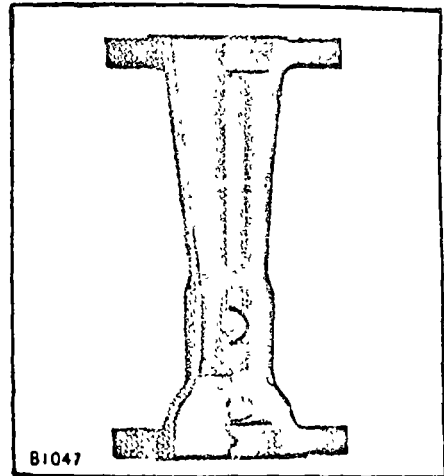
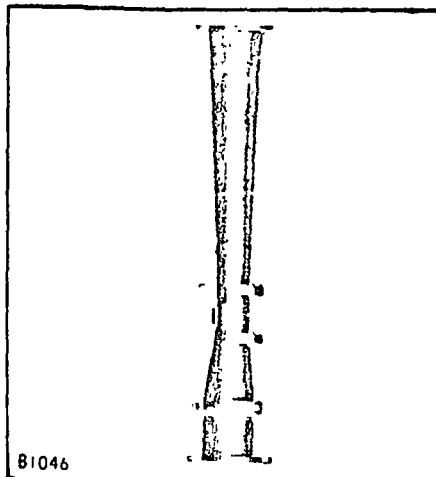
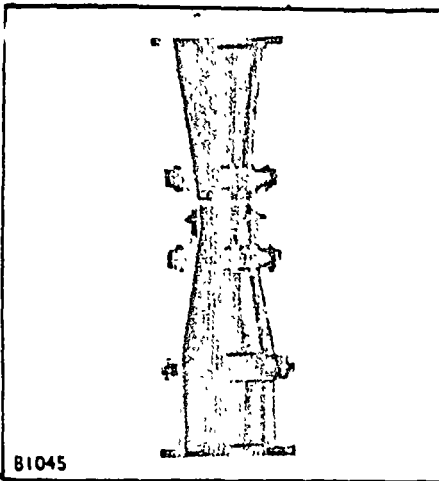
El profesor Horace Judd, en 1916 presentó trabajos de medición con orificios usando tomas de presión llamadas de Vena Contracta, ya que una de las tomas, la de alta presión, se localiza a un diámetro antes de la placa, y la de baja presión en el punto de mínima presión. El mismo profesor presentó también el primer uso de placas de orificio excéntricas y segmentales.

En Alemania, y en general en Europa, se desarrolló el uso de las tomas de presión directamente en las caras de la placa y que se conocen como tomas de placa (ver Fig. No. 7685).

### V.—AVANCES RECIENTES

Entre los diseños más recientes en elementos primarios, se encuentran el Venturi Excéntrico, el Venturi rectangular, el Venturi de conos truncados la Boquilla o Tobera, el orificio excéntrico y el segmental, el orificio con perfiles especiales, el Tubo Foster, el Tubo Dall, etc., que se han desarrollado con el objeto de corregir o eliminar algunas inconveniencias que han presentado los elementos primarios originales, en ciertas mediciones. Sin embargo, siguen predominando en su uso los diseños iniciales.





**VI.—ALGUNAS CONSIDERACIONES DE IMPORTANCIA QUE DEBEN SER TOMADAS EN CUENTA EN LA SELECCION E INSTALACION DE L ELEMENTO PRIMARIO**

a) **PLACAS DE ORIFICIO.** Con las placas de orificio se produce la mayor pérdida de presión en comparación a la de los otros elementos primarios más comunes (ver Fig B-1055). Así tenemos que, con las tomas de presión  $2\frac{1}{2}$  y 8 diámetros antes y después de la placa se está midiendo la pérdida total de presión, sin recuperación posterior (ver Fig. A-947)

Con tomas de Vena Contracta se mide la máxima diferencial posible con recuperación de presión posterior y, con tomas en la brida se mide una diferencial muy cerca de la máxima, también con recuperación de presión posterior

La exacta localización de las tomas de presión antes de la placa, carece relativamente de importancia, ya que la presión en esa sección es bastante constante (ver Fig. A-947) en todas las relaciones de  $d/D$  comerciales. De  $\frac{1}{2} D$  antes de la placa en adelante hasta la placa, la presión aumenta gradualmente en apreciable magnitud en relaciones  $d/D$  arriba de 0.5; debajo de este valor la diferencia de presiones es despreciable. Pero si en la toma de al-

ta presión la localización no es de mayor importancia, si lo es en la de baja presión, ya que existe una región muy inestable, después de la Vena Contracta, que debería ser evitada, y es ésta precisamente la razón por la que se recomienda para tuberías menores de 2 pulgadas las tomas de placa. La estabilidad es restaurada a 8 diámetros después de la placa, pero ya en este punto las presiones son afectadas por una rugosidad anormal en la tubería

b) **BOQUILLA O TOBERA.** La pérdida de presión producida por una boquilla, está muy cercana a la de la placa de orificio, por lo que, en su selección, no deberá ser considerada ésta como una ventaja sobre la placa. Sus tomas de presión se tienen que localizar en la tubería a  $1 D \pm 0.1 D$  antes y  $0.5 D \pm 0.1 D$  después de la entrada a la boquilla (ver Figs. B-1055 y A-950).

c) **TUBO VENTURI y TUBO DALL.** Estos elementos primarios producen las mínimas pérdidas de presión posibles en este tipo de medidores y sus tomas se localizan de acuerdo con el diseño del tubo (ver Fig B-1045 a B-1048)

**VII.—SELECCION DEL ELEMENTO PRIMARIO**

En la selección del elemento primario mas conveniente para cada caso

particular, es necesario tener presente siempre las siguientes consideraciones

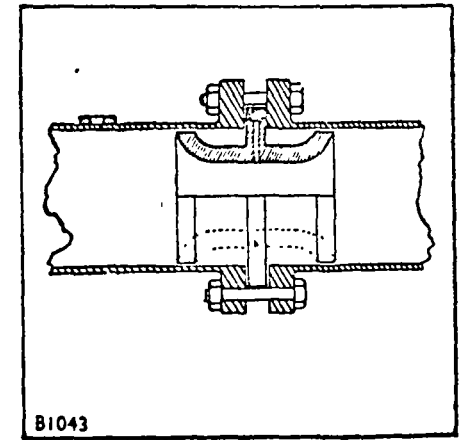
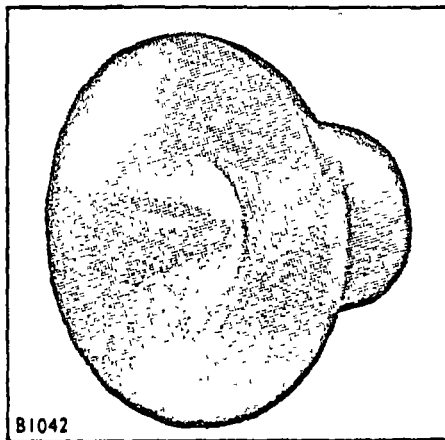
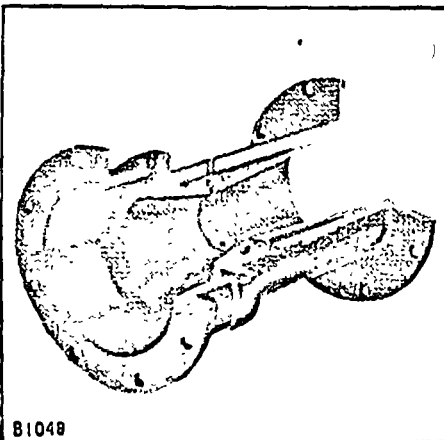
1o **Las Características Físicas del Fluido:** Así, si el fluido a medir es mas o menos viscoso, lleva o no substancia en suspensión, es un gas, liquido o vapor, éstos serian factores determinantes en una decisión.

2o **Los Gastos Mínimos, Normales y Máximos:** Estos nos dan los limites entre los cuales podemos hacer la selección, ya que tenemos condiciones en que los mínimos o los máximos gastos a medir, nos limitan y obligan a usar tal o cual elemento primario

3o **La Presión Estática:** La selección del rango diferencial esta basada principalmente en la presión estática del sistema. Elementos primarios que trabajen convenientemente con diferenciales a presión pequeña, son en muchos casos factores determinantes para una selección.

4o **Las Dimensiones de las Tuberías:** Veremos que existen limites en los diámetros de las tuberías que nos impiden el uso de ciertos elementos primarios

5o **Las Pérdidas de Presión Permisibles en el Sistema:** Generalmente se deben ajustar las pérdidas de presión producidas por el elemento primario a un valor especificado, que no se debe exceder. Esto conduce en algunos casos a la selección de elementos primarios que nos den caídas de presión mínimas



Como ayuda en la selección del elemento primario más conveniente para una aplicación particular, la descripción de cada tipo, dada a continuación, es precedida por una recomendación general concerniente a su uso:

1.—**Placas de Orificio:** La placa de perforación concéntrica, de perfiles en ángulo recto, es el elemento primario de más uso actualmente en la industria. A menos que las características del fluido y las condiciones de flujo nos indiquen otro tipo como el más adecuado, deberá usarse de preferencia la placa de orificio. Esta es taladrada a una exactitud dentro de los límites de 1/20 de 1%.

**Requisitos a que debe Ajustarse la Placa de Orificio**

A fin de poder hacer uso de los coeficientes publicados que caen dentro de las tolerancias permitidas, el orificio debe llenar las siguientes especificaciones:

1o.—El espesor en la sección cilíndrica, no debe exceder ninguno de los siguientes límites:

$$\frac{d}{8} , \frac{D}{50} \text{ o } \frac{(D-d)}{8}$$

Si el espesor, por la rigidez requerida debe ser mayor de estos límites, entonces las caras del orificio deberán ser biseladas a un ángulo no menor de 45° del eje de la tubería, o en su defecto, ser rebajadas en la zona del orificio hasta los límites especificados.

2o.—El filo que da la cara al flujo corriente arriba, debe ser en ángulo recto. Cualquier redondeo en el filo no deberá exceder de 0.025% del diámetro del orificio para asegurar una exactitud en la medición dentro del 0.1%.

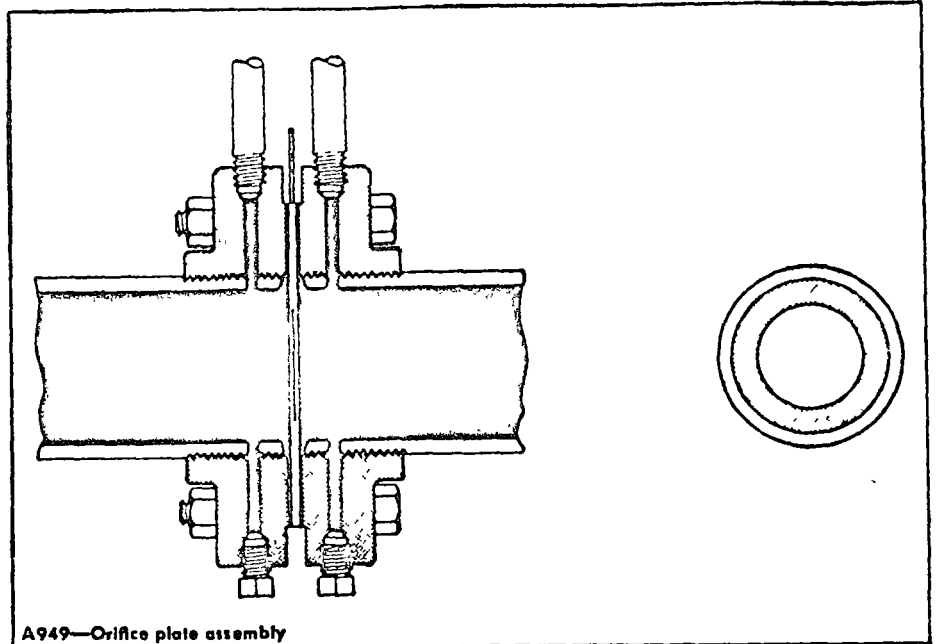
3o.—La cara corriente arriba debe estar tan pulida como comercialmente sea posible.

4o.—La porción de la placa que se extiende dentro de la tubería deberá ser plana dentro de una tolerancia de 0.01" por pulgada de radio.

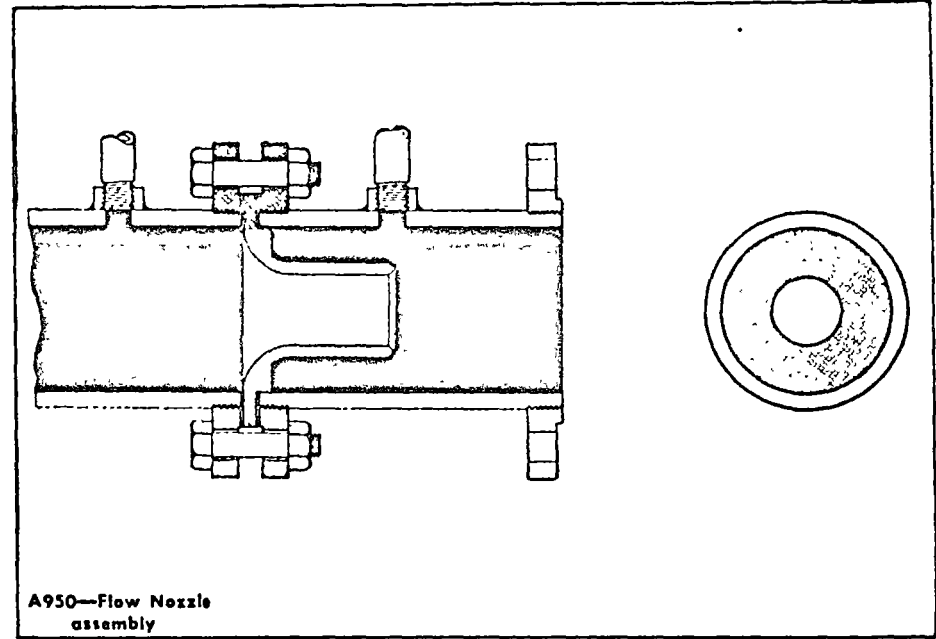
5o.—La placa de orificio debe centrarse en la tubería de manera tal que la excentricidad sea menor del 3% del diámetro de la tubería.

Así pues, para obtener resultados satisfactorios, basta seguir las especificaciones antes mencionadas.

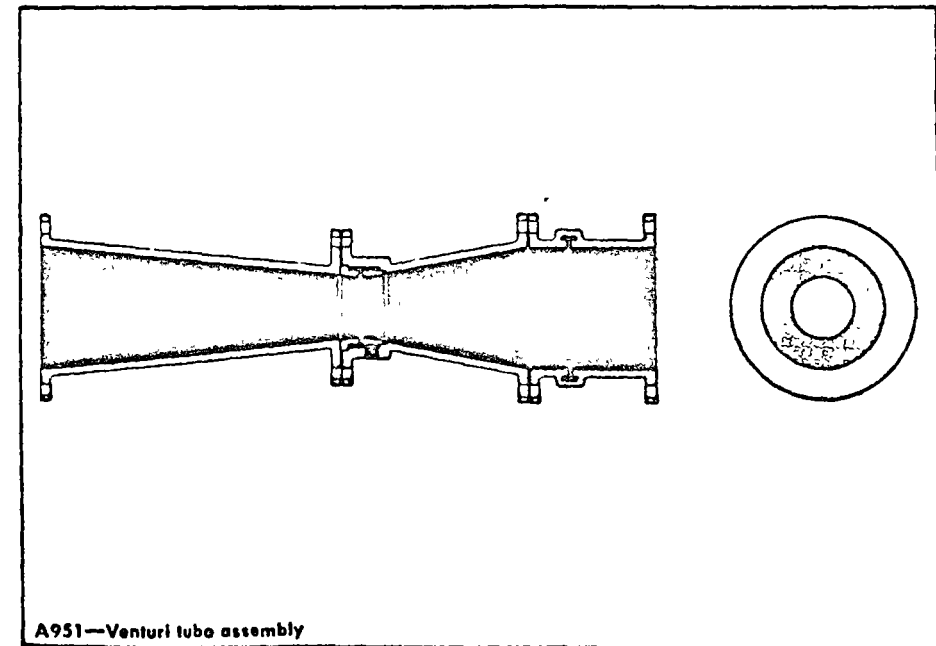
La gran ventaja de la placa de orificio en comparación con los otros elementos primarios de medición, es que, debido a la pequeña cantidad de material y al tiempo relativamente corto de maquinado que se requiere en su manufactura, su costo llega a ser comparativamente bajo, aparte de que es fácilmente reproducible, fácil de instalar y desmontarse y de que se consigue con ella un alto grado de exactitud.



A949—Orifice plate assembly



A950—Flow Nozzle assembly



A951—Venturi tube assembly

**Desventajas en el uso de la Placa de Orificio**

1o.—Es inadecuada en la medición de fluidos con sólidos en suspensión.

2o.—No conviene su uso en la medición de vapores que arrastren condensados (En tales casos es necesario perforar la placa en la parte inferior con un taladro de  $\pm 3/32"$ )

3o.—El comportamiento en su uso con fluidos viscosos es errático, pues la placa se calcula para una temperatura y una viscosidad dada, si hay cambios en la temperatura, la medición resulta incorrecta.

4o.—Produce las mayores pérdidas de presión en comparación con los otros elementos primarios (ver Fig B-1055).

2.—**Toberas o Boquillas:** La tobera se recomienda si el líquido por medir contiene cantidades moderadas de sólidos en suspensión o siempre que:

$$\frac{W}{D^2 \sqrt{Lwh}} \text{ sea mayor de } 140$$

en donde,

W = Gasto en lbs/hr.

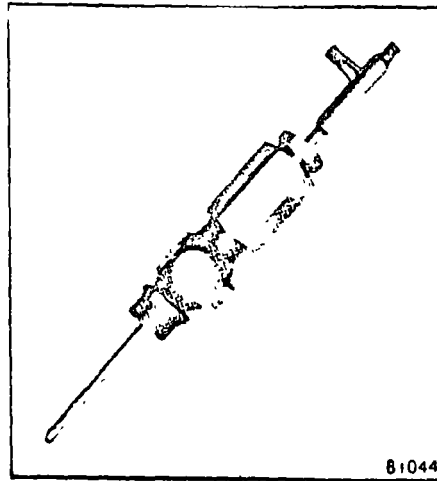
D = Diámetro interno de la tubería en pulgadas.

w = Densidad del fluido en lbs/pie

h = La diferencial de presión en pulgadas de agua.

Las toberas son maquinadas individualmente a las dimensiones exactas necesarias para los requerimientos de flujo de la aplicación en particular. Igual que la placa de orificio, pueden ser suministradas en la clase de material que se necesita. (ver Figs B-1042 y A-950)

Una forma modificada de la boquilla (Fig. B-1043), es frecuentemente usada en vez del tubo Venturi para medición de flujo de fluidos con moderadas cantidades de materiales en suspensión



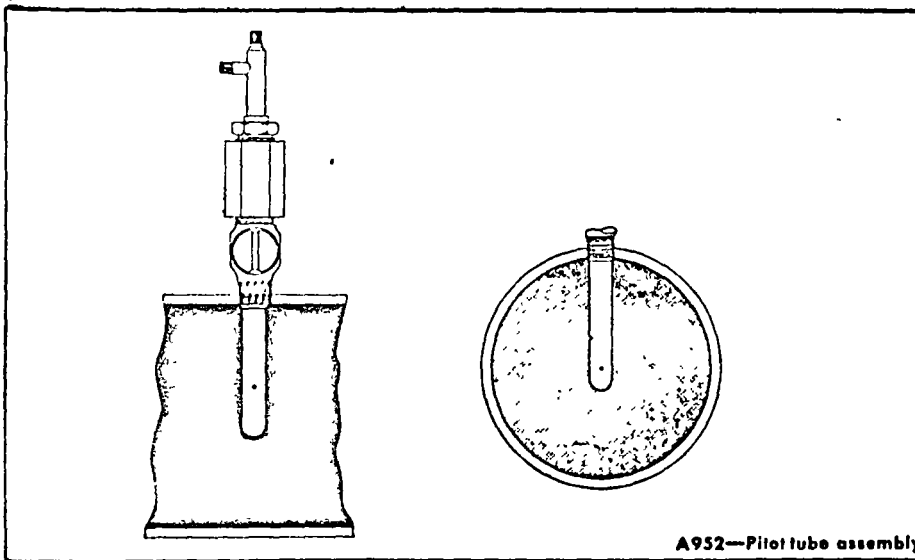
3.—Tubo Venturi

El tubo Venturi se recomienda principalmente donde se requiere el máximo de exactitud en la medición de fluidos altamente viscosos y cuando las circunstancias obligan a mantener una mínima caída de presión, tanto que justifiquen el alto costo que significa la inversión original. En un principio el Venturi se recomendaba para la medición de fluidos con sólidos en suspensión, pero, al igual que las boquillas esta aplicación ha encontrado objeciones en la práctica y ha dejado de usarse para tal fin (ver Figs. B-1045 y A-951)

4. Tubo Pitot

El tubo Pitot se recomienda solamente en donde una medición no muy exacta es requerida, siempre y cuando el fluido esté limpio, la línea sea grande y la velocidad alta. Existen tipos fijos y ajustables. En estos últimos, la inmersión dentro de la tubería puede ser variada para obtener lecturas desde el centro de ésta (ver Figs B-1044 y A-952).

5.—**Tubos Dall:** El tubo Dall se re-



comienda para la medición de fluidos limpios (gases o líquidos) donde se desean mínimas pérdidas de presión (ver Fig. B-1048).

**VIII.—SELECCION DE LAS TOMAS DE PRESION**

Como ya habíamos mencionado, existen tres tipos o formas de colocar las tomas de presión y su designación va de acuerdo con su localización:

- A) Tomas de Brida.
- B) Tomas de tubería
- C) Tomas de Vena Contracta

A) **Tomas de Brida:** Las tomas de Brida están localizadas en las bridas a una pulgada antes y una pulgada después de las caras de la placa de orificio. Actualmente es el tipo de toma más usado, debido principalmente a que puede obtenerse va maanario evitándose con ello mucho trabajo de manufactura e instalación. Vienen provistas de un tornillo (jack screw) que facilita el quitar o colocar la placa de orificio con fines de mantenimiento (ver Figs B-1049 y A-919)

Debido a que estas tomas de bridas están simétricamente localizadas, no se requiere tener un cuidado excesivo en su instalación, permitiendo además con esta localización, el medir flujos que pueden ser invertidos

Existen en el mercado cuatro clases de bridas para orificio:

1.—**Bridas Roscadas:** (Ver Figs No 7684 y B-1049), que como su nombre lo dice, son bridas para ser adaptadas a la tubería, por medio de rosca

2.—**Bridas Tipo Slip-on o Deslizables:** Estas se deslizan alrededor de la tubería, procediendo a soldarse después (ver Fig 7941).

3.—**Bridas para Soldar el Cuello:** Llevan un tramo de tubería integral que sirve para ser soldada a cuello con el resto de la tubería (ver Fig 7940).

4.—**Bridas de Unión con Anillo:** (Ver Figs. B-1050 y B-1051). Son de diseño especial para que se les pueda adaptar un anillo portaplaca. También sueldan a cuello

**U S O S**

1o.—**La Brida Roscada:** Esta ha tenido cierto uso por lo accesible que resulta montarla en tuberías roscadas. Sin embargo, su uso se encuentra limitado a diámetros pequeños por la dificultad existente de hacer roscas a tuberías grandes. Por otro lado presentan el inconveniente que después de roscadas, generalmente hay que cortar la tubería que sobra más allá de las caras de la brida

2.—La Brida Tipo Slip-on (Deslizable): Esta es la más comúnmente usada, pues no se requiere hacer ningún corte a la tubería, ya que puede ser acoplada a ras con las caras de la brida (ver Fig. 7941).

3.—Bridas para Soldar a Cuello: El uso de éstas se recomienda para flujos a alta presión. Existe en su aplicación cierta dificultad en alinear las bridas a las tuberías al ser soldadas (ver Fig. 7940).

4.—Bridas de Union con Anillo: Estas son usadas donde las presiones o los líquidos a medir impiden el uso de empaques apropiados, para hacer una junta hermética (ver Figs. B-1050 y B-1051).

Las tomas de brida no son recomendables para tuberías menores de 2" en donde la toma de baja presión se encuentra localizada en una región de flujo inestable en la curva de recuperación de presión. Este hecho se presenta cuando existen altos valores en la relación d/D, o sea cuando los coeficientes standard no pueden ser aplicados. En tales casos deben usarse las llamadas tomas de placa (ver Fig. 7685), que se localizan directamente en las caras de la placa.

Otra razón por la que podría no recomendarse la aplicación de las tomas de brida, es cuando existen ya bridas standard (no porta orificio) que se desean aprovechar.

NOTA: En caso de verse obligado a usar tomas de brida para diámetros menores de 2", el sistema de medición deberá ser calibrado individualmente.

B) Tomas de Tubería: Estas localizan 2½ diámetros antes y 8 diámetros después de la placa de orificio. Este tipo de tomas de presión tuvo mucho uso en los EEUU, antes del desarrollo de los coeficientes de la AGA en 1935. Debido a que resulta un poco más laboriosa la manufactura de estas tomas en comparación con las de brida ha ido cayendo en desuso, aun cuando en las especificaciones de la AGA están aceptadas para usarse en la me-

dicción comercial del gas. Otro inconveniente que cabe mencionar, es que se requiere considerablemente mayor longitud en la tubería de medición.

Cuando se quieren aprovechar las bridas standard existentes, es cuando se acostumbra recomendar las tomas de tuberías.

C) Tomas de Vena Contracta: La toma de alta presión se coloca un diámetro antes del orificio y en la vena contracta la toma de baja. Esta última se acostumbra localizarla ½ diámetro después de la placa (ver Fig. 1-IX).

Se usa ampliamente en medición de vapor.

**IX.—FUNDAMENTOS EN LA TEORÍA DE LOS MEDIDORES DIFERENCIALES**

Si suponemos que un fluido está fluyendo a través de una tubería inclinada, tal como se muestra en la Fig. No 1-IX, la relación entre la presión diferencial y la velocidad, puede ser derivada del teorema de Bernoulli. Así, para fluidos ideales incompresibles, tendremos: (1)

$$Z + \frac{p}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g}$$

En donde:

- Z = elevación de la tubería.
- p = presión estática absoluta
- V = velocidad promedio
- ρ = peso específico del fluido
- g = aceleración debido a la gravedad, siendo los subíndices 2 para los factores corriente abajo con respecto a la posición de la placa

La toma de baja presión la localizamos en la vena contracta, o sea en donde el fluido es restringido a una mínima área que es también el punto de menor presión estática.

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = \frac{p_1 - p_2}{\rho} = h \quad (2)$$

En donde "h" es la columna hidrostática efectiva.

Esto se demuestra dimensionalmente como:

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = \frac{\text{lb/ft}^2}{\text{lb/ft}^3} = \text{ft} \quad (3)$$

Ahora, si se supone que:

$$V = V_2 \frac{a}{A}$$

basando lo anterior en la ley de la conservación de la materia, y aplicado a una partícula de fluido.

En donde:

a = área de la restricción (tal como un orificio).

A = área de la tubería

La ecuación (2) se reduce a

$$V_2^2 = \frac{2gh}{1 - a^2/A^2} = \frac{2gh}{1 - (d/D)^4} \quad (4)$$

y:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - (d/D)^4}} \quad (5)$$

Sin embargo, los requerimientos comerciales usualmente necesitan que el flujo sea expresado en unidades de volumen o peso, más bien que en unidades de velocidad, por lo que para hacer esta conversión, se supone que el área a la cual la velocidad es V<sub>2</sub>, es el área de la restricción del elemento primario

$$qt = V_2 a = a \sqrt{\frac{2gh}{1 - \beta^4}} \quad (6)$$

donde

qt = Gasto teórico en volumen.

β = Relación de diámetros d/D

En términos de peso, el gasto sería

$$wt = qt \rho = a \rho \sqrt{\frac{2gh}{1 - \beta^4}} \quad (7)$$

donde:

wt = Gasto teórico en peso

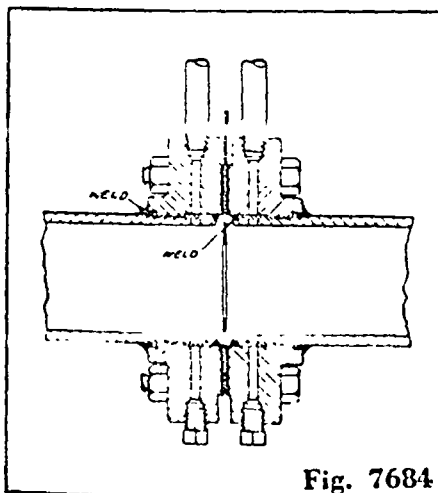


Fig. 7684

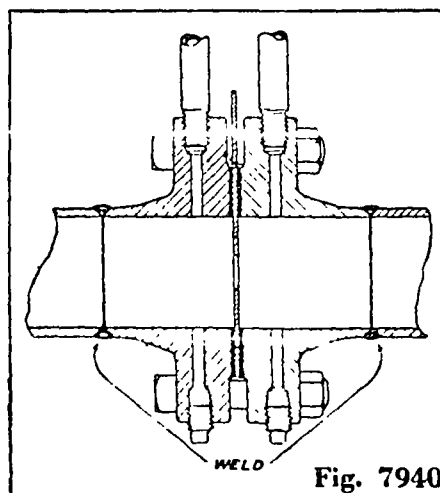


Fig. 7940

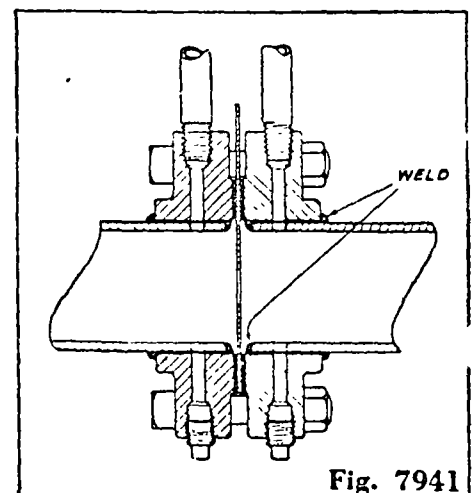
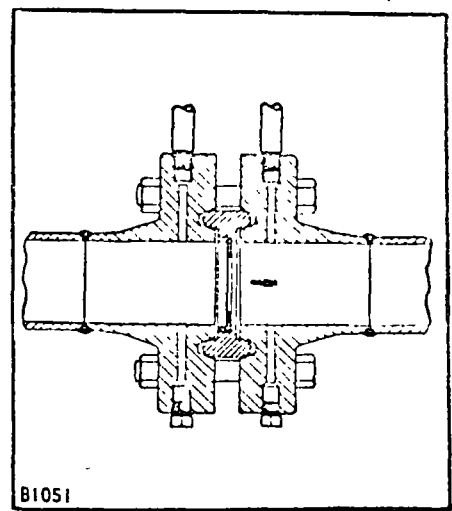
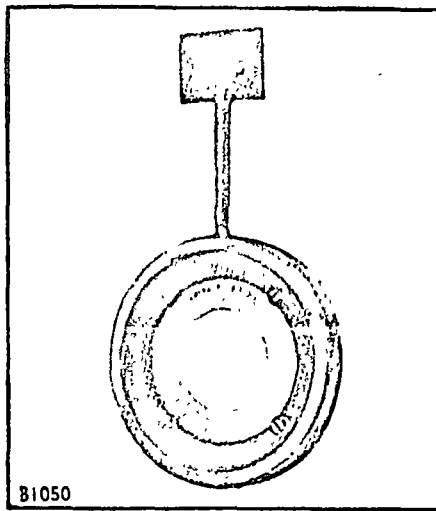
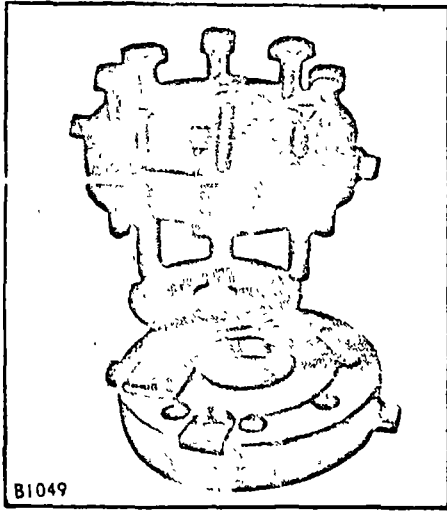


Fig. 7941



A fin de corregir las ecuaciones para "qt" y "wt" de los gastos teóricos a los reales basados en datos experimentales, un factor de corrección es incorporado en la ecuación en la forma siguiente

$$C = \frac{\text{Gasto real}}{\text{Gasto teórico}} = \frac{q}{qt} = \frac{w}{wt} \quad (8)$$

donde C = Coeficiente de descarga.

Además, ya que C y d/D son constantes, para un conjunto de condiciones dadas, pueden ser combinadas así:

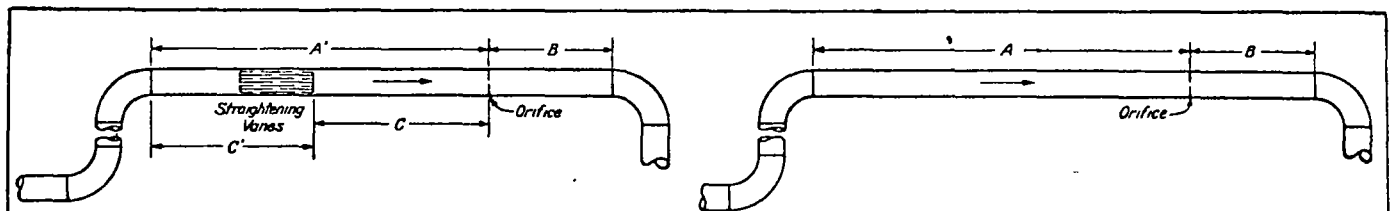
$$K = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}}$$

Substituyendo K en las ecuaciones (6) y (7) tendremos finalmente que:

$$q = Ka \sqrt{2 gh} \quad (9)$$

$$w = Ka \rho \sqrt{2 gh} \quad (10)$$

Estas ecuaciones (9) y (10), son aplicadas básicamente para cualquier tipo de restricción, pero están limitadas a fluidos incompresibles. En el desarrollo de las ecuaciones de trabajo de aplicación comercial para medidores diferenciales, se requieren factores de corrección adicionales.



Minimum Lengths of Straight Pipe Required Expressed in Nominal Pipe Diameters

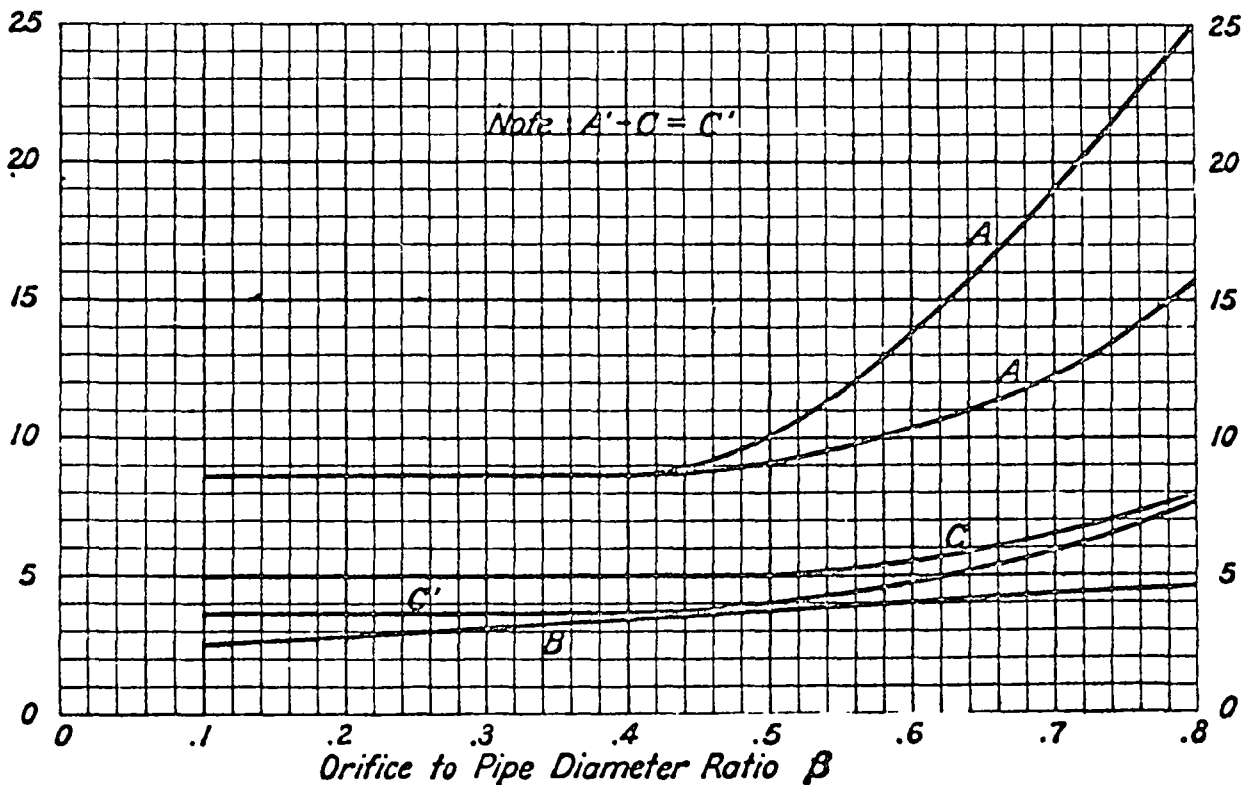


FIGURA 3



**Alineadores de Flujo.**—La mayoría de los errores principales en la medición de fluidos se deben a los vértices y remolinos que se producen. Estos pueden ser eliminados en forma efectiva con la instalación de alineadores de flujo entre el punto de turbulencia y el elemento primario (ver Fig. A-1011).

El alineador de flujo consiste en un número de pasajes paralelos de pequeña sección transversal, instalado dentro de la misma tubería, paralelo a las líneas de flujo. Un tipo común está compuesto de un conjunto de pequeños tubos soldados unos con otros (ver Fig A-1013). Otro tipo consiste de varias planchas rectangulares soldadas en forma radial (ver Fig. A-1012).

Para una máxima eficiencia ningún pasaje a través del enderezador, deberá ser mayor de 1/16 del área del interior de la tubería.

b) Deberán existir cuando menos cuatro pasajes a través de cualquier diámetro.

c) La longitud del pasaje, deberá ser cuando menos 10 veces la máxima dimensión transversal de dicho pasaje.

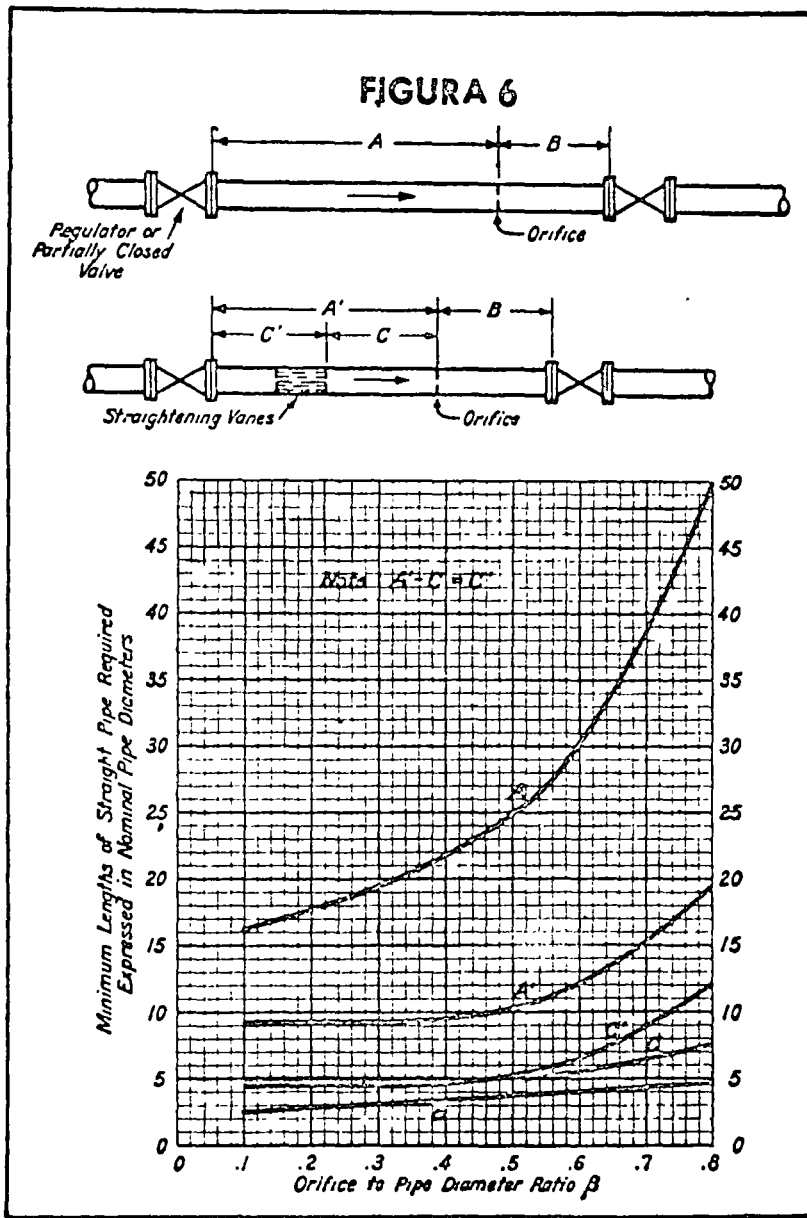
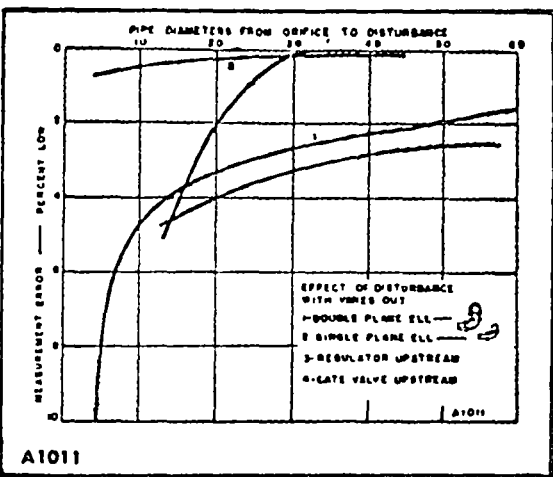
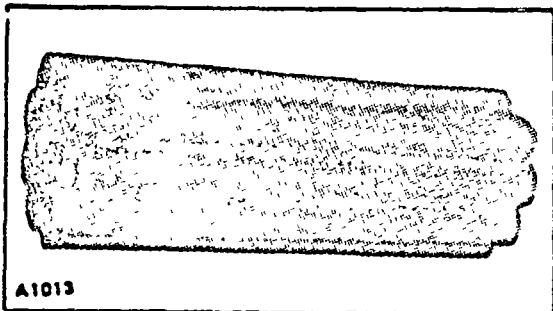
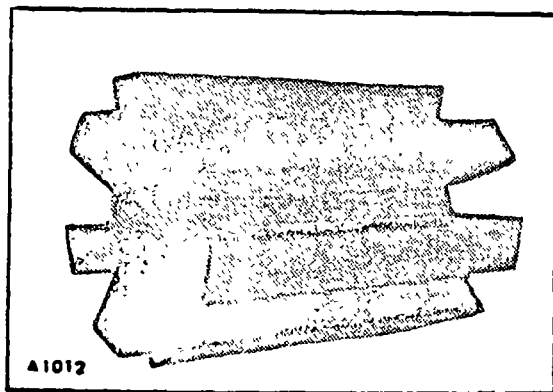
**Precauciones:** Debido a su relativa fragilidad, no deben localizarse demasiado cerca de los puntos mas severos de turbulencia, siendo prohibitivo su uso en líneas de vapor a alta velocidad.

Si el alineador de flujo se encuentra demasiado cerca del elemento primario, el perfil de la curva de distribución de velocidades se aplana lo suficiente como para producir lecturas ligeramente altas. Sin embargo este error es mínimo comparado con los que logra

**Conclusión:** Con los alineadores de flujo ponemos término a este primer artículo que ha tratado de los elementos primarios de medición y sus principales accesorios. El estudio elemental no sería completo si no se llegara a hablar de los elementos secundarios, a los cuales se les dedicará un artículo posterior, como complemento del presente.

**BIBLIOGRAFIA:**

- I.—D. M. Considine.—“Process Instruments and Controls Handbook”. — McGraw Hill Book Co. Inc. New York, Toronto, London, 1957.
- II.—L. K. Spink—Principles and Practice of Flow Meter Engineering”.—The Foxboro Co., Foxboro, Mass, U.S.A 1958.
- III.—Gas Measurement Committee Report No. 3 “Orifice Metering of Natural Gas” — American Gas Association 1955.
- IV.—Bulletin 7-10A “Flow Meters” — The Foxboro Co., Foxboro Mass. U.S.A.
- V.—Bulletin 158.—“Industrial Instrumentation” — The Foxboro Co., Foxboro, Mass. U.S.A.





# MOST COMPLETE SELECTION OF FLOW INSTRUMENTATION AVAILABLE

Foxboro provides a greater variety of instruments for flow measurement and control than is available from any other single source. This fact, plus over half a century of experience in every phase of fluid mechanics, assures the user of the most satisfactory solution for his flow problem.

The flow measuring systems described in this section may be conveniently divided into the following general categories involving four different measuring methods (page number references are also included):

## FOR LIQUID, STEAM, AND GAS FLOWS— IN PIPELINES

**A Differential Pressure (Head) Method** Flow through a suitable primary device, inserted in lines, produces differential pressure inferential of flow rate. This differential pressure is measured by the following means:

	Page
Mercury Manometer Elements	
Model 28	B17
Model 27	B17
Model 26	B17
Mercuryless Element—Model 37	B18, B19
Bell-Type Element—Model 9	B19
Pneumatic d/p CELL Transmitters	
Model 13	B20, B21
Model 13HA	B20, B21
Model 15	B20, B21
Indicating Transmitters	
Model 45 Pneumatic	B24
Model 637 Electronic	B24
Model 541 Flow Computer	B30, B31

## FOR LIQUID FLOWS ONLY—IN PIPELINES

**B Force Method** Force of flowing liquid on target-type device inserted directly in pipeline is inferential of flow rate. Force is measured by a:

Target-Type Transmitter B25

**C Velocity Methods** Precisely measurable voltage directly proportional to flow rate is detected:

by electrodes in a Magnetic Flow Transmitter (see below) B26, B27

by pulses in a Turbine Flow Transmitter (not shown below) B28, B29

## FOR OPEN CHANNEL FLOWS

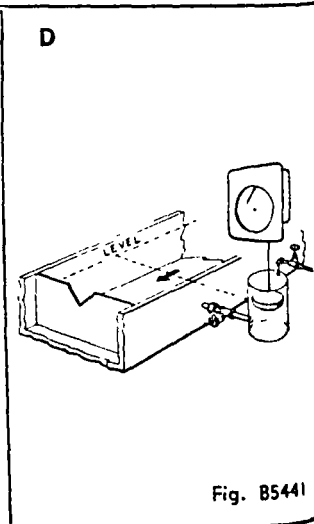
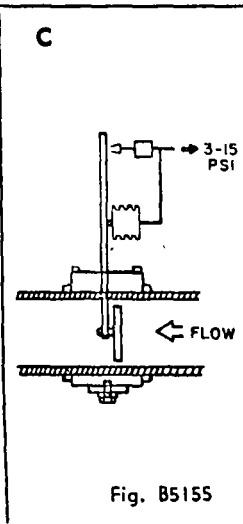
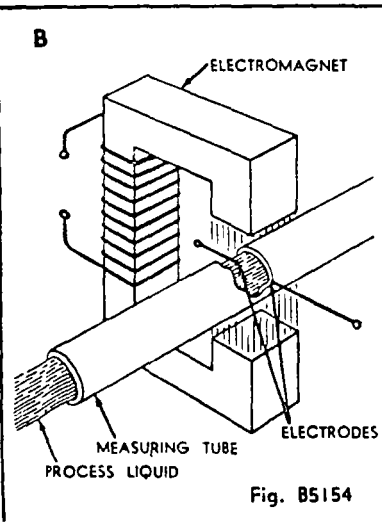
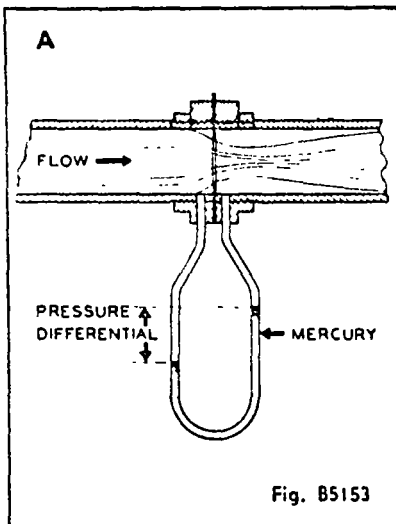
**D Level Method** Float motion, resulting from changes in head at weir or flume, actuates drum and characterized cam to position pen. Further described as:

Float-and-Cable Element B19

## OTHER PRODUCTS DESCRIBED IN FLOW SECTION

Primary Devices	B16
Integral Orifice Attachment for Small Flows	B21, B23
Magnetic Flow-to-Current Converter	B27
Flow Computer Accessories	B31
Frequency to d-c Converters	B32, B33
Pulse Rate Indicator	B33
Totalizers, Batchers, Blender	B34, B35
Integrators for Automatically Totalizing Flow	B36, B37

- ELECTRONIC CONTROL INSTRUMENTS
- UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS ELECTRONIC
- PNEUMATIC CONTROL INSTRUMENTS
- UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS PNEUMATIC
- SPECIAL PURPOSE INSTRUMENTS
- PANELS & CABINETS
- DIGITAL SYSTEMS
- PRESSURE
- LIQUID LEVEL
- TEMPERATURE
- SPEED, POSITION, ELECTRIC MEASUREMENT
- WEIGHT FORCE, TORQUE, DENSITY
- HUMIDITY & MOISTURE
- PRODUCT ANALYSIS
- TELEMETERING
- VALVES, POSITIONERS, OPERATORS
- ACCESSORIES
- ENGINEERING DATA



SUMMARY OF FLOW MEASURING TRANSMITTERS AND FLOW MEASURING ELEMENTS

TRANSMITTER OR ELEMENT	TYPES OF FLUIDS	TRANSMISSION	REMARKS
Model 28 Element Model 27 Element Model 26 Element	Clean, non-viscous liquids, vapors and gases; also, with seals or purges for viscous and corrosive fluids, and fluids containing solids in suspension.	Transmitter component can be added to indicators and recorders for transmission to receivers up to several hundred feet from the point of measurement. Elements also couple with M/45 Pneumatic Transmitter for transmission up to several hundred feet or, with M/633 or 637 Electronic Transmitter for transmission up to several thousand feet from the point of measurement	Float-on-mercury type. Provide high accuracy plus local reading and fast response.
Model 9 Element			Bell-type element (Model 9).
M/37 Element			Mercuryless type. Provides high accuracy plus local reading and faster response.
M/13 Transmitter M/13HA Transmitter M/15A Transmitter	Clean, non-viscous liquids, vapors and gases, anti-corrosion construction; also, with suitable purge, for viscous fluids, and fluids containing solids in suspension.	Pneumatic—to receivers up to several hundred feet from the point of measurement.  Electronic—to receivers up to several thousand feet from the point of measurement.	Provide fastest response needed when control components are added. Integral orifice can be added to any of these transmitters for measuring small flows.
M/E13DM Transmitter M/E13HM Transmitter M/E13DL Transmitter			
M/18B Transmitter M/618B Transmitter	Clean liquids, gases and vapors plus viscous fluids, slurries, and other solids-bearing liquids.	Pneumatic—to receivers up to several hundred feet from the point of measurement. Electronic—up to several thousand feet away.	Installs directly in line. No pressure taps required.
Magnetic Transmitter	Conductive liquids.	Electric—from point of measurement to receivers.	Installs directly in line. No flow obstruction; no pressure drop, no pressure taps.
Float-and-Cable Element	Open channel flow	Transmitter component can be added.	Commonly used to measure industrial waste, irrigation and similar flows.
Turbine Meter	Liquids.	Electric Pulse—from point of measurement to receivers.	Provides digital accuracy.

ELECTRONIC CONTROL INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS ELECTRONIC

PNEUMATIC CONTROL INSTRUMENTS

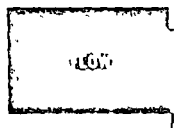
UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS PNEUMATIC

SPECIAL PURPOSE INSTRUMENTS

PANELS & CABINETS

DIGITAL SYSTEMS

PRESSURE



LIQUID L

TEMPERATURE

SPEED, POSITION, ELECTRIC MEASUREMENT

WEIGHT, FORCE, TORQUE, DENSITY

HUMIDITY & MOISTURE

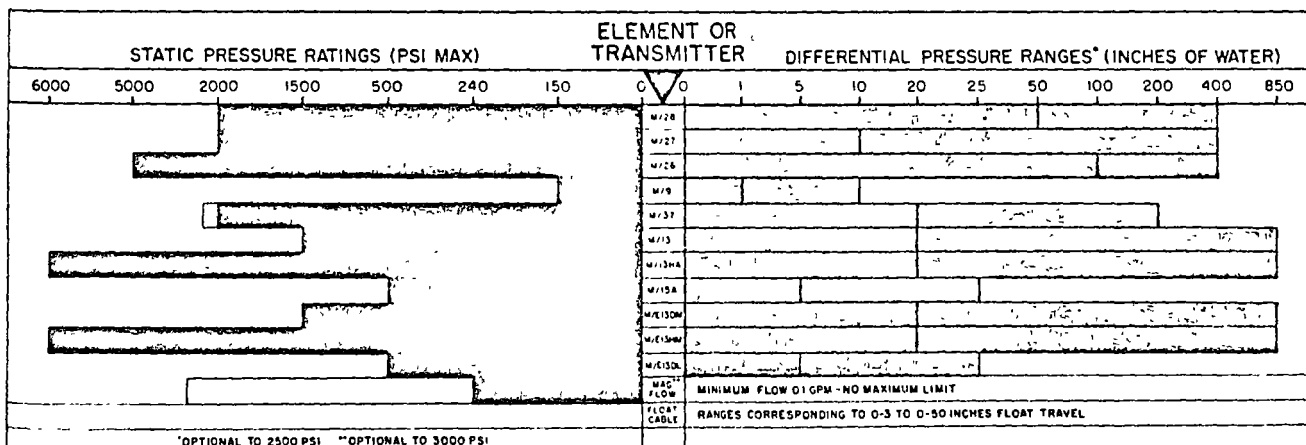
PRODUCT ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES, POSITIONERS, OPERATORS

ACCESSORIES

ENGINEERING DATA



VERTICAL LINES INDICATE MINIMUM AND MAXIMUM FULL-SCALE RANGES AVAILABLE FOR INTERMEDIATE RANGES AND FOR COMPOUND RANGES. SEE INDIVIDUAL PRODUCTS ON FOLLOWING PAGES

Fig. B5157

PRIMARY DEVICES

PRIMARY DEVICES

ELECTRONIC  
CONTROL  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
ELECTRONIC

PNEUMATIC  
CONTROL  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
PNEUMATIC

SPECIAL  
PURPOSE  
INSTRUMENTS

PANELS &  
CABINETS

DIGITAL  
SYSTEMS

PRESSURE

FLOW

LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED,  
POSITION,  
ELECTRIC  
MEASUREMENT

WEIGHT, FORCE,  
TORQUE,  
DENSITY

HUMIDITY &  
MOISTURE

PRODUCT  
ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES,  
POSITIONERS,  
OPERATORS

ACCESSORIES

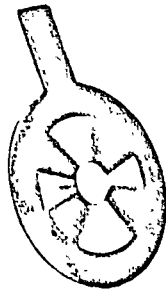


Fig. B5158

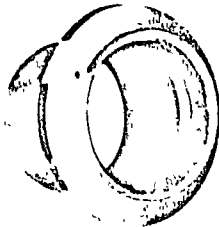


Fig. B5517

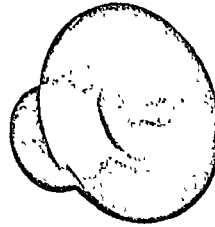


Fig. B5159

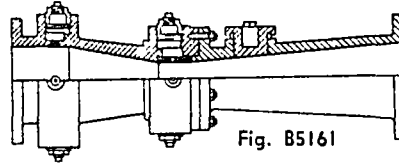


Fig. B5161



Fig. B5160

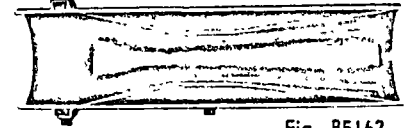


Fig. B5162

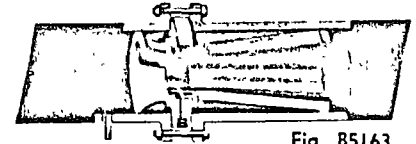


Fig. B5163

Flow through a primary device results in a differential pressure, inferential of flow rate, across the device. This pressure is measured by the measuring elements and transmitters described on pages B15-B23. Selection of a primary device is determined by: (1) physical characteristics of the fluid; (2) maximum rate of flow; (3) static pressure; (4) size of pipeline, (5) allowable over-all pressure loss

ORIFICE PLATES

Recommended for clean fluids only. Have more advantages—and suitable for more applications—than any other primary device

The square-edged orifice plate—B5158—with identification tab for use with raised-face flanges, is furnished in stainless steel, Monel and other materials, to meet ASME and AGA standards. Orifice may be concentric, eccentric, segmental, and quadrant edged. Available, without identification tab, for use with tab-type holding ring in ring-type-joint flanges, and orifice fittings. Orifice flanges, holding rings, orifice fittings also available.

FLOW NOZZLES

Provide greater flow capacity and constant discharge coefficient over a wider range of flow rates than orifice plates. Widely used for steam flow, also for fluids containing moderate amounts of solids in suspension.

Forged flow nozzles are available in either flange-type—B5159—or welding-ring-type (not shown) for high pressure and high temperature applications. Furnished to ASME standards in carbon steel, 304 stainless steel, chrome molybdenum and other materials. Fabricated, flange-type flow nozzles, in 304 stainless steel, are also available.

FLOW TUBES

Recommended for water, sewage, sludges, slurries, chemicals, steam trade wastes, air and gases. Tube throat is smooth curve with no exposed sharp edges or channels to clog.

Flow tube—B5517—features minimum pressure loss with large differential pressure for a given discharge. Also constant flow coefficients down to low Reynolds numbers and velocities for accuracy to within  $\pm 1.0$  percent of actual flow rate ( $\pm 0.5$  when laboratory calibrated).

Tubes available with flanged ends, with holding flange for insertion between flanges, or for in-line welding. Materials include cast iron, Meehanite, forged steel, stainless steel, Polyester fiber glass, as well as special materials.

VENTURI TUBES

Recommended for fluids containing large amounts of suspended solids; for low net pressure loss.

Type PVW—B5161—is available with standard recovery cone; or with long recovery cone for lowest pressure loss of any venturi form. Manufactured to AWWA specifications.

Modified forms of Type PVW, multi-tap or single-tap, and with clean-out valves, manual flushing or continuous purge, are available for sewage (Type PVS) and sludge (Type PVSL) flow measurement.

Type PVF—B5162—is lighter, less expensive than Type PVW. Fabricated tube is welded inside section of steel pipe. Has conventional-form cones, and throat of stainless steel; plain, spigot, or flanged ends. Supplied with piezometer taps, as shown, or with single taps at entrance and throat.

One-piece—fabricated or bar stock—modified venturi tubes, without piezometer rings, are also available in small sizes, generally below 6-inch, for slurries and fluids containing solids.

Type PVI—B5163—is used where space is insufficient for standard-form tube. Insert tube has integral holding ring for flange mounting, with single entrance tap, either external on the pipe—as shown—or integral with the throat tap in the holding ring (not shown). Cast iron body and recovery cone, bronze throat liner, standard through 20-inch sizes, cast iron body, steel plate recovery cone, standard for sizes above 20 inches. Also available in stainless steel.

PITOT TUBES

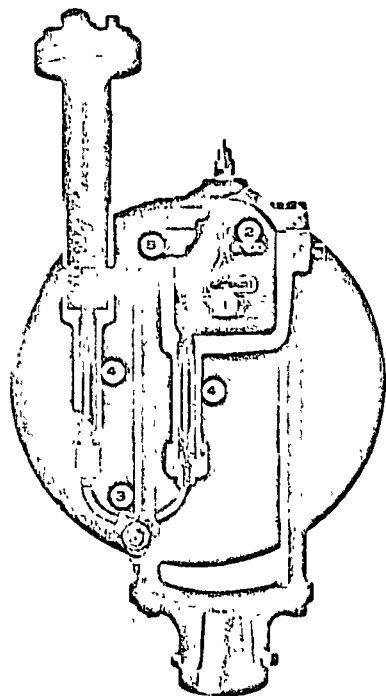
Recommended where only comparative measurements are required, when fluid is clean, line is large, and velocity is high. For accurate quantitative measurements, Pitot tubes must be calibrated in the line.

The adjustable-type Pitot tube—B5160—is installed through a corporation cock or gate valve for insertion or removal while line is under pressure. Available in brass or stainless steel. Also supplied in fixed type, where insertion or withdrawal, with line under pressure, is not required.

ELBOW TAPS

An existing pipe elbow becomes a primary device when pressure taps are employed under prescribed conditions. Elbow taps are easily and inexpensively installed by the user, and though not as accurate as other primary devices, provide a convenient method of repeatable flow measurement for control purposes.

MODELS 26, 27, 28 ELEMENTS



**POWERFUL, DEPENDABLE, ACCURATE** (See B5164.) Large diameter float (1) and long float-travel and segmental lever combine to provide positive, accurate instrument actuation. . . . "O"-ring seal—at virtually friction-free drive-shaft bearing (2)—seals in static pressures up to 5000 psi. . . . Self-aligning U-bend (3) with double "O"-ring seal assures positive protection against leaking, loss of mercury. Adjustable hex nut, at bottom of U-bend, combines with characterized-port-type plug to provide wide-range, linear damping with instrument under pressure. . . . Submerged, perfect-seating, ball-seat check valves (4) close ports at U-bend in case of overrange, sudden fluctuations or reversals in flow. Valves are interchangeable, won't lock shut. . . . Float chamber (5) machined from a one-piece forging of high-grade carbon steel. Range chambers made from forgings or cold drawn steel tubing. Top connection for complete venting of chamber; side connection for quick removal of cover, easy cleaning.

Fig. B5164 Cutaway view of Model 27 element mounted on circular-case instrument. Also used with rectangular-case instruments.

For measuring flow\* at static pressures up to 5000 psi. Provide highest accuracy plus local reading. Float, resting on column of mercury, converts differential pressure to motion output. Drive-shaft positions instrument pen, pointer, or other device, in proportion to square of flow rate.

Mounted—near the point of measurement—with universal rectangular-case or circular-case recorder, indicator, or controller, with or without integrator. Instrument can be supplied with pneumatic or electric transmission to receiver instruments up to several hundred feet away. Elements are also used with M/45 Universal Pneumatic Transmitter, Model 633 Electronic CONSOTROL Flow Transmitter, and with telemetering transmitters.

"Standard," for many years, in the gas industry for measuring critical production and distribution flows. Also used throughout the process industries on flows of liquids, gases, and steam. Seal systems required for corrosive fluids; purge systems for solids-bearing fluids.

Not recommended where contact of mercury with flowing fluid can be potentially explosive, as in the case of ammonia and acetylene, or toxic, as in the case of foods, drugs.

SPECIFICATIONS

Model Number	Pressure Limits	Ranges	Lbs Mercury
28 For Highest Accuracy	2000	0-50, 0-100, 0-400 25-0-25, 50-0-50	13
27 For General Application	2000	0-10, 0-20, 0-50 0-80, 0-100, 0-150 0-200, 0-250, 0-350 0-400 5-0-5, 10-0-10 25-0-25, 50-0-50	8 to 10.5
26 For High Static Pressures	5000	0-100, 0-200, 0-400	9.5

\*The Model 27 element and the Model 9 (bell-type) element (see page B19) are also used for density measurement, page B59, and, with temperature and pressure compensation, for air weight measurement. For measuring flows of compressible fluids under widely varying pressure conditions, these elements can be supplied with pressure compensators.

ELECTRONIC CONSOTROL INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE INSTRUMENT ELECTRON.

PNEUMATIC CONSOTROL INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS PNEUMATIC

SPECIAL PURPOSE INSTRUMENTS

PANELS & CABINETS

DIGITAL SYSTEMS

PRESSURE

FLOW

LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED, POSITION, ELECTRIC MEASUREMENT

WEIGHT, FORCE, TORQUE, DENSITY

HUMIDITY & MOISTURE

PRODUCT ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES, POSITIONERS, OPERATORS

ACCESSORIES

ENGINEERING DATA

ELECTRONIC  
CONSOLE  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
ELECTRONIC

PNEUMATIC  
CONSOLE  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
PNEUMATIC

SPECIAL  
PURPOSE  
INSTRUMENTS

PANELS &  
CABINETS

DIGITAL  
SYSTEMS

PRESSURE

FLOW

LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED,  
POSITION,  
ELECTRIC  
MEASUREMENT

WEIGHT, FORCE,  
TORQUE,  
DENSITY

HUMIDITY &  
MOISTURE

PRODUCT  
ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES,  
POSITIONERS,  
OPERATORS

ACCESSORIES

ENGINEERING  
DATA

MODEL 37 ELEMENT

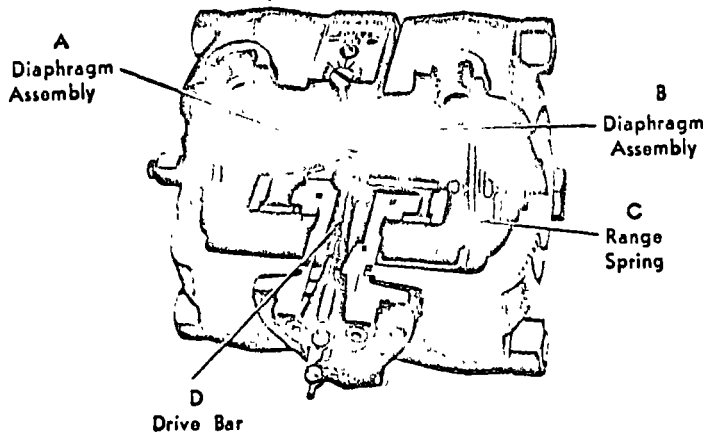


Fig. B5518 Cutaway view of M/37 element. Differential pressure increase compresses assembly A, displacing liquid to assembly B, which expands until differential pressure is balanced by range spring C, positioning instrument drive bar D.

For measuring flow at static pressures up to 2000 psi (optional to 2500 psi). Provides highest accuracy, local reading, and the fast response to flow change usually needed when the measurement is used as the basis of flow control. Also used for liquid level measurement.

Flexible diaphragm assembly converts differential pressure from primary device to motion; actuates drive bar to position instrument pen, pointer, or other device, in proportion to square of flow rate. Similar in application to mercury-manometer elements, but uses no mercury.

Mounted—near the point of measurement—with universal rectangular-case or circular-case recorder, indicator, or controller, with or without integrator. Instrument can be supplied with pneumatic or electric transmission to receiver instruments up to several hundred feet away.

Element is also used with Model 637 Electronic CONSOLE Flow Transmitter, Model 45 Universal Pneumatic Transmitter, telemetering transmitters, and with Model 43A Pneumatic Controller.

Widely approved in the gas industry for measuring production and distribution flows. Also used throughout the process industries on flows of liquids, gases, and steam.

**DURABLE, DEPENDABLE SENSING ELEMENT** Absolute overrange immunity to 2000 psi—or to 2500 psi optionally. Sensing element is unique, liquid-filled, expandable diaphragm assembly with stainless steel stop-rings and powerful range spring (see B5518). Withstands sustained overranges without damage, change in calibration, or zero shift. *No overrange valves to leak or lock up.* Full range damping adjustable under pressure.

**UNEQUALLED SENSITIVITY—SUPERIOR LINEARITY**

Long (5/16-inch) full-range travel of sensing unit provides unusual sensitivity to small differential pressure changes. Extreme flexibility of unit combines with high power of range spring for outstanding linearity. Bi-metallic temperature compensator and range spring of temperature-stable Ni-Span C alloy assure constant zero and span settings.

**POWERFUL, FRICTIONLESS MOTION TRANSFER**

Drive bar is flexure-pivoted, direct-connected to sensing element, assuring precise motion transfer, positive zeroing. Seal is free-flexing nickel bellows.

**EASY RANGE CHANGE** Covers can be removed and range spring replaced in a few minutes time. Final zero setting and calibration adjustment can be made from the front of the instrument.

**DIFFERENTIAL RANGES—INCHES OF WATER**

Standard Full Scale	0-20	0-50	0-100	0-200
Modified Full Scale	0-25	0-26	0-51	0-101
		to 0-49	to 0-99	to 0-199
Compound	5-0-15	10-0-40	20-0-80	50-0-150
	10-0-10	20-0-30	40-0-60	75-0-125
		25-0-25	50-0-50	100-0-100
Suppressed or Expanded	Any range except 20-inch with:			
	Minimum Span		Top Scale Reading	
	30		30 to 50	
	50		50 to 100	
100		100 to 200		

**MODEL 37 SPECIFICATIONS**

Accuracy  $\pm 0.25$  percent of span (with 20-inch differential,  $\pm 0.4$  percent of span).  
 Dead Band 0.01 percent of span.  
 Response From 0 to 63 percent of scale in less than 1 second (less than 2 seconds, with 20-inch differential).  
 Ambient Temperature Effect Zero error: 0.5 percent per 100 degrees F.  
 Working Temperature Limits  $-30$  to  $+230$  F.  
 Static Pressure Effect Zero error per 500 psi: 0.25 percent. For 20-inch differential, 0.5 percent.

Connections Covers tapped for 1/2 NPT (top), 1/4 NPT (bottom) for differential pressure connections. Taps can be easily reversed by rotating covers 180 degrees.  
 Construction  
 Diaphragm Assembly 316 stainless steel.  
 Body and Covers Standard forged carbon steel, cadmium-plated. Optional 316 stainless steel.  
 Dimensions (inches) 9 W x 6 H x 6 D.  
 Weight (M/37 element only.) With steel covers, 45 lbs. With aluminum covers, 33 lbs.

ELECTRONIC CONTROL INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS ELECTRONIC

PNEUMATIC CONTROL INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS PNEUMATIC

SPECIAL PURPOSE INSTRUMENTS

PANELS & CABINETS

DIGITAL SYSTEMS

PRESSURE

LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED, POSITION, ELECTRIC MEASUREMENT

WEIGHT, FORCE, TORQUE, DENSITY

HUMIDITY & MOISTURE

PRODUCT ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES, POSITIONER OPERATORS

ACCESSORIES

**MODEL 9 ELEMENT**

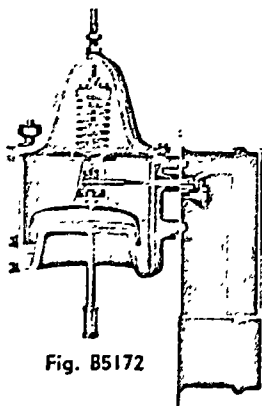


Fig. B5172

For Low-Differential Flows\* Uses mercury (or low gravity liquid) for seal only. Spring-balanced bell, resting in seal, partitions interior of element body into high and low pressure chambers, rises and falls with differential pressure. Transfers motion through segmental drive assembly and pressure seal bearing similar to those used in mercury manometer elements. Used extensively on low pressure gas flows. Adaptable to steam or liquid service.

**MODEL 9 SPECIFICATIONS**

Static Pressures Up to 150 psi.  
 Ranges Interchangeable, 0-1, 0-2-1/2, 0-5, 0-10 inches of water differential. Odd ranges between 1 and 12-1/2 inches of water differential optionally available.  
 Sealing Fluid Ranges from 0-1 to 0-1.25 inches of water require one pint of Aquascal. Ranges from 0-1.26 to 0-12 inches of water require 6-1/2 lbs. of mercury.

Body Cast iron.  
 Bell Stainless steel.

\*Also used for density measurement, page B57, and (like Model 27 element described on page B17) with temperature and pressure compensation, for air weight measurement. See "Air Weight Control," Foxboro Bulletin M-10.

**FLOAT-AND-CABLE ELEMENT  
(Model 31 Flow Recorder)**

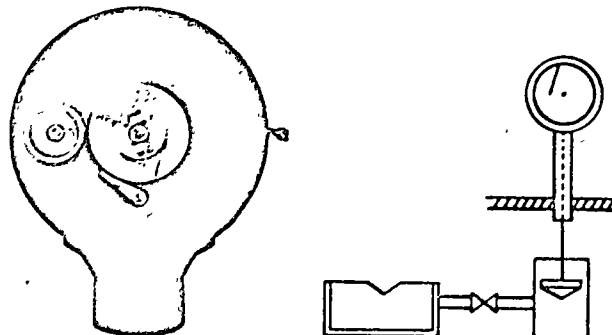


Fig. B5196 Rear interior view of M/31 Open Channel Flow Recorder showing float-and-cable element. Over-all dimensions:  $15\frac{3}{4}$  x  $10\frac{1}{8}$  inches. Drawing shows typical installation.

For measuring irrigation, sewage, and similar liquid flows in open channels, using weir, Parshall flume, or similar devices; and for measuring liquid level. Element is mounted integrally in case with reduction gearing to recorder or eccentric indicator components. Case is adaptation of Foxboro standard 12-inch circular case. Instrument also can be equipped with pneumatic or vacuum transmission to receiver instruments up to several hundred feet away. Also furnished as indicating telemetering transmitter (see pages B72, B73).

Float motion from changes in head at weir or flume actuates drum, gear-train, and cam mechanism which positions pen or pointer, in direct proportion to flow.

Ranges: flows or levels corresponding to float travel from 0-3 to 0-50 inches of water.

**TOTALLY ENCLOSED, WEATHERPROOF CONSTRUCTION**  
 Mechanism and cable completely protected from adverse weather conditions or tampering. Negator spring replaces conventional counterweight. Instrument is yoke-mounted for quick installation in the field. Ranges easily changed by simple interchanging and repositioning of two drums and a series of gears.

PNEUMATIC d/p CELL TRANSMITTERS

ELECTRONIC  
CONTROL  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
ELECTRONIC

PNEUMATIC  
CONTROL  
INSTRUMENTS

UNIVERSAL CASE  
INSTRUMENTS  
PNEUMATIC

SPECIAL  
PURPOSE  
INSTRUMENTS

PANELS &  
CABINETS

DIGITAL  
SYSTEMS

PRESSURE

FLOW

LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED,  
POSITION,  
ELECTRIC  
MEASUREMENT

WEIGHT, FORCE,  
TORQUE,  
DENSITY

HUMIDITY &  
MOISTURE

PRODUCT  
ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES,  
POSITIONERS,  
OPERATORS

ACCESSORIES

ENGINEERING  
DATA

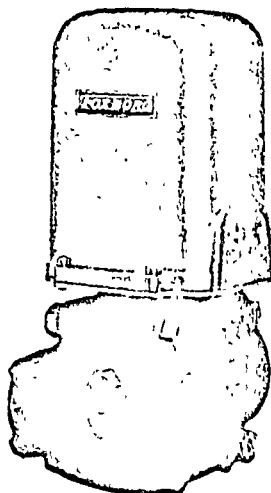


Fig. B5175  
13 series d/p CELL  
Transmitter.

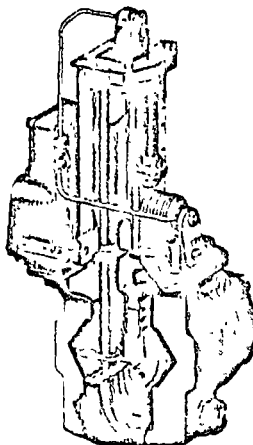


Fig. B5176  
Cutaway View of  
Diaphragm Capsule.

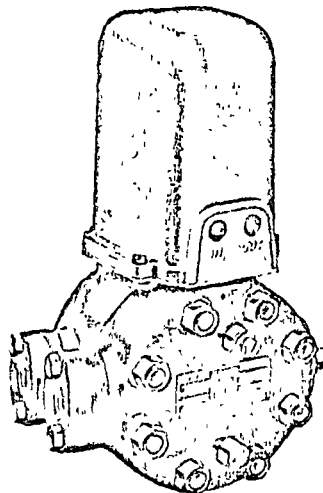


Fig. B5177  
13H series d/p CELL  
Transmitter.

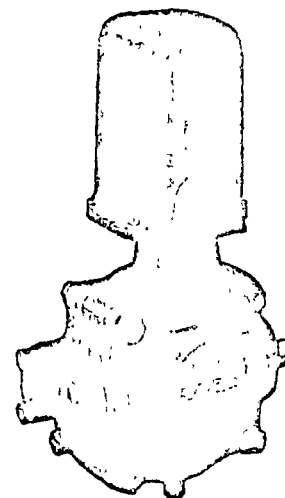


Fig. B5178  
15 series d/p CELL  
Transmitter.

For measuring and transmitting flow measurements at static pressures up to 6000 psi. Provide the advantages of pneumatic transmission and the fast response to flow change usually needed when the measurement is used as the basis of control.

Adjustable to measure flow at any range between 0-5 and 0-25, 0-20 and 0-205, or 0-200 and 0-850 inches of water differential. Adaptable—by integral orifice attachment—to measure full-scale fluid flows corresponding to water flows as small as 0.005 gpm and air flows as small as 0.02 cfm at standard conditions.

Convert differential pressure from primary device to 3-15 psi pneumatic signal proportional to square of flow rate. Transmit signal, through 1/4-inch tubing, to 3-15 psi receivers—controllers, recorders, indicators, or integrators—up to several hundred feet from the point of measurement.

Also used for liquid level measurement and transmission, see pages B38-B43.

**MOST WIDELY ACCEPTED FORCE-BALANCE TRANSMITTERS** Unsurpassed in accuracy, sensitivity and speed of response. Smallest, lightest, easiest to install and maintain. Mercuryless. Simple range and zero adjustments. Zero adjustment externally accessible. Operate in any position.

**ONLY FORCE-BALANCE TRANSMITTERS WITH FAILPROOF OVERRANGE PROTECTION** Sensing element is perfected diaphragm capsule—a pair of flexible, stainless steel diaphragms seam-welded to opposite sides of a rigid, stainless steel disc. On over-

range, contoured diaphragm presses flush against identically contoured disc which absorbs full force of overrange pressure without damage to capsule. Disc is drilled for controlled displacement of silicone fluid fill between diaphragms, “damping out” extraneous high frequency flow disturbances. No “O”-rings to leak or lock up. Diaphragm capsules easily interchange in field to provide broad measurement capability.

**MAINTENANCE-FREE OPERATION, LIFETIME CONSTRUCTION** All-metal construction assures lifetime durability, permanent dimensional stability. Diaphragm of lifetime Elgiloy alloy, with silicone rubber gasket, provides permanent leakproof seal between cell body and transmitter mechanism. Teflon gaskets insure against loss of differential pressure across diaphragm capsule or process fluid leaks at connection assemblies. All parts exposed to process fluid are corrosion-resistant 316 stainless steel (or Monel metal—when required) with body forgings available in cadmium plated carbon steel. Transmitting mechanism doubly protected from fumes, dust, and moisture—has gasketed, aluminum, weather-proof enclosure continuously purged with clean, dry operating air.

**SIMPLEST-TO-INSTALL OF ALL FORCE-BALANCE TRANSMITTERS** High and low pressure connection taps at both ends of body, for optional connection. Taps are located on 2-1/8-inch centers to fit standard orifice flange union. Connection assemblies assure swift mounting and dismantling of transmitter. U-bolt mounting bracket adapts to either vertical or horizontal 2-inch pipe support.

TRANSMITTER TYPES

**Model 13 Series—For General Application** Provides superior, all-around performance on flows at static pressures up to 1500 psi and any range between 0-20 and 0-205, or between 0-200 and 0-850 inches of water differential. (0-10-inch minimum range optionally available.)

**Model 13H Series—For High Static Pressures** For use where static pressures as high as 6000 psi are encountered, as on hydrogenation, ammonia synthesis, synthetic fibre manufacture, and similar applications; for any range between 0-20 and 0-205, or between 0-200 and 0-850 inches of water differential. (0-10-inch minimum range optionally available.)

**Model 15 Series—For Low Differential Pressures** For flows at any range between 0-5 and 0-25 inches of

water differential and low static pressures up to 500 psi. Most frequently used where excess pressure loss must be avoided. (0-2-inch minimum range optionally available.)

SPECIFICATIONS

	Model 13 Series	Model 13H Series	Model 15 Series
Ranges (inches of water)	0-20 to 0-205* 0-200 to 0-850†	0-20 to 0-205* 0-200 to 0-850†	0-5 to 0-25**
Spans Minimum	20	20	5
Maximum	850	850	25
Range Depression or Elevation	0-205, 0-850	0-205, 0-850	0-50
Static Pressure Limits	1500 psi	6000 psi	500 psi
Dimensions Wide (inches)	6-1/8	7-9/32	8-7/8
High	11-11/16	12-11/32	14-3/8
Deep	4-11/16	5-1/16	4-11/16
Weight (lb)	19	28	30

UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS ELECTRONIC

PNEUMATIC CONTROL INSTRUMENTS

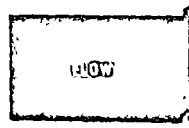
UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS PNEUMATIC

SPECIAL PURPOSE INSTRUMENTS

PANELS & CABINETS

DIGITAL SYSTEMS

PRESSURE



LIQUID LEVEL

TEMPERATURE

SPEED, POSITION, ELECTRIC MEASUREMENT

WEIGHT, FORCE, TORQUE, DENSITY

HUMIDITY & MOISTURE

PRODUCT ANALYSIS

TELEMETERING

VALVES, POSITIONERS, OPERATORS

ACCESSORIES

INTEGRAL ORIFICE ATTACHMENT FOR SMALL FLOWS

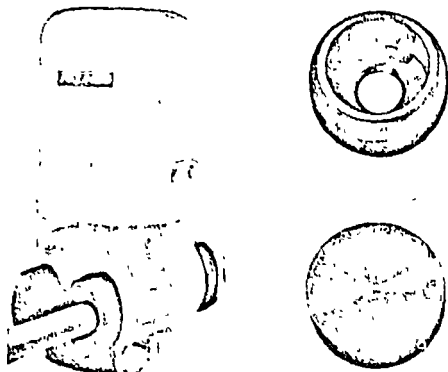


Fig. B5179\*

Fig. B5180

Adapts Models 13, 13H and 15 series transmitters to the measurement of extremely small flows. Used in research, pilot plant, industrial flow ratioing and similar applications. Usually assembled with transmitter at Foxboro. Also available as kit, consisting of manifold (B5179), one to six interchangeable orifices (B5180), and necessary connecting parts for adaptation in the field. Orifices are sized from 0.002 to 0.350 inches ID. Full-scale ranges: fluid flows corresponding to water flows from 0.00005 to 17.6 gpm; air flows (at atmospheric pressure) from 0.0002 to 18 scfm. Chart readability at the receiver provides accurate reading of flow measurement down to 0.00002 gpm (water); 0.00007 scfm (gas).

Accuracy ±.5 percent (typical ranges).

Dead Band 0.05 percent of span.

Repeatability 0.1 percent of span.

Working Temperature Limits -40 to +250 F at cell body. Lead lines may be extended to assure sufficient radiational cooling, even on hottest process fluids.

Output Signal 3-15 psi.

Air Supply 20 psi.

Air Consumption Normal relay bleed rate 0.5 scfm.

Construction Body carbon steel or 316 stainless steel. Diaphragm capsule 316 stainless steel. (Monel body and capsule available for 13 Series.) Cover cast aluminum, gasketed, weatherproof. Other materials available.

Mounting U-Bolt bracket for 2-inch pipe. Mount in any position, except Model 15A which must be mounted vertically.

Connections Process Measurement 1/4, 1/2 NPT and 1/2-inch Schedule 80 welding neck, interchangeable. Air tapped for 1/4 NPT.

Optional Features Air filter-regulator set. Differential pressure bypass manifold. Range attachment for reverse flow applications; range or elevation attachment for closed tank liquid level measurements.

\*with medium-range diaphragm capsule.

\*\*With low-range diaphragm capsule.

†With high-range diaphragm capsule.

# TARGET FLOW TRANSMITTERS

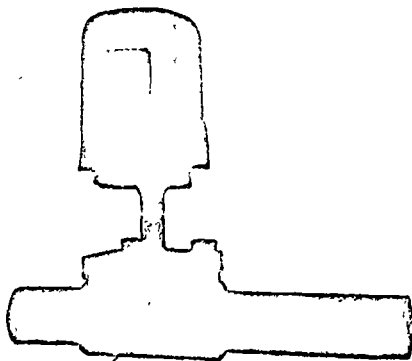


Fig. B5521  
18 Series Target Transmitter, cut away to show target-type flow sensing element.

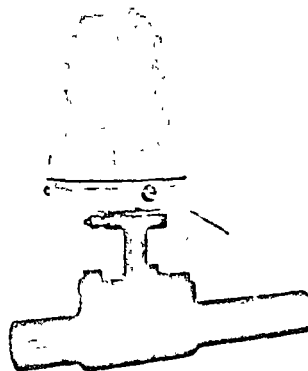


Fig. B9167  
618 Series Target Flow Transmitter

Target Flow Transmitters deliver dependable, repeatable force-balance measurement and transmission of flow of clean fluids plus proven ability to handle heavy, conductive and non-conductive viscous fluids. These include "difficult" substances such as hydrocarbons, hot asphalt, tars, synthetic dopes, oils and slurries at static pressures to 1500 psi, even in high viscosity regions where pipe Reynolds numbers are 2000 or less.

The Pneumatic Target Flow Transmitter (18 Series) operates on instrument air supply, requires no explosion-proof construction.

The Electronic Target Flow Transmitter (618 Series) output is a 10-50 ma d-c signal suitable for transmission over long distances. This signal is standard with all Foxboro electronic CONSOTROL instruments and systems. The transmitter is designed for Class I, Group D, Division 1.

**FORCE-BALANCE MEASUREMENT AND TRANSMISSION—INHERENTLY PRECISE AND STABLE** The operating works of this instrument is essentially the same as that of the Foxboro d/p Cell Transmitter—performance proven throughout industry. The force-balance mechanism converts a force (from 2 to 16 pounds) exerted by the flowing liquid on a target to a 3-15 psi air or a 10-50 ma d-c electric signal, for transmission to a receiver. A built-in damping device—silicone oil-filled dashpot—damps out excessive line "noise" or vibration without adversely affecting loop sensitivity.

**EASY RANGE CHANGE IN THE FIELD** Range changes up to 2:1 without changing parts—just rotate the indexing wheel on the calibrated range rod. Inter-

change one part—the target—for range changes up to 4:1 and more. Different targets for each line size are readily available.

**ALL-METAL CONSTRUCTION** Leakproof diaphragm seal of corrosion-resistant cobalt nickel alloy keeps the process fluid from the transmitter mechanism. Target and force bar are 316 stainless steel. Body assembly and pipe are available in carbon steel or 316 stainless.

**LOW INSTALLATION COST—BUILT-IN PRIMARY DEVICE** With single, rugged, compact unit there are no pressure taps, virtually no moving parts. A sharp-edged target is suspended concentrically inside the process line. The flow stream exerts on the target a force which is proportional to the square of the rate of flow. The force bar transmits this force directly to the transmitter mechanism without lost motion. No delicate parts—nothing to get out of alignment.

## SPECIFICATIONS (General)

Calibrated Accuracy  $\pm 0.5$  percent of span.\*

Dead Band 0.05 percent of span.

Repeatability 0.1 percent of span.\*

PIPE SIZE	RANGE—GPM	PROCESS TEMPERATURES AS HIGH AS
3/4-inch	0-11.5 to 0-27	750 F
2-inch	0-28 to 0-125	750 F
3-inch	0-60 to 0-250	500 F
4-inch	0-150 to 0-500	500 F

\*Dynamic accuracy and repeatability are dependent upon the pipe Reynolds number.

- ELECTRONIC CONTROL INSTRUMENTS
- UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS ELECTRONIC
- PNEUMATIC CONTROL INSTRUMENTS
- UNIVERSAL CASE INSTRUMENTS PNEUMATIC
- SPECIAL PURPOSE INSTRUMENTS
- PANELS & CABINETS
- DIGITAL SYSTEMS
- PRESSURE
- LIQUID LEVEL
- TEMPERATURE
- SPEED, POSITION, ELECTRIC MEASUREMENT
- WEIGHT, FORCE, TORQUE, DENSITY
- HUMIDITY & MOISTURE
- PRODUCT ANALYSIS
- TELEMETERING
- VALVES, POSITIONERS, OPERATORS
- ACCESSORIES
- ENGINEERING DATA



DESCRIPCION DE UN SISTEMA NEUMATICO PARA  
MEDICION DE GASTO DE UN GAS, CON COMPEN-  
SACION POR CAMBIOS DE PRESION Y TEMPERATURA

Ing. Francisco Correa

Consideraciones Generales

La correspondencia de valores entre la presión diferencial y el gasto puede quedar descrita por la siguiente ecuación:

$$H = K \frac{T}{P} Q^2 \dots\dots\dots (1)$$

El valor de K es, en una determinada instalación, aproximadamente constante. Su valor depende de la relación de diámetros, densidad relativa del gas, tipo de tomas, unidades de medición utilizadas, y de todos los demás elementos que es necesario tener presentes al hacer cálculos relacionados con el diámetro del orificio o restricción.

Al hacer esos cálculos, generalmente se considera que el gas circulará a presión y temperatura fijas. Si así sucediera, la presión diferencial variaría solamente al variar el gasto, y su valor podría considerarse como una indicación del valor de dicho gasto. Sin embargo, en muchas aplicaciones puede haber fluctuaciones de presión y temperatura, y entonces la diferencial no es una indicación fiel del valor del gasto.

Sistema con Compensación

Es posible compensar las fluctuaciones mencionadas obteniendo mediante los transmisores adecuados, señales neumáticas que representen a la presión diferencial, a la presión estática del gas y a la temperatura del mismo, y aplicando dichas señales

a dos unidades neumáticas calculadoras. La señal neumática finalmente obtenida depende solamente del gasto.

El diagrama de bloques de la figura 1 indica como están relacionados los componentes del sistema. La señal de salida de cada bloque es función de la señal o señales de entrada. La expresión encerrada en cada bloque indica cuál es el tipo de esta función.

Función del Elemento Primario

Al hacer los cálculos relacionados con el diámetro del elemento primario, se considera que la presión diferencial tomará su valor máximo cuando el caudal sea máximo y, al mismo tiempo, la presión estática tuviera su máximo valor y la temperatura su mínimo valor:

$$H_M = K \frac{T_m}{P_M} Q_M^2 \dots\dots\dots (2)$$

De las ecuaciones (1) y (2) se obtiene

$$\frac{H}{H_M} = \frac{T/T_m}{P/P_M} \left(\frac{Q}{Q_M}\right)^2 \dots\dots\dots (3)$$

o sea

$$h = \frac{t}{p} \cdot q^2 \dots\dots\dots (4)$$

Función del Transmisor de Presión Diferencial

La señal de salida de este transmisor pasa en forma lineal de su valor mínimo, a su valor máximo, al pasar la presión diferencial de su valor mínimo, que es cero, a su valor máximo:

$$n 2 = \frac{N2 - N2_m}{N2M - N2m} = \frac{H - H_m}{H_M - H_m} = \frac{H}{H_M} = h \dots\dots\dots (5)$$

### Función del Transmisor de Presión Estática

Su comportamiento es semejante al del transmisor anterior:

$$n_3 = \frac{N_3 - N_{3m}}{N_{3M} - N_{3m}} = \frac{P - P_m}{P_M - P_m}$$
$$= \frac{P/P_M - P_m/P_M}{1 - P_m/P_M} = \frac{p - r_p}{1 - r_p} \dots \dots (6)$$

Es interesante la observación de que aún cuando  $P$ ,  $P_m$  y  $P_M$  son presiones absolutas, el valor de  $n_3$  depende sólo de diferencias entre esas presiones. Por consiguiente, basta que el transmisor considerado mida presión manométrica.

### Función del Transmisor de Temperatura

Como en el caso anterior,

$$n_4 = \frac{N_4 - N_{4m}}{N_{4M} - N_{4m}} = \frac{T - T_m}{T_M - T_m}$$
$$= \frac{T/T_m - 1}{T_M/T_m - 1} = \frac{t - 1}{r_T - 1} \dots \dots (7)$$

### Función de la Unidad Compensadora por Presión

La descripción de esta función es más sencilla utilizando las cantidades representadas por letras minúsculas:

$$n_5 = n_2 \left[ r_p + (1 - r_p) n_3 \right] \dots \dots (8)$$

y según las ecuaciones (5) y (6),

$$n_5 = h \left[ r_p + (1 - r) \frac{p - r_p}{1 - r_p} \right] = h p \dots \dots (9)$$

Según esto, se puede considerar que esta unidad sirve para multiplicar dos variables.

Función de la Unidad Compensadora por Temperatura

$$n_6 = n_5 \left[ \frac{1}{1 + (r_p - 1)n_4} \right] \dots \dots (10)$$

y según las ecuaciones (7) y (9):

$$n_6 = n_5 \left[ \frac{1}{1 + (r_T - 1) (t - 1)/(r_T - 1)} \right] \\ = n_5 \cdot \frac{1}{t} = \frac{n_5}{t} = \frac{h_p}{t} \dots \dots \dots (11)$$

Por medio de esta unidad se obtiene el cociente entre dos variables.

Resultado final

Si en un sistema de medición y transmisión sin compensación permanecieran constantes la presión y temperatura, con los valores  $P_M$  y  $T_m$ , utilizados en los cálculos relacionados con el diámetro del elemento primario, se tendría

$$p = P_M/P_M = 1 \dots \dots \dots (12)$$

$$t = T_m/T_m = 1 \dots \dots \dots (13)$$

y entonces, según la ecuación (4),  $h = q^2$ , y la señal neumática  $n_2$  de la figura 3 sería

$$n_2 = h = q^2 \dots \dots \dots (14)$$

Por otra parte, en el sistema con compensación ya descrito se tendría, según las ecuaciones (4) y (11) :

$$n_6 = q^2 \dots \dots \dots (15)$$

Es decir, la señal  $n_6$  dependería solamente del caudal y tomaría los mismos valores que la señal  $n_2$  del sistema sin compensación de la figura 3.

## Limitaciones

El sistema descrito puede trabajar, en la práctica, dentro de los siguientes límites:

$$1/2 \leq r_p \leq 3/4$$

$$4/3 \leq r_T \leq 2$$

## Nomenclatura

- Q Caudal del gas, en unidades de volumen a determinadas presiones y temperatura base (por ejemplo, a 760 mm de mercurio y 20 °C) o bien en unidades de peso.
- H Presión diferencial
- P Presión estática absoluta del gas
- T Temperatura absoluta del gas
- N2 Presión de salida del transmisor de presión diferencial
- N3 Presión de salida del transmisor de presión estática
- N4 Presión de salida del transmisor de temperatura
- N5 Presión de salida de la unidad compensadora por presión
- N6 Presión de salida de la unidad compensadora por temperatura

Subíndices: M indica valor máximo, m indica valor mínimo

$$q = Q/Q_M$$

$$h = H/H_M$$

$$p = P/P_M$$

$$t = T/T_m$$

$$r_p = P_m/P_M$$

$$r_T = T_M/T_m$$

Para una determinada  $N_j$ ,

$$n_j = (N_j - N_{j_m}) / (N_{j_M} - N_{j_m})$$

Observaciones

$$\varphi_m = 0$$

$$H_m = 0$$

$$r_p \leq p \leq 1$$

$$1 \leq t \leq r_T$$

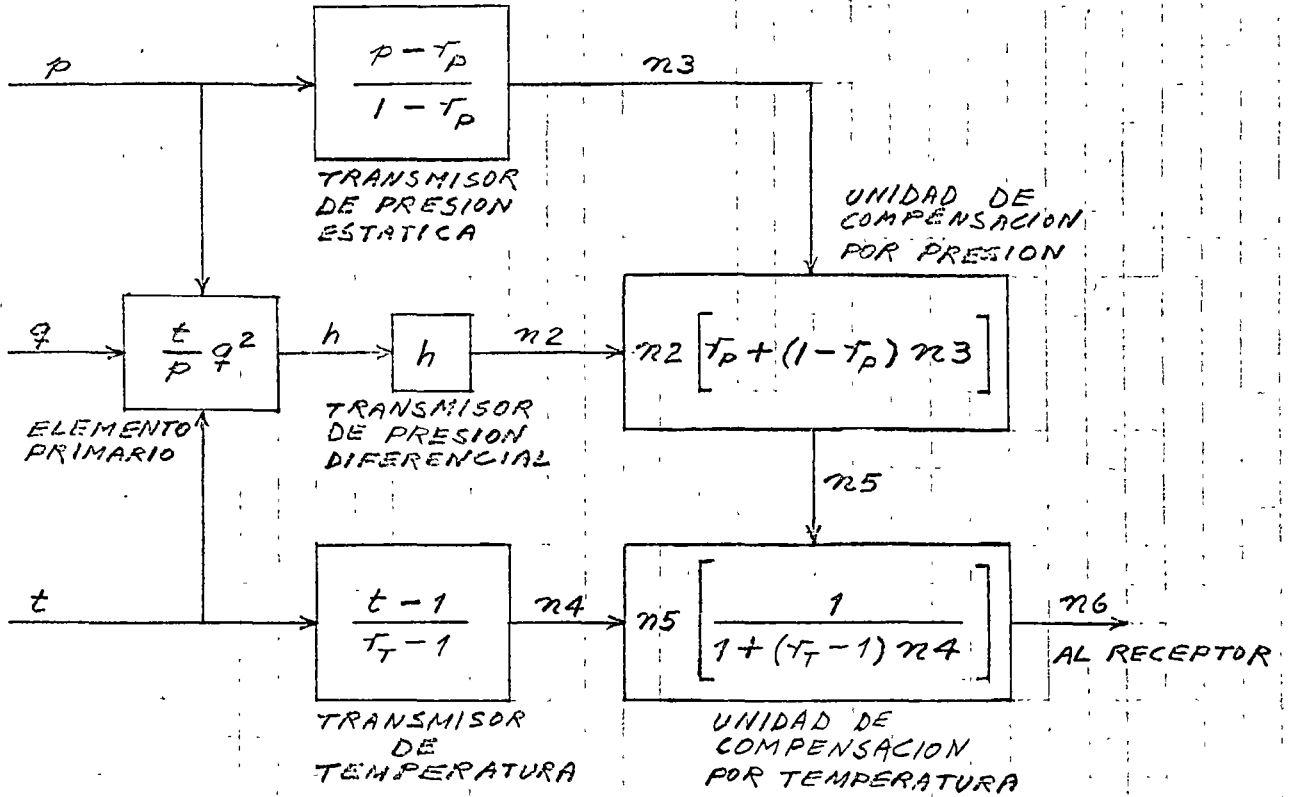


FIGURA 1. SISTEMA CON COMPENSACION

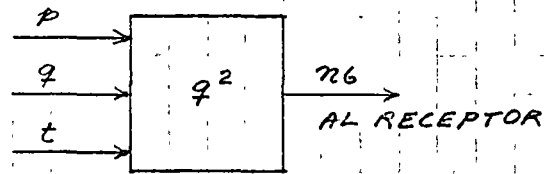


FIGURA 2. BLOQUE EQUIVALENTE

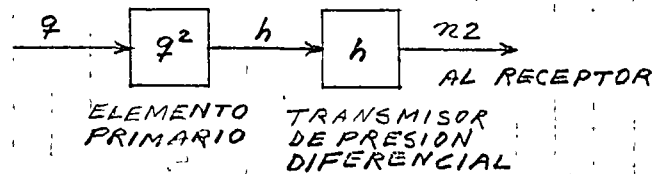


FIGURA 3. SISTEMA CON PRESION Y TEMPERATURA CONSTANTES

## ROTAMETROS .

- - - - -

### PRINCIPIO DE OPERACION:

En su forma más simple y elemental, el rotámetro-medidor de flujo de área variable- consiste de dos partes:

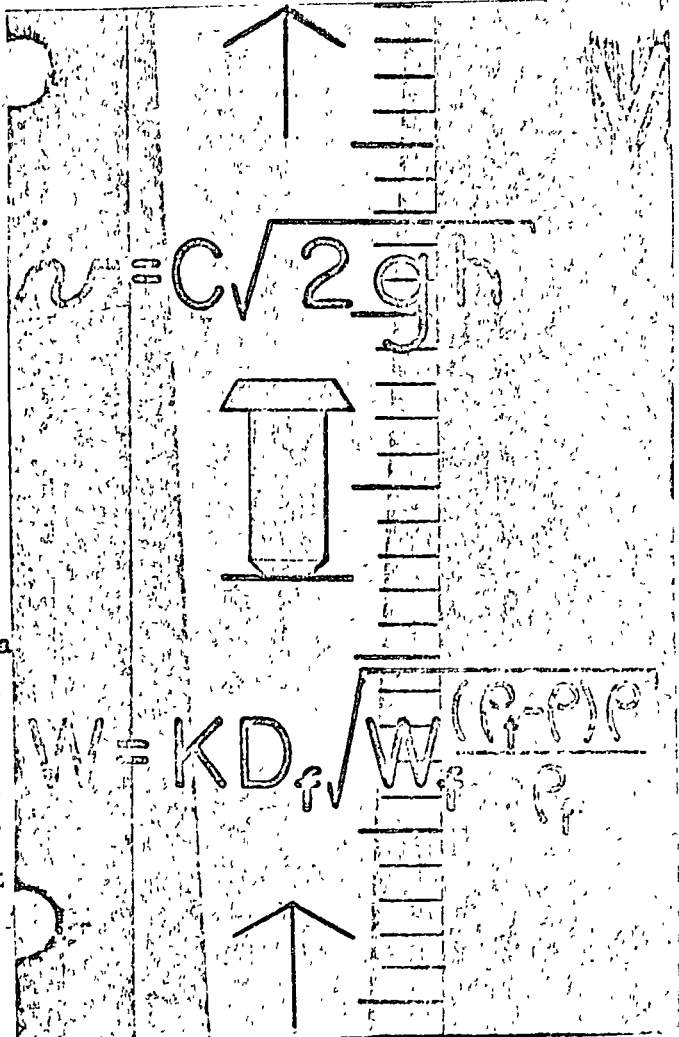
- 1.) Un tubo cónico de vidrio, colocado verticalmente en la línea de medición con su extremo de mayor diámetro interior, hacia arriba..
- 2.) Un flotador el cual se encuentra libre para desplazarse dentro del tubo cónico.

El flujo se establece dentro del rotámetro desde la parte inferior hacia la superior.

Cuando no existe flujo, el flotador descansa en la parte inferior, bloqueando casi totalmente la entrada del fluido. Al establecerse el flujo, el flotador se eleva momentáneamente debido al efecto de flotación, pero debido a la mayor densidad del flotador éste tiende a descender, ocasionando con ello una reducción de el área anular a través de la cual el fluido pasa; esto a su vez trae como consecuencia que la caída de presión dentro del rotámetro aumenta.

Esta situación de flotación y aumento en la caída de presión continua hasta que se logra una condición en la que la diferencia de presión "positiva" a través del flotador, más el efecto de flotación son suficientes para vencer la presión "negativa" ocasionada por el peso del flotador dentro de la vena líquida.

Con el movimiento del flotador hacia el extremo de mayor diámetro interior, el área anular localizada entre la pared interior del tubo y la periferia del flotador se ve incrementada, presentándose con esto una reducción en la presión diferencial a través del flotador, nuevamente el flotador alcanzará su equilibrio dinámico cuando se presente el balance de presión.



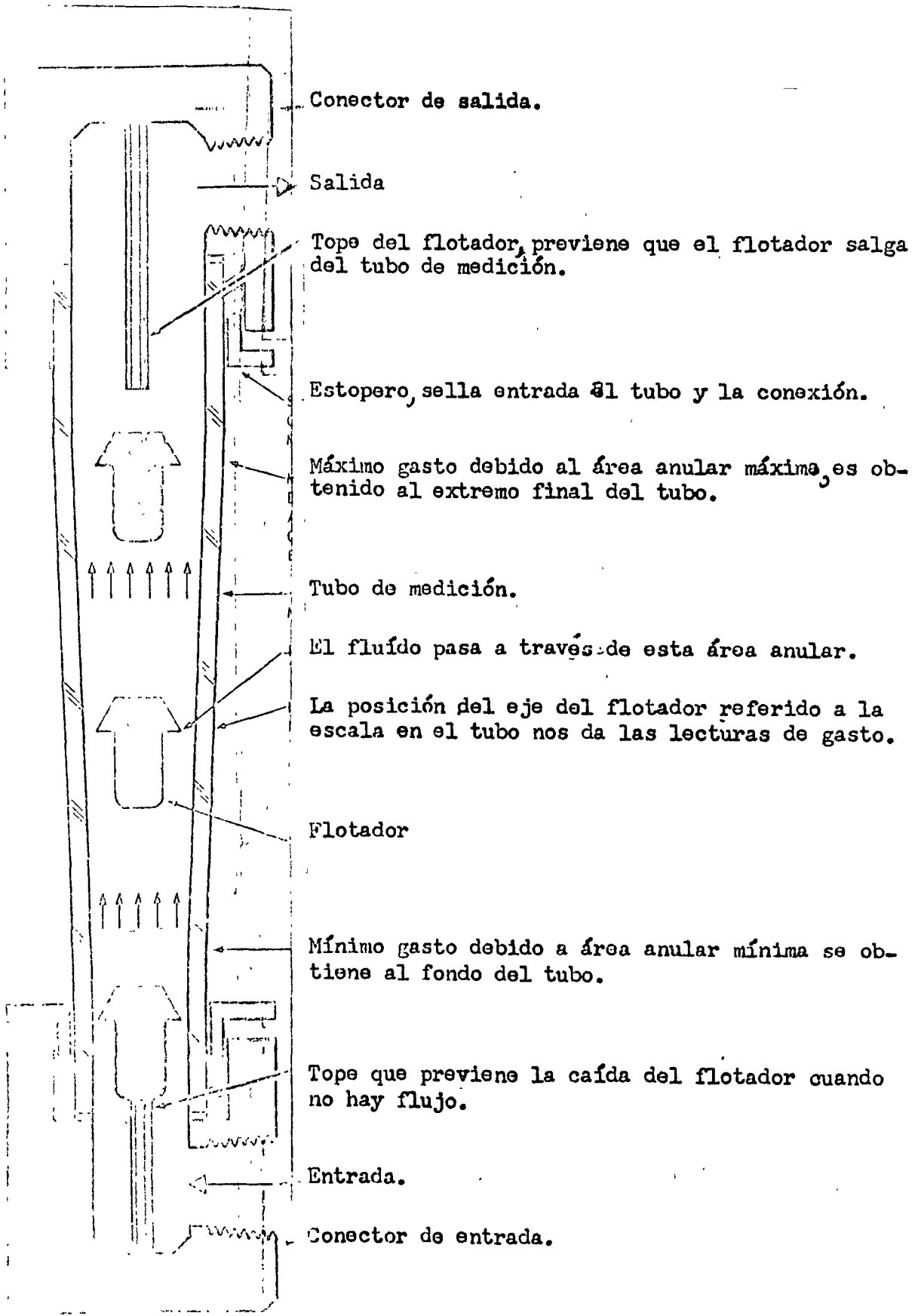


FIGURA 1-1

Cualquier otro incremento en el flujo hará que el flotador se eleve y una disminución causará una caída en la posición. Con lo anterior se desea establecer que a cada posición del flotador corresponde un flujo y no otro. A efecto de que pueda tenerse una lectura directa de la cantidad de fluido que está pasando, se hace necesaria proveer el tubo con una escala calibrada.

El paso de área variable para el fluido, puede ser obtenido de manera diferente a la derivada del uso de un tubo cónico, como puede ser por ejemplo: un tubo cilíndrico con una guía cónica interior, o con una ranura de descarga lateral, también puede ser un tapón cónico moviéndose a través de un orificio. Muchas otras formas habrá de obtener lo anterior pero lo que mayor aceptación a tenido es el tubo cónico.

Algunas aplicaciones no pueden ser cubiertas por el tubo de vidrio, siendo en esas ocasiones necesario el uso de tubos metálicos en los que para poder conocer la posición del flotador se recurre a medios magnéticos o eléctricos.

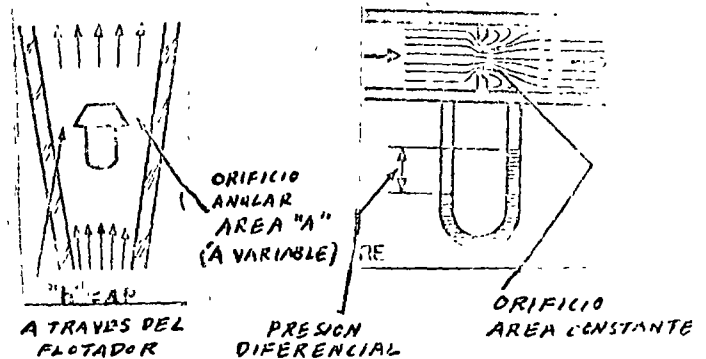
El uso de los sensores magnéticos para detectar la posición del flotador hace posible tener aparte de la indicación, algunas otras funciones tales como registro, integración, transmisión y control.

Comparación entre el rotámetro y la placa de orificio.

El rotámetro y la placa de orificio, tienen muchas cosas en común; ambos sirven para medir la cantidad de flujo en la línea, ambos presentan una restricción la que ocasiona un aumento en la velocidad.

La forma del orificio difiere. La placa de orificio tiene el orificio circular; el rotámetro anular.

En ambos medidores el flujo puede ser determinado empleando la expresión matemática.



$$Q = CA\sqrt{2gh}$$

Donde:

- Q.= Gasto
- C.= Coeficiente de descarga del orificio

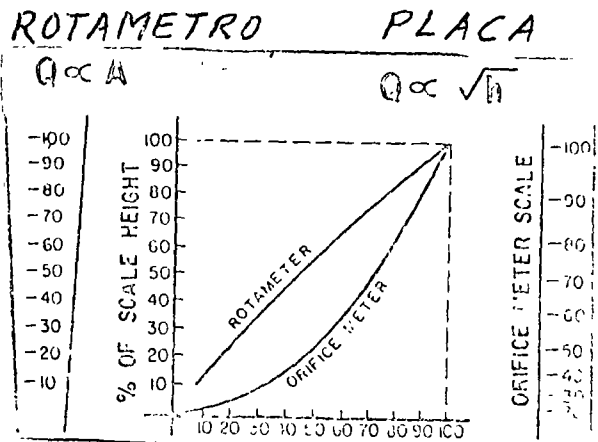


FIGURA 1-2

A.= Area del orificio  
g.= Aceleración gravitacional  
H.= Ap a través del orificio.

La mayor diferencia se presenta al determinar en función de cual de las variables anteriores es medido el gasto.

En la placa de orificio el área del mismo es constante y la caída de presión es medida como una función del flujo; por lo tanto "Q" es proporcional a la raíz cuadrada de "H".

En el rotámetro la caída de presión es constante, no es así el área; por lo que en este caso "Q" es proporcional a "A".

De lo anterior se ve que la curva de flujo en la placa de orificio será cuadrática y lineal en el rotámetro como se muestra en la figura 1-2.

COMPARACION DE LAS CARACTERISTICAS DE OPERACION.

CARACTERISTICA	ROTAMETRO	PLACA DE ORIFICIO.
Formato de la Escala	Lineal	"Raíz Cuadrada"
Rango Utilizable	10:1	4:1
Flexibilidad	Tubo y/o flotador pueden ser cambiados.	La diferencial y/o el diámetro del orificio pueden ser cambiados.
Caída de Presión.	Relativamente constante. Se mantiene el rango de 10:1 - con caídas extremadamente - pequeñas.	Varía como el cuadrado del gasto.
Capacidad.	Especialmente apto para tuberías hasta 3"φ. Maneja - gastos de 0.10 cc/min. hasta 300 GPM de agua. Disponible hasta 12" para 4000GPM.	Usualmente requiere calibración especial en tuberías menores de 2"φ. Especialmente aptas en líneas mayores de 3"φ.
Efecto de Impurezas.	Tiende a autolimpiarse debido a las líneas de flujo a través del flotador y a la libertad de movimiento del flotador.	La presión estática obstruye fácilmente las - tomas.
Efecto de Instalación.	Despreciable en la mayoría de los rotámetros.	Requiere un tramo recto a la entrada. De lo contrario la precisión es imprevisible.
Precisión.	La precisión está en la lectura directamente.	Generalmente es la precisión del sensor de presión diferencial también depende del cálculo del orificio, precisión en maquinado y/o instalación.

Derivación de la ecuación básica de flujo en Rotámetros:

Estando el flotador en equilibrio dinámico la suma de fuerzas que sobre el actúan deberá ser igual a cero. Hagamos que las fuerzas que actúan hacia arriba sean positivas, y negativas las contrarias.

Presión del fluido sobre el flotador  $+ P_1 \left( \frac{\pi d_f^2}{4} \right) - P_2 \left( \frac{\pi d_f^2}{4} \right)$

Peso del flotador  $- V_f \rho_f$

Fuerza de flotación  $+ V_f \rho$

Considerando los términos anteriores la ecuación de equilibrio es:

NOMENCLATURA:

- Df. = Diámetro del flotador
- Dt. = Diámetro del tubo
- Wf. = Peso del flotador
- P1. = Presión antes del flotador
- P2. = Presión después del flotador
- Vf. = Volumen del flotador
- $\rho_f$  = Densidad del flotador en peso
- $\rho$  = Densidad del fluido en peso
- V. = Velocidad en el orificio
- Q. = Gasto en volumen
- W. = Gasto en peso
- h. = Carga hidráulica en el orificio
- A. = Área del orificio
- C. = Coeficiente de descarga
- K. = Coeficiente del rotámetro
- g. = Aceleración gravitacional.

$$P_1 \left( \frac{\pi d_f^2}{4} \right) - P_2 \left( \frac{\pi d_f^2}{4} \right) - V_f \rho_f + V_f \rho = 0$$

agrupando términos

$$\frac{\pi d_f^2}{4} (P_1 - P_2) - V_f (\rho_f - \rho) = 0$$

De la ecuación de Torricelli para velocidad en un orificio

$$V = C \sqrt{2gh}$$

Como  $Q = V A_o$

Entonces  $Q = C A_o \sqrt{2gh}$

Carga en el orificio igual a la diferencia de presión dividida por la densidad del fluido.

$$h = (P_1 - P_2) \frac{1}{\rho}$$

Por lo tanto  $Q = C A_0 \sqrt{2g (P_1 - P_2) \frac{L}{\rho}}$

Sustituyendo el valor de  $(P_1 - P_2)$  por el obtenible de la ecuación de equilibrio.

$$Q = C A_0 \sqrt{2g \left( \frac{4}{\pi D_f^2} \right) V_f (P_f - P) \frac{L}{\rho}}$$

$$Q = C \frac{\pi}{4} (D_t^2 - D_f^2) \sqrt{2g \left( \frac{4}{\pi D_f^2} \right) V_f (P_f - P) \frac{L}{\rho}}$$

Agrupando términos:

$$Q = C \sqrt{\frac{\pi g}{2}} \left( \frac{D_t^2 - D_f^2}{D_f} \right) \sqrt{V_f (P_f - P) \frac{L}{\rho}}$$

$$\bar{Q} = \frac{W}{\rho} = C \sqrt{\frac{\pi g}{2}} \left( \frac{D_t^2 - D_f^2}{D_f} \right) \sqrt{\frac{W_f}{\rho_f} (P_f - P) \frac{L}{\rho}}$$

$$W = C \sqrt{\frac{\pi g}{2}} \left( \frac{D_t^2}{D_f^2} - 1 \right) \sqrt{W_f \frac{(P_f - P) \rho}{\rho_f}}$$

Multiplicando el segundo miembro de la ecuación por  $\frac{D_t}{D_f}$

$$W = C \sqrt{\frac{\pi g}{2}} \left( \frac{D_t^2}{D_f^2} - 1 \right) D_f \left( \sqrt{W_f \frac{(P_f - P) \rho}{\rho_f}} \right)$$

Puesto que:

$C$  es función del número de Reynolds

$\sqrt{\frac{\pi g}{2}}$  es una constante

y  $\left( \frac{D_t^2}{D_f^2} - 1 \right)$  es función de la posición del flotador y del diseño del tubo.

Entonces podemos agrupar las constantes anteriores en un coeficiente para rotámetros que denominaremos "K"

De donde:

$$W = K D_f \sqrt{\frac{W_f (P_f - P) \rho}{\rho_f}}$$

que es la ecuación básica para flujo en rotámetros.

Analícemos ahora la constante "K". Si la forma de un flotador, en particular es mantenida dentro de una similitud Geométrica en tubos diferentes tamaños, el coeficiente de descarga "C" será el mismo asumiendo - igual número de Reynolds para cada relación de diámetros Dt/Df. La relación de diámetros es indicadora de la posición del flotador y del área - anular en esa posición para un tubo dado.

Puesto que el coeficiente del rotámetro "K" es una función de las variables C y Dt/Df, entonces "K" será igual para cualquier tamaño de tubo - siempre y cuando como se anotó anteriormente se mantengan la similitud - Geométrica y el número de Reynolds.

En lugar del convencional número de Reynolds "R", usaremos un número "N" al que designaremos como "Número de influencia a la viscosidad" y que de - fineremos como

$$N = \frac{\mu}{\sqrt{W_f \frac{(\rho_f - \rho)\rho}{\rho_f}}}$$

Donde:

- $\mu$  = Viscosidad absoluta en GPS.
- $W_f$  = Peso del flotador en Grs.
- $\rho_f$  = Densidad del flotador en Grs/c.c.
- $\rho$  = Densidad del fluido en Grs/c.c.

#### CURVAS DE PREDICCIÓN:

Así como el coeficiente de descarga en orificios es determinado empíricamente, así también se hace necesario realizar mediciones reales con rotámetros a fin de determinar el coeficiente "K".

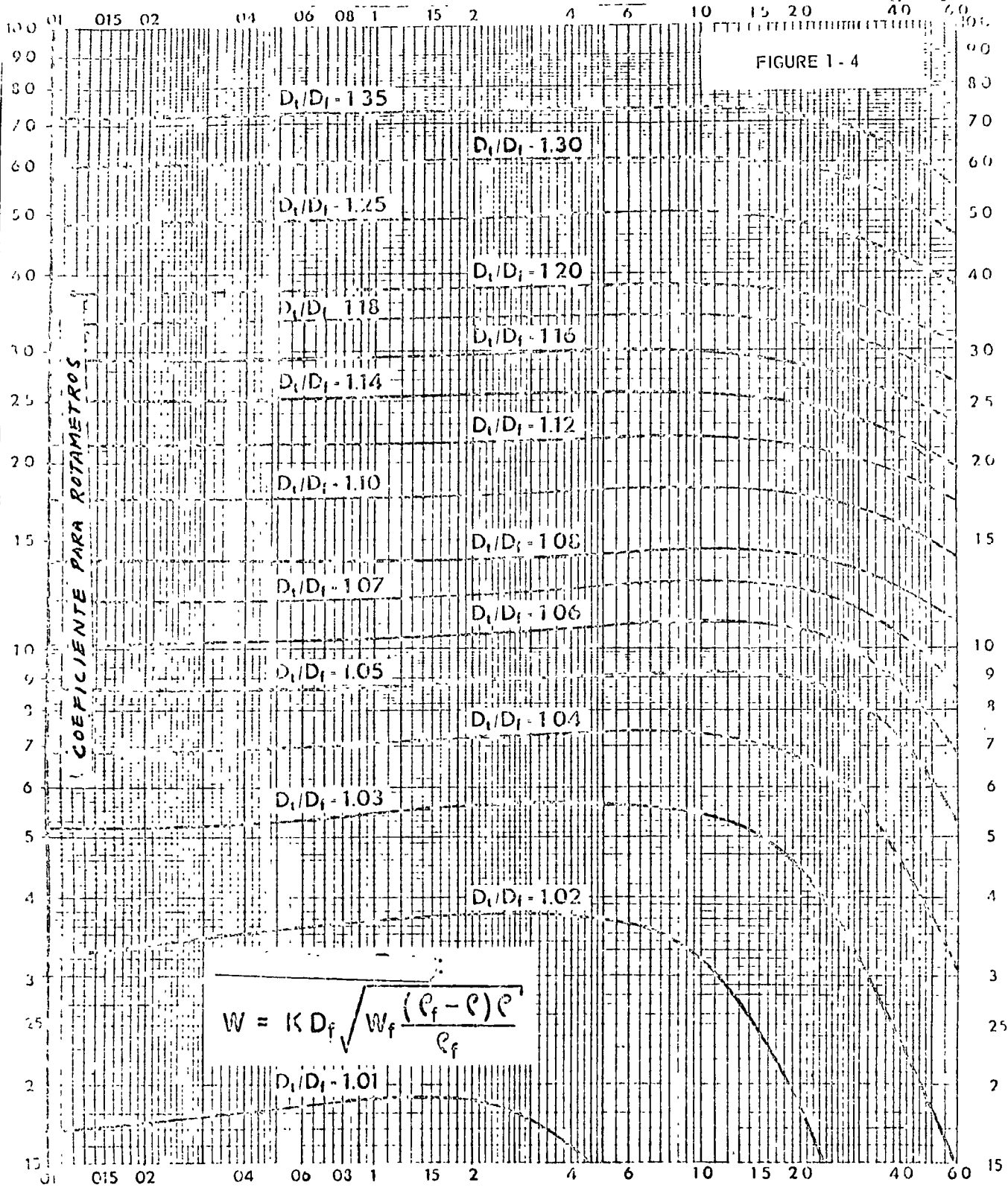
Como resultado de tales mediciones, podemos graficar los valores de "K" a partir de la siguiente ecuación

Ecuación básica  $W = K D_f \sqrt{W_f \frac{(\rho_f - \rho)\rho}{\rho_f}}$

$$K = \frac{W}{D_f \sqrt{W_f \frac{(\rho_f - \rho)\rho}{\rho_f}}}$$

pero, de la ecuación de "N"

$$\sqrt{W_f \frac{(\rho_f - \rho)\rho}{\rho_f}} = \frac{\mu}{N}$$



NUMERO DE INFLUENCIA A LA VISCOSIDAD

$$N = \frac{u}{\sqrt{W_f \frac{(p_f - p) p}{p_f}}}$$

de donde sustituyendo este valor

$$K = \frac{W}{D_f \mu} N$$

A fin de mantener la similitud geométrica hemos de emplear como parámetro en la determinación de las curvas, la relación de diámetros  $D_t/D_f$  a las curvas así obtenidas, las llamaremos curvas de predicción, las que pueden ser usadas, para predecir con precisión el gasto de un fluido, - sin importar su densidad ni viscosidad.

Un ejemplo típico de las curvas mencionadas se muestra en la siguiente página.

Para hacer uso de tales gráficas se requiere calcular el valor de "N" y conocer el valor de la relación de diámetros  $D_t/D_f$  para una posición del flotador determinada.

A fin de normar un criterio, apuntaremos que la forma de las curvas de predicción, son similares a las mostradas no importando la forma del flotador, el cual sólo hará que las mencionadas curvas se vean desplazadas en los ejes "X" ó "Y" o en ambos.

Flujos turbulentos dan por resultado, valores de "K" proporcionales a "N" para una relación de diámetros dada. Flujos laminares darán valores de "K" según la función.

$$K = f \left( \frac{1}{N} \right)$$

Variando las formas de los flotadores es posible diseñar un tipo que presente cierta inmunidad a los cambios por viscosidad lo cual en las curvas se refleja como valores <sup>consecuentes</sup> aproximadamente para "K" hasta un valor de "N" aproximadamente igual a 2; con lo que podemos concluir, que para este tipo de flotadores no es necesario diferenciar los valores de "K" para bajas viscosidades. El valor de "N" abajo del cual los efectos de la viscosidad son despreciables se le conoce en la práctica como " Límite de inmunidad a la viscosidad" ( Viscosity Immunity Ceiling V.I.C. )

La insensibilidad del rotámetro a los cambios de viscosidad cuando opera abajo del V.I.C., hace posible el que se puedan elaborar tablas de capacidades expresadas en unidades de gasto, para agua o aire, ya que tales tablas son factibles de utilizar para fluidos diferentes al agua ó aire, con el simple hecho de emplear fórmulas de corrección por densidad, obtenibles a partir de la ecuación básica para flujo en rotámetros. Nuevamente recalcaremos que los cambios en el número de influencia a la viscosidad ( ó número de Reynolds) causados por variaciones en la viscosidad absoluta y/o en la densidad, pueden ser ignorados para todas las condiciones abajo del V.I.C.

Las curvas aquí mencionadas son también útiles para determinar el gasto en flujos con valores de "N" arriba del V.I.C., pero habrá que tener en cuenta que a esas altas viscosidades, cualquier cambio en la misma o en la densidad, afectará al valor de "K" y por consiguiente a la lectura del valor del gasto.

Puesto que las tablas de capacidades, y cartas para el dimensionado, así como otra información adicional, está al alcance del usuario en catálogos emitidos por los fabricantes, el cálculo a partir de las curvas de predicción, está limitado a aquellas personas, que actúan en el campo de los rotámetros, o a quienes trabajan en proyectos de investigación.

#### CALCULO DE ROTAMETROS:

Fórmulas de trabajo para emplear las tablas de capacidades emitidas por los fabricantes son derivadas de la ecuación básica.

Asumiendo que las propiedades físicas del flotador y los valores de "K" permanecen constantes, entonces la única variable es la densidad del fluido, lo cual es cierto en gases y líquidos de baja viscosidad cuando se usan flotadores con diámetros de 1/2"φ o mayores.

Las fórmulas para corrección por densidad son:

En unidades de masa

$$W_2 = W_1 \sqrt{\frac{(\rho_{f2} - \rho_2) \rho_2}{(\rho_{f1} - \rho_1) \rho_1}}$$

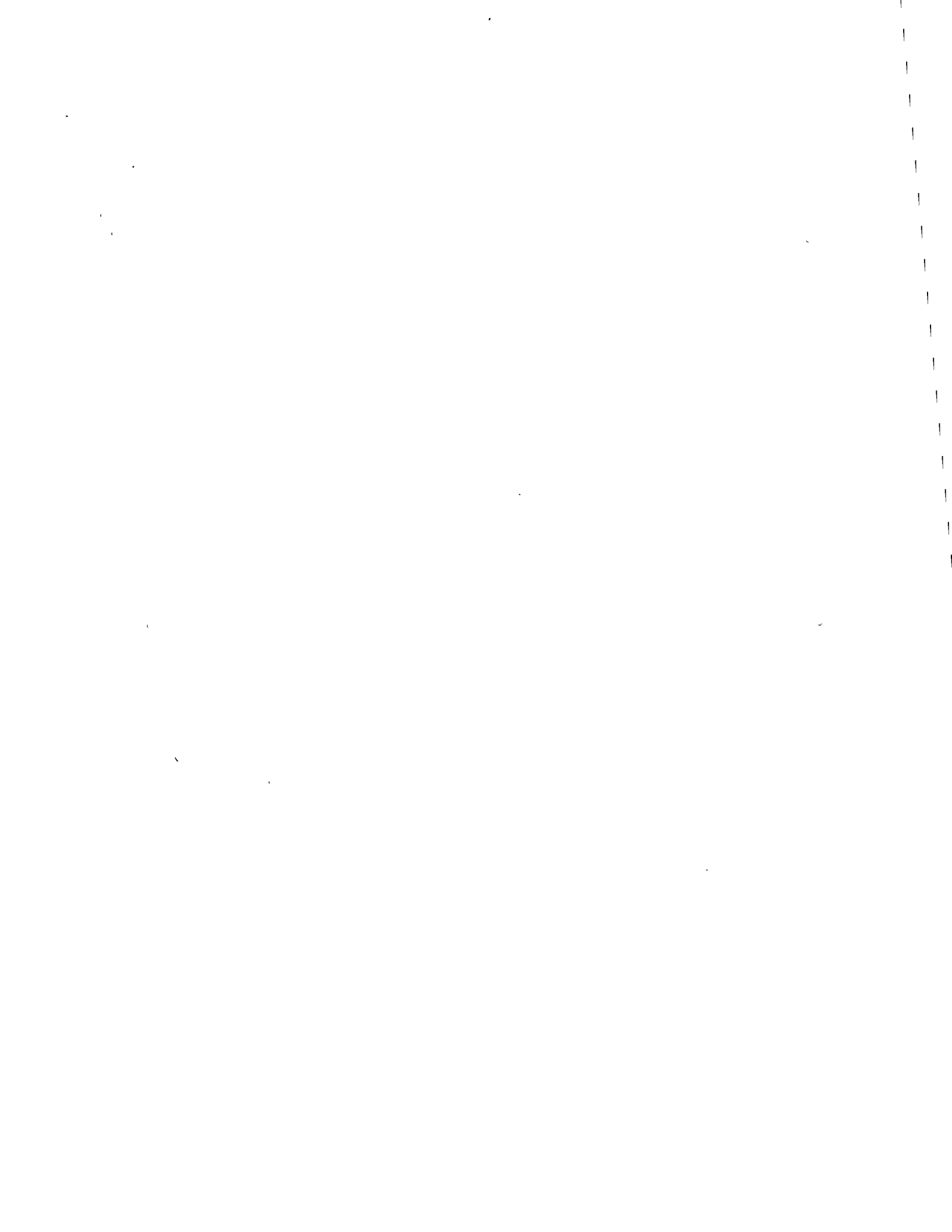
En unidades de volumen

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{(\rho_{f2} - \rho_2) \rho_2}{(\rho_{f1} - \rho_1) \rho_1}}$$

donde

$Q_1$  ó  $W_1$  = Gasto del fluido a manejar

$Q_2$  ó  $W_2$  = Gasto equivalente en agua o aire.



## EL TUBO DE FLUJO O TOBERA DE INSERCIÓN.

La tobera de flujo es un tubo Dall modificado, siendo un dispositivo primario para medición de flujo de líquidos o gases en tubería, capaz de producir altas presiones diferenciales con muy bajas pérdidas de energía a diferencia de algunos de sus similares, - aún bajo la misma relación de diámetros  $d/D$ .

Antes de proseguir adelante es conveniente presentar aún cuando a grandes rasgos, las ecuaciones fundamentales de flujo en un dispositivo de obstrucción para provocar una presión diferencial.

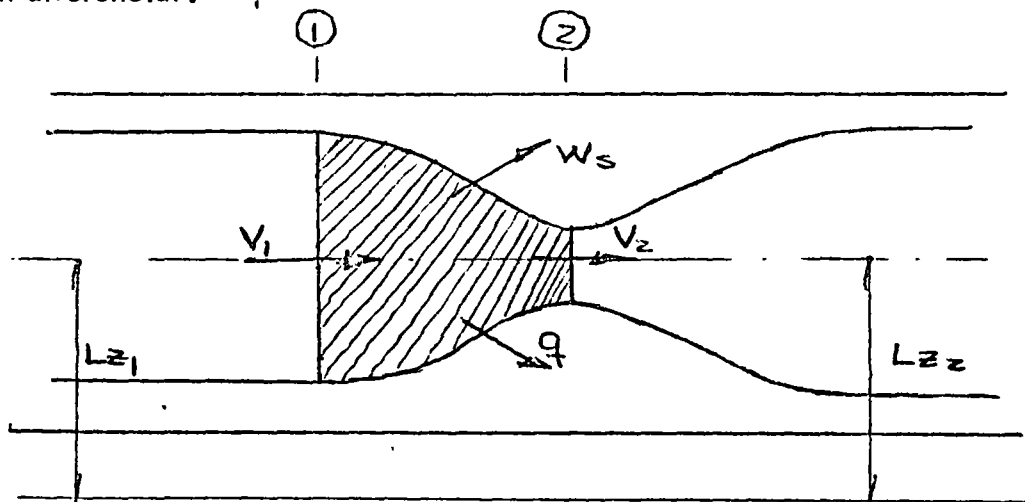


Fig. 1.

De la figura anterior nosotros podemos obtener la ecuación de balance de energía - - (Eq. Bernaulli).

$$1) \quad \frac{V_1^2}{2g} + Lz_1 + \frac{P_1}{\gamma_1} + U_1 = \frac{V_2^2}{2g} + Lz_2 + \frac{P_2}{\gamma_2} + U_2 + q + W_s.$$

Donde:

Energía Cinética. =  $\frac{V^2}{2g}$

Energía Interna = U

Energía Potencial Debido a la Gravedad. =  $Lz$ .

Calor Desarrollado = Q

Energía Potencial Debido a la Presión. =  $\frac{P}{\gamma}$

Trabajo = W.

- 2) Ya que, por definición el peso específico ( $\gamma$ ) de un fluido incompresible <sup>es constante.</sup>, podemos escribir teóricamente:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$(2) \quad V_1 = \frac{A_2}{A_1} V_2$$

Así, si nosotros asumimos que:

- El tubo es horizontal.
- La energía interna es la misma en las secciones 1 y 2.
- El flujo es adiabático.
- No hay dispositivos sobre los que se pueda realizar trabajo.

La ecuación (1) de balance de energía podrá quedar.

$$3) \quad \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

Substituyendo (2) en (3) y acomodando términos.

$$4) \quad \frac{1}{2g} V_2^2 \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] = \frac{1}{\gamma} (P_1 - P_2)$$

ó

$$4a) \quad \gamma V_2^2 = \frac{1}{1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2} [2g(P_1 - P_2)]$$

Esta ecuación, que resulta de la combinación de las consideraciones de balance de masa y energía, es la ecuación básica de los medidores primarios de flujo tipo restricción y que provocan una presión diferencial que puede ser detectada para la medición. En otras palabras, esta ecuación (4a) significa que el término  $\gamma V^2$  (llamado presión dinámica) es proporcional a la presión diferencial.

Ya que este tipo de dispositivos es comunmente empleado para medir, ya sea en unidades de volumen o de peso, obteniendo la raíz cuadrada en ambos lados de la igualdad tendremos:

$$5) \quad \gamma V_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \sqrt{2g(P_1 - P_2)}$$

Las expresiones para gasto en volumen o peso son:

$$\begin{aligned} Q \text{ Teórico} &= A_2 V_2 \\ W \text{ Teórico} &= \gamma A_2 V_2 \end{aligned}$$

Substituyendo en la ecuación (5).

$$6) \quad Q \text{ Teor.} = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{\frac{z g (P_1 - P_2)}{\gamma}}$$

$$6a) \quad W \text{ Teor.} = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{z g \gamma (P_1 - P_2)}$$

El término  $\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$  es llamado factor de velocidad de -

aproximación.

Las ecuaciones teóricas están basadas en un área corriente abajo ( $A_2$ ). Sin embargo, en la mayoría de los casos el valor actual (y real) de esa área no es conocido, por lo tanto se usa como tal el área de la restricción empleada. -- Consiguientemente el coeficiente de flujo es corregido por esta (y otras) desviaciones del modelo teórico.

Los efectos de algunas desviaciones entre condiciones teóricas y actuales son resumidos en un simple "coeficiente de descarga".

Por lo tanto podrá decirse:

$$Q \text{ actual} = C Q \text{ Teor.}$$

$$7) \quad \delta \quad Q_{\text{actual}} = \frac{C A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{\frac{z g (P_1 - P_2)}{\gamma}}$$

donde C es el coeficiente de descarga. El factor de velocidad de aproximación es algunas veces combinado con C, obteniéndose un nuevo coeficiente de descarga K, llamado coeficiente de descarga incluyendo factor de velocidad de aproximación.

$$8) \quad \text{Asi.} \quad Q \text{ actual} = K A_2 \sqrt{\frac{z g (P_1 - P_2)}{\gamma}}$$

El valor numérico de estos coeficientes de descarga puede ser obtenido de 2 maneras. La primera es hecha mediante un medidor calibrado bajo condiciones tan cercanas ó las de medición real cuando sea posible. El coeficiente es - - calculado como la razón de la cantidad de flujo medido a la cantidad de flujo - teórico.

El otro método mas conveniente usado es por predicción, a través de datos experimentales previamente conocidos.

Los medidores primarios del tipo constricción, tales como el orificio, venturi, - toberas, etc. tienen ventajas en este caso sobre otros tipos de medidores porque:

- a) Es relativamente fácil reproducir con precisión estos dispositivos.
- b) Sus diseños han sido estandarizados.
- c) Muchos datos de pruebas han sido acumulados para ampliar la información y perfeccionar su diseño, lo cual hace fácil relativamente calcular coeficientes y predecir resultados con un aceptable grado de precisión.

Valores tabulados de coeficientes podrán ser encontrados en el libro " Fluid Meters - Their Theory and Application " publicado por el Comité de Medidores - de Flujo de la A S M E .

Por conveniencia en los trabajos de cálculo de los diferentes tipos de dispositivos y para poder incluir los términos adicionales requeridos en mediciones prácticas, las ecuaciones básicas han tenido necesidad de ser modificadas.

Por ejemplo: En un cálculo común para determinar el diámetro exacto de un orificio, conociendo el gasto, tamaño de la línea y la presión diferencial deseada, uno de los primeros problemas contenidos en el cálculo, son las unidades a emplear.

La ecuación ( 8 ) es correcta para cualquier juego consistente de unidades. Por ejemplo: Si el flujo volumétrico Q está en pies<sup>3</sup>/seg, el Area A<sub>2</sub> en pies<sup>2</sup>, la presión diferencial en lb/pie<sup>2</sup> y el peso específico en lb/pie<sup>3</sup> . Sin embargo la práctica común es expresar los términos en unidades mezcladas tales como GPM, area en pulg. , presión diferencial en pulg. de H<sub>2</sub>O a 60 o 68° F y - con densidad relativa en lugar de peso específico.

Complicaciones adicionales en la práctica son:

- 1.- El coeficiente no puede ser determinado de las tabulaciones citadas antes, ya que el tamaño del orificio no es conocido.
- 2.- El tamaño del orificio es medido a condiciones diferentes de temperatura - de la existente en el proceso.
- 3.- Las presiones diferenciales son frecuentemente medidas con dispositivos manométricos, que son calibrados con baja presión de aire en el lado de alta presión. En la práctica las conexiones diferenciales son llenadas por el -

fluido del proceso o por algún sello. La diferencia de densidades entre estos fluidos y el empleado en la calibración, deberán considerarse también para corrección.

- 4.- Los valores tabulados de densidad relativa están generalmente basados en la presión atmosférica. Cambios de densidad con diferentes presiones - estáticas, deberán también ser consideradas.

Por lo tanto, la ecuación 8 podrá ser expresada como:

$$9) \quad Q_n = C_n \sqrt{H_w}$$

Donde:  $Q_n$  = Gasto ó flujo de operación a la presión diferencial en cualquier unidad de medición.  
 $C_n$  = Constante de flujo en las mismas unidades de  $Q_n$ .  
 $h_w$  = Diferencial de operación en pulg. de  $H_2O$ .

En la ecuación (9).

$$C_n = S D^2 N F_a F_m \frac{\sqrt{G_f}}{G_l} F_c F_p$$

Donde:

$S$  = Una " constante de operación " por medio de la cual puede ser obtenido por referencia a una tabla o curva del dispositivo de medición que se trate.

$D$  = Diámetro interior de la tubería en cuestión en pulg.

$N$  = Una constante que toma en cuenta las unidades de flujo que se manejen.

$F_a$  = Factor de área del dispositivo en función de la temperatura de operación y una de referencia a  $68^\circ F$ .

$F_m$  = Factor manométrico para líquidos sobre mercurio.

$G_f$  = Densidad relativa del líquido a temperatura de operación.

$G_l$  = Densidad relativa del líquido a temperatura base de  $68^\circ F$ .

$F_e$  = Corrección por viscosidad o número de Reynolds.

$F_p$  = Corrección por compresibilidad del líquido.

El factor  $S$  resuelve el problema causado por la primera de las complicaciones adicionales.

Refiriéndonos nuevamente a la ecuación ( 8 ), el coeficiente K es multiplicado por el área del orificio, misma que es proporcional al diámetro del orificio al cuadrado, este término se define como:

$$S D^2 = K d^2$$

$$\text{o } S = K d^2 / D^2$$

$$\frac{d^2}{D^2} = \beta^2$$

por lo tanto,

$$S = K \beta^2$$

Los valores de S pueden ser tabulados, lo cual permite el uso de tablas o curvas para encontrar esencialmente el coeficiente de flujo sin conocer antes el diámetro.

Ahora bien, volviendo al punto de partida después de presentar las bases fundamentales del cálculo de restricciones tipo orificio y similares, prosigamos - con el Tubo de Flujo o Tobera de Inserción.

En adición a la facilidad de estos elementos para producir muy altas presiones diferenciales con bajas pérdidas de energía, este dispositivo es considerablemente más corto que un Venturi del mismo diámetro.

La hidrodinámica de estos medidores primarios es mucho mas compleja que la - de sus similares, en algunos casos pueden predecirse coeficientes con exactitud de  $\pm 1\%$  de las dimensiones físicas, para obtener una máxima exactitud no se efectúa como en otros casos, un cálculo dimensional particular en cada problema, sino que existe ya una tabulación específica con relaciones d/D perfectamente determinadas así como las diferenciales y gastos que admite cada una de ellas, teniendo posibilidad de ajustes exactos en las diferenciales de acuerdo con el gasto real que está pasando por la tubería.

Anexo encontrarán un boletín que contiene estos datos y que permite seleccionar directamente un dispositivo de este tipo, así como el rango del elemento - que se usará en la detección de la diferencial.

La aplicación de estos medidores primarios se enfocó originalmente a medición de gasto de líquidos, sin embargo actualmente se usa también en gases, sobre todo en lugares donde la pérdida de presión es importante.

La configuración que se desarrolla en estos medidores es muy crítica y están sujetos a error por depósito de sólidos o lodos en las tomas de presión, o en la entrada al mismo. Cuando se empleen estos dispositivos, deberá tenerse especial cuidado en eliminar cualquier fuga en las tomas que pueda existir, porque las diferenciales medidas, son altamente sensitivas al flujo en las tomas, especialmente cuando se opera a bajas presiones diferenciales.

No obstante lo anterior y si se toman las precauciones necesarias para eliminar dichos problemas, este medidor compete ( en tamaños grandes ) ventajosamente con sistemas similares en funcionabilidad, precisión y precio.

Ahora bien, trataremos de ampliar un poco la principal ventaja de estos medidores, que es la baja pérdida que en ellos se presenta.

Todos los dispositivos primarios tienen recuperación de presión, si la toma corriente abajo ( baja presión ) está localizada en un punto de mínima presión. Tomas colocadas  $2\frac{1}{2}$  diámetros corriente arriba y 8 diámetros corriente abajo, miden las pérdidas totales en el dispositivo primario.

La recuperación de presión ( inversa a las pérdidas ) está gobernada por la geometría de la sección de salida del medidor primario y puede incrementarse mediante el uso de un cono a la salida. Mayores detalles de el efecto del ángulo del cono de descarga sobre la recuperación de presión, podrán encontrarse en el libro " Hydraulics and his Application ", tercera edición de A.H. Gibson.

La comparación de recuperación de presión aparece en curvas en la información anexa y es hecha en base a diferentes dispositivos primarios, dimensionados para dar la misma presión diferencial a las mismas condiciones de flujo, las curvas presentan tanto recuperación de presión como pérdidas y de ahí es posible efectuar algunas comparaciones sobre todo de costo, siendo mas importante la columna de pérdidas que la de recuperación, esto es, una recuperación de presión de 90%, la cual aparece con muy pequeña diferencia sobre una recuperación de 95%. Sin embargo la primera corresponde a una pérdida de 10%, en tanto que la segunda a 5%, lo cual da una relación 2/1 que ya es muy significativa.



## EL CANAL PARSHALL

=====

### INTRODUCCION:

El canal Parshall para medición de flujo de líquidos en canal abierto, desarrollado en la Estación Experimental de -- Agricultura de Colorado (U.S.A.), en colaboración con la División de Irrigación del Depto. de Agricultura de los EE.UU. es un tipo especial de "Canal Venturi", que posee ciertas características que lo hacen superior a otros dispositivos de aforo o medición de flujo que son usadas en el campo.-

No se pretende decir, desde luego, que este dispositivo ofrezca una exactitud extrema en la medición del gasto de un líquido, aún cuando esta es buena dentro de sus aplicaciones, siendo ellas en Irrigación, medición de aguas negras o desechos, agua potable y algunas aplicaciones Industriales y desde luego, su exactitud en la medición es mejor que otros tipos de dispositivos similares.-

Los términos que a continuación se describen, son empleados en la exposición que más adelante se presenta, (favor de referirse a la fig. 6 ).-

**SECCION DE CONVERGENCIA:** Es la parte aguas arriba de la estructura y cuyas paredes verticales presentan una convergencia en la dirección del flujo y en el eje del mismo (es decir simétricas). El nivel del piso del canal en esta parte es transversal y longitudinal ( respecto a la horizontal ).-

**SECCION DE DIVERGENCIA:** Es la parte aguas abajo de la estructura cuyas paredes verticales presentan una divergencia en la dirección del flujo. El nivel del piso en esta sección del canal es inclinado hacia arriba.-

**GARGANTA:** Es la parte de la estructura en la cual se unen las secciones de convergencia y divergencia. Sus paredes son verticales, paralelas y equidistantes del eje del canal. La inclinación del piso en esta parte es siempre con una variación de 3" verticalmente por 8" de longitud.-

**CRESTA.-** Es la línea de unión del extremo aguas abajo del piso de la sección de convergencia y el extremo aguas arriba del piso de la garganta.-

**TAMAÑO DEL CANAL:** Es la longitud de la cresta, L, en pies y es idéntica a la distancia horizontal (perpendicular) entre las caras interiores de las paredes de la garganta.-

CABEZA O ALTURA SUPERIOR  $H_a$ : Es observada en un punto a  $\frac{2}{3}$  de la longitud de las paredes de la sección de convergencia medida hacia atrás del extremo en la garganta (extremo de la cresta) en canales hasta 10'. En canales de 10' a 50',  $H_a$  es observada a una distancia igual a  $\frac{1}{3}(L+8)$  medido a lo largo de la pared lateral del canal.-

CABEZA O ALTURA INFERIOR  $H_b$ : Es observada en un punto cercano al extremo de salida de la garganta, las coordenadas del punto en un canal de 3" referidas al extremo mencionado serán 1.5" verticalmente y 1" horizontalmente medidas aguas arriba en canales de 6" a 8" serán 3" y 2" respectivamente.

FLUJO Libre a través del Parshall es obtenido cuando la relación  $H_b/H_a$  no ~~excede~~ <sup>excede</sup> de 0.6 para tamaños menores de 1 pie y 0.7 para canales donde la longitud de cresta es de 1 a 8 pies.  $H_b$  es despreciada bajo condiciones de Flujo Libre. En la mayoría de las aplicaciones para la medición de flujo se usan instrumentos con flotador solo midiendo  $H_a$ . es decir -- Flujo Libre.-

FLUJO SUMERGIDO A TRAVES DEL PARSHALL: Es obtenido cuando la razón  $H_b/H_a$  excede de 0.6 en canales menores de 1' y 0.7 en canales de 1' a 8'. La práctica limita los valores de la relación citada a 0.95.

Pérdida de cabeza o elevación es la diferencia en elevación, entre las superficies aguas arriba y aguas abajo.-

El canal Parshall de medición de flujo, tiene muchas ventajas desde el punto de vista de operación en el campo. El grado de sumergencia en tamaños moderados de canal puede aproximarse a 70 % antes de que la condición de descarga en flujo libre se vea afectada.

Para la medición de gasto en condiciones de sumergencia se miden las dos alturas o cabezas obteniéndose buenos resultados para sumergencias hasta 95%. Debido a la facilidad con que estos dispositivos de medición aceptan altos grados de sumergencia, la pérdida de energía a través de la estructura es aproximadamente 1/4 de las pérdidas en un canal con flujo libre de las mismas dimensiones. Los puntos de medición de  $H_a$  y  $H_b$  son fijados o situados permanentemente en la estructura, de esta manera se asegura la uniformidad en la observación de las dos cabezas cuando se trata de medir flujo sumergido, o  $H_a$  solamente en flujo libre.

Para la selección del tamaño del canal apropiado en un problema dado, el efecto de velocidad es prácticamente despreciado, ya que la aceleración de la velocidad del flujo en la sección aguas arriba o sección de convergencia del canal, evita que en su piso depositen lodos o arena que afectarían la medición debida a cambios de <sup>área</sup> arena en la garganta.-

Para estos dispositivos de medición han sido trazadas empíricamente curvas y monogramas de calibración para tamaños - de 3" hasta 50' capaces de medir desde flujos tan pequeños- como  $\times 15$  GPM apróx.\* hasta 1000,000 ~~g~~ GAL/MIN. en medición- de flujo libre con un Ha de 70.0" apróx. a través de un canal de 50' de garganta.-

El canal de medición Parshall, ha encontrado una amplia aplicación en el riego en el campo para grandes canales, así mismo es muy empleado en problemas del campo de la Ingeniería Sanitaria (Agua Potable, Aguas Negras), y en muchos casos adaptable a plantas industriales en la medición de sus desechos.-

En la mayoría de las aplicaciones se tiene normalmente flujo libre y por lo tanto interesa medir solamente la cabeza-Ha.

Con el fin de ampliar un poco más los conceptos fundamentales expresados antes, a continuación presentaremos algunas características, ecuaciones, curvas y monogramas del Canal-Parshall y de algunos de sus similares con el fin de que se pueda apreciar mayormente las ventajas que este representa.

#### VERTEDORES:

El vertedpr es un tipo simple <sup>de aforador</sup> y con buena exactitud para mediciones de flujo en canal abierto y que guarda ciertos criterios de diseño perfectamente definidos. El vertedor es meramente una placa o obstrucción vertical con <sup>un</sup> ~~un~~ corte paradar paso al líquido, instalado a manera de obstrucción y -- perpendicularmente a la dirección del flujo.

El nivel del agua en el canal es medido a un punto aguas arriba donde la velocidad es baja y prácticamente despreciable por ejemplo 0.3 ft/seg. o menos.-

Los vertedores rectangular y de Cipolletti, tienen una relación flujo - nivel en la cual este último está a la potencia  $3/2$  apróx. en tanto que en los vertedores triangulares

es  $5/2$  apróx. Esto significa que el vertedor triangular es inherentemente menos preciso, pero que puede ser usado para una buena cantidad de rangos en flujos pequeños con buenos resultados. Ciertos contornos de vertedor pueden ser empleados a fin de tener una relacion lineal flujo.- nivel, sin embargo éste no es el uso común.-

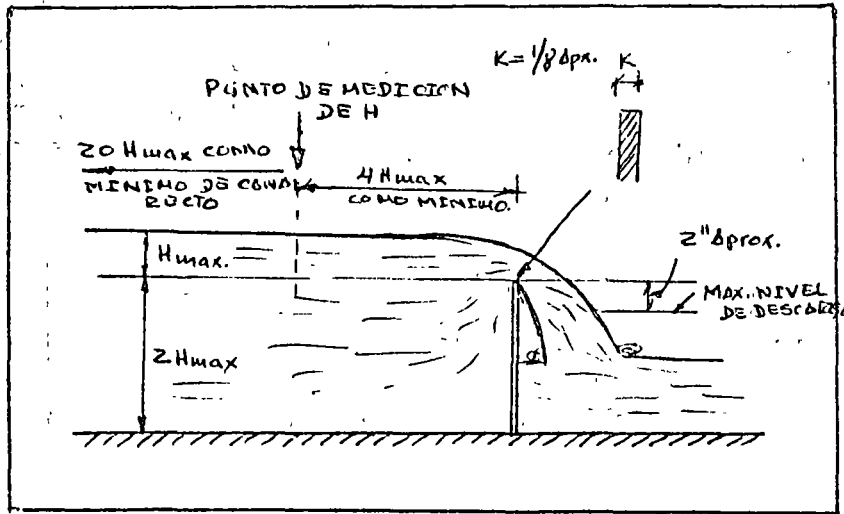


Fig. 1 - ESQUEMA DE UN VERTEDOR.

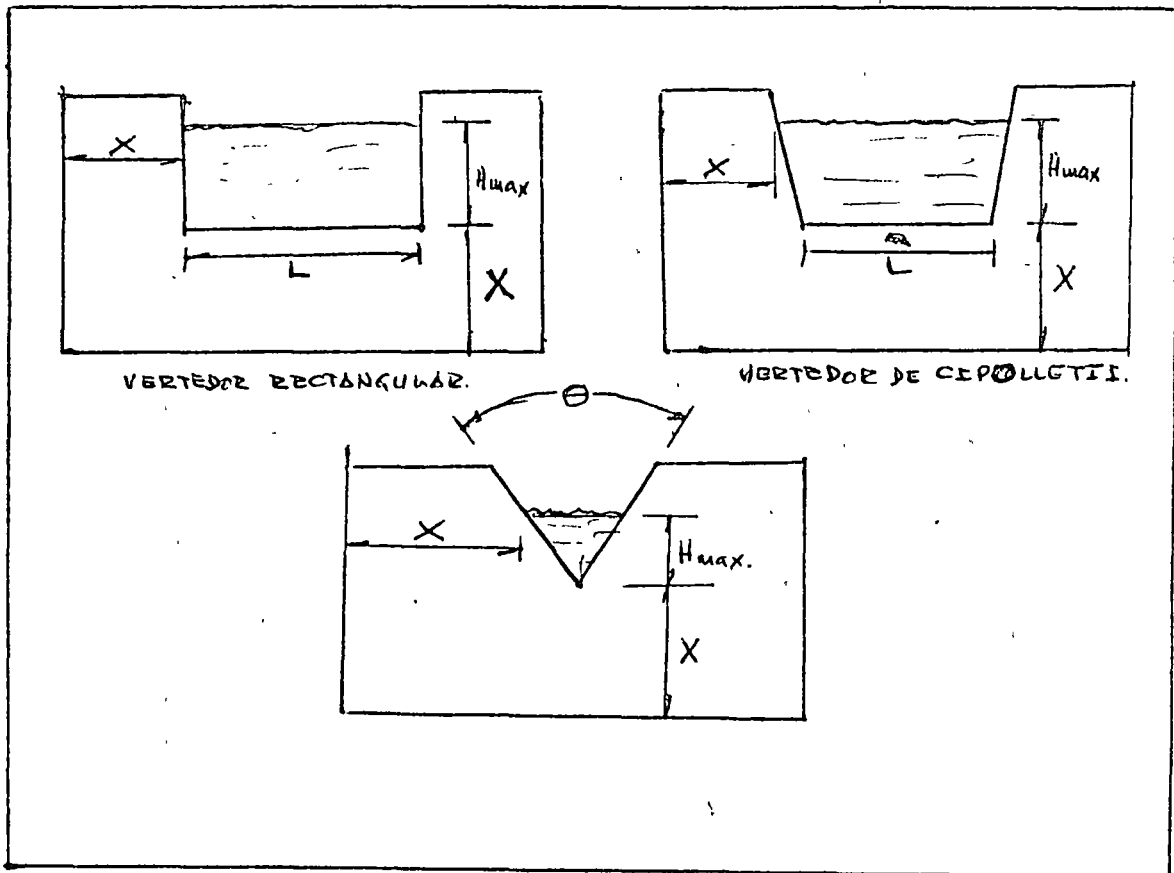


FIG 2. - 3 TIPOS COMUNES DE VERTEDOR.

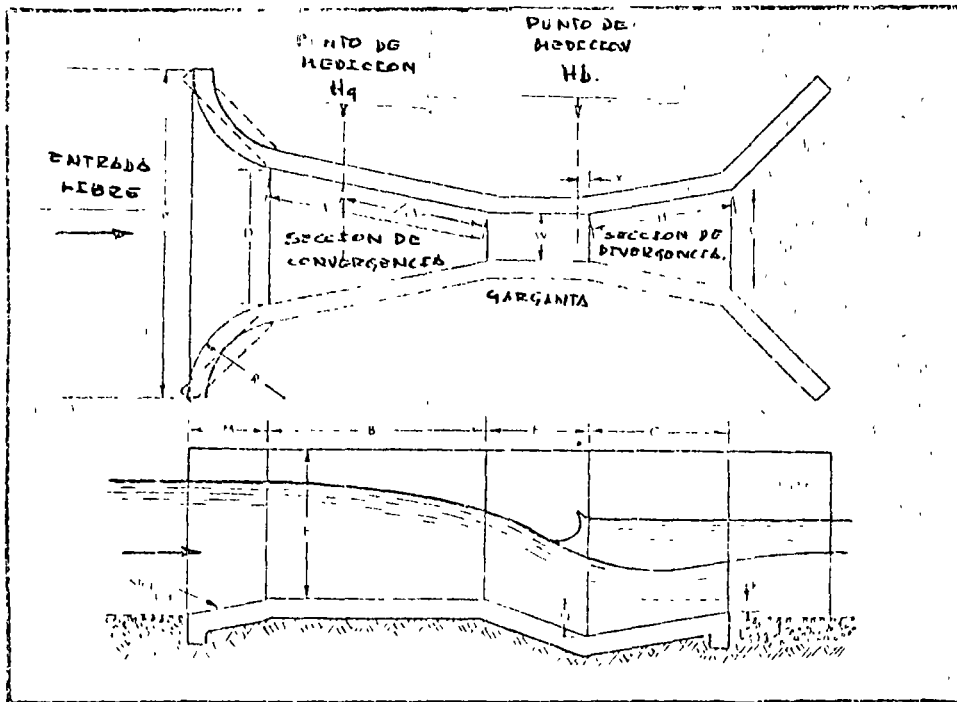
La desventaja del empleo de vertedores en la medición de gastos en canales son:

- a).- Su alta pérdida en carga o energía y.
- b).- Su tendencia a acumular, arenas, sólidos lodos, etc. en el lado aguas arriba del vertedor.  
Lo anterior implica el contar con dispositivos de limpieza para asegurar una medición correcta.-

Las figuras 1 y 2 , muestran los requerimientos principales en la construcción de vertedores, y las figuras 3,4, y 5 presentan algunas curvas y ecuaciones de vertedores en términos de medición de nivel arriba del punto más bajo del vertedor.

EL PARSHALL:

Como antes se ha podido observar, el Canal Parshall fue originalmente desarrollado para medición de gastos de agua de Irrigación. Asimismo es capaz de medir flujos con una muy baja pérdida de carga, de esta manera, en aplicaciones en donde el gradiente de energía lo exige, tiene definitivamente una aplicación <sup>definitiva</sup> ~~dada~~ sus bajas pérdidas, por otra parte su misma construcción, impide la acumulación de residuos ~~en~~ en su fondo que obviamente redundará en un mínimo mantenimiento por limpieza u otras razones.



	W	A	B	C	D	E	F	G	H	K	M	N	P	R	X
FT IN	FT IN	FT IN	FT IN	FT IN	FT IN	FT IN	FT IN	FT IN	FT IN	FT IN	FT IN	FT IN	FT IN	FT IN	FT IN
0	1 2 3/4	0 9 1/2	1 2	0 3 1/2	0 6 1/2	0 6 9/10	0 3	0 8	0 8 1/2	0 2	-	0	-	-	0 1 1/2
1	1 4 1/2	1 0 1/2	1 4	1 5 1/2	1 8 1/2	1 10	4 7/10	10	10 1/2	2 1/2	-	1 1/2	-	-	2 1/2
2	1 6 1/2	1 1 1/2	1 6	1 7	1 10 1/2	1 11 1/2	5 1/10	1 0	1 1 1/2	3 1/2	-	2 1/2	-	-	3 1/2
3	1 8 1/2	1 2 1/2	1 8	1 8 1/2	1 11 1/2	1 12 1/2	6 1/10	1 0	1 2 1/2	4 1/2	-	3 1/2	-	-	4 1/2
4	2 0 1/2	1 3 1/2	2 0	1 9 1/2	1 12 1/2	1 13 1/2	7 1/10	1 0	2 0	5 1/2	-	4 1/2	-	-	5 1/2
5	2 2 1/2	1 4 1/2	2 0	1 10 1/2	1 13 1/2	1 14 1/2	8 1/10	1 0	2 1 1/2	6 1/2	-	5 1/2	-	-	6 1/2
6	2 4 1/2	1 5 1/2	2 0	1 11 1/2	1 14 1/2	1 15 1/2	9 1/10	1 0	2 2 1/2	7 1/2	-	6 1/2	-	-	7 1/2
7	2 6 1/2	1 6 1/2	2 0	1 12 1/2	1 15 1/2	1 16 1/2	10 1/10	1 0	2 3 1/2	8 1/2	-	7 1/2	-	-	8 1/2
8	2 8 1/2	1 7 1/2	2 0	1 13 1/2	1 16 1/2	1 17 1/2	11 1/10	1 0	2 4 1/2	9 1/2	-	8 1/2	-	-	9 1/2
9	3 0 1/2	1 8 1/2	2 0	1 14 1/2	1 17 1/2	1 18 1/2	12 1/10	1 0	2 5 1/2	10 1/2	-	9 1/2	-	-	10 1/2
10	3 2 1/2	1 9 1/2	2 0	1 15 1/2	1 18 1/2	1 19 1/2	13 1/10	1 0	2 6 1/2	11 1/2	-	10 1/2	-	-	11 1/2
11	3 4 1/2	1 10 1/2	2 0	1 16 1/2	1 19 1/2	1 20 1/2	14 1/10	1 0	2 7 1/2	12 1/2	-	11 1/2	-	-	12 1/2
12	3 6 1/2	1 11 1/2	2 0	1 17 1/2	1 20 1/2	1 21 1/2	15 1/10	1 0	2 8 1/2	13 1/2	-	12 1/2	-	-	13 1/2
13	3 8 1/2	1 12 1/2	2 0	1 18 1/2	1 21 1/2	1 22 1/2	16 1/10	1 0	2 9 1/2	14 1/2	-	13 1/2	-	-	14 1/2
14	4 0 1/2	1 13 1/2	2 0	1 19 1/2	1 22 1/2	1 23 1/2	17 1/10	1 0	2 10 1/2	15 1/2	-	14 1/2	-	-	15 1/2
15	4 2 1/2	1 14 1/2	2 0	1 20 1/2	1 23 1/2	1 24 1/2	18 1/10	1 0	2 11 1/2	16 1/2	-	15 1/2	-	-	16 1/2
16	4 4 1/2	1 15 1/2	2 0	1 21 1/2	1 24 1/2	1 25 1/2	19 1/10	1 0	2 12 1/2	17 1/2	-	16 1/2	-	-	17 1/2
17	4 6 1/2	1 16 1/2	2 0	1 22 1/2	1 25 1/2	1 26 1/2	20 1/10	1 0	2 13 1/2	18 1/2	-	17 1/2	-	-	18 1/2
18	4 8 1/2	1 17 1/2	2 0	1 23 1/2	1 26 1/2	1 27 1/2	21 1/10	1 0	2 14 1/2	19 1/2	-	18 1/2	-	-	19 1/2
19	5 0 1/2	1 18 1/2	2 0	1 24 1/2	1 27 1/2	1 28 1/2	22 1/10	1 0	2 15 1/2	20 1/2	-	19 1/2	-	-	20 1/2
20	5 2 1/2	1 19 1/2	2 0	1 25 1/2	1 28 1/2	1 29 1/2	23 1/10	1 0	2 16 1/2	21 1/2	-	20 1/2	-	-	21 1/2
21	5 4 1/2	1 20 1/2	2 0	1 26 1/2	1 29 1/2	1 30 1/2	24 1/10	1 0	2 17 1/2	22 1/2	-	21 1/2	-	-	22 1/2

Fig. 6. Configuración y dimensiones de algunos canales Parshall.

ALZURA H - PULG

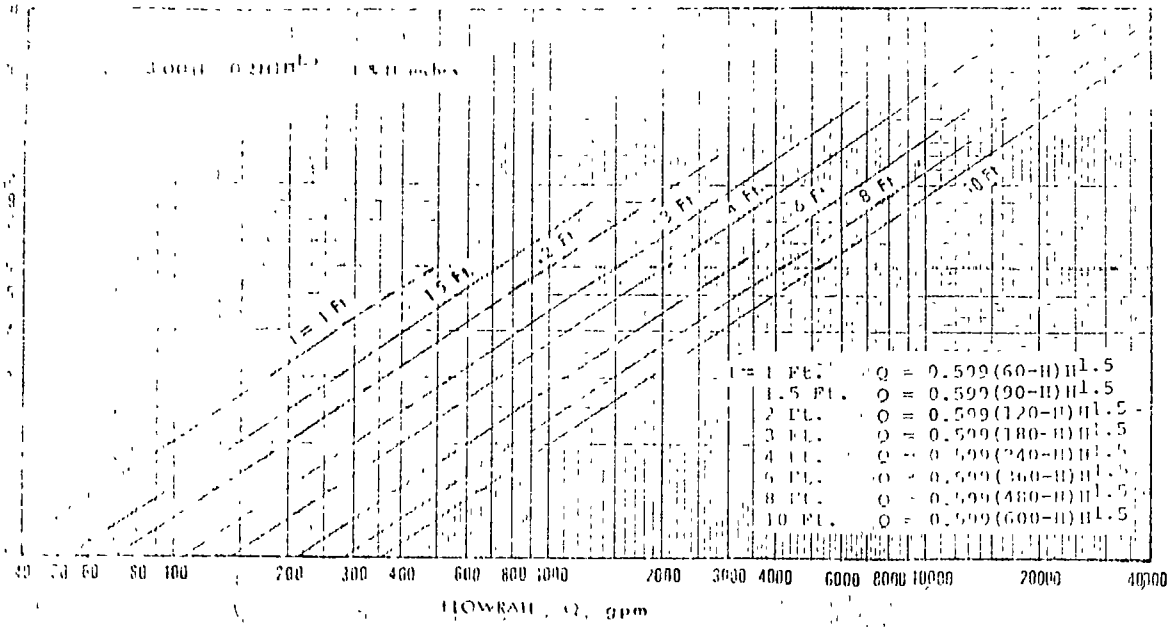


Fig. 3.  
VERTEDOR  
RECTANGULAR

ALZURA H - PULG

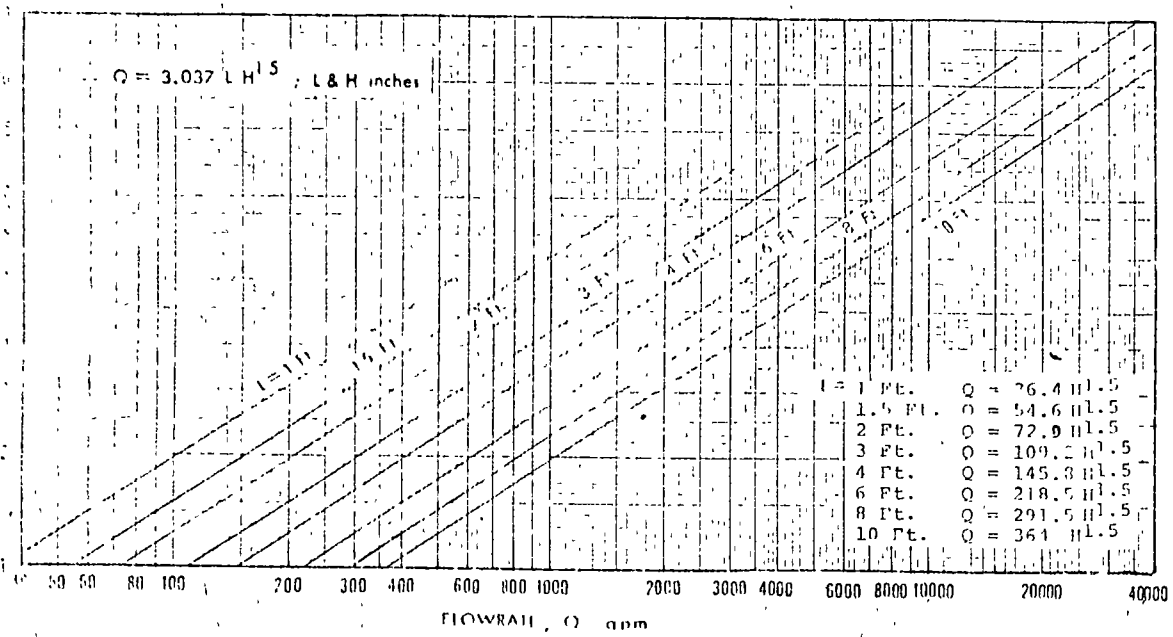


Fig. 4.-  
VERTEDOR  
CIRCULAR

ALZURA H - PULG

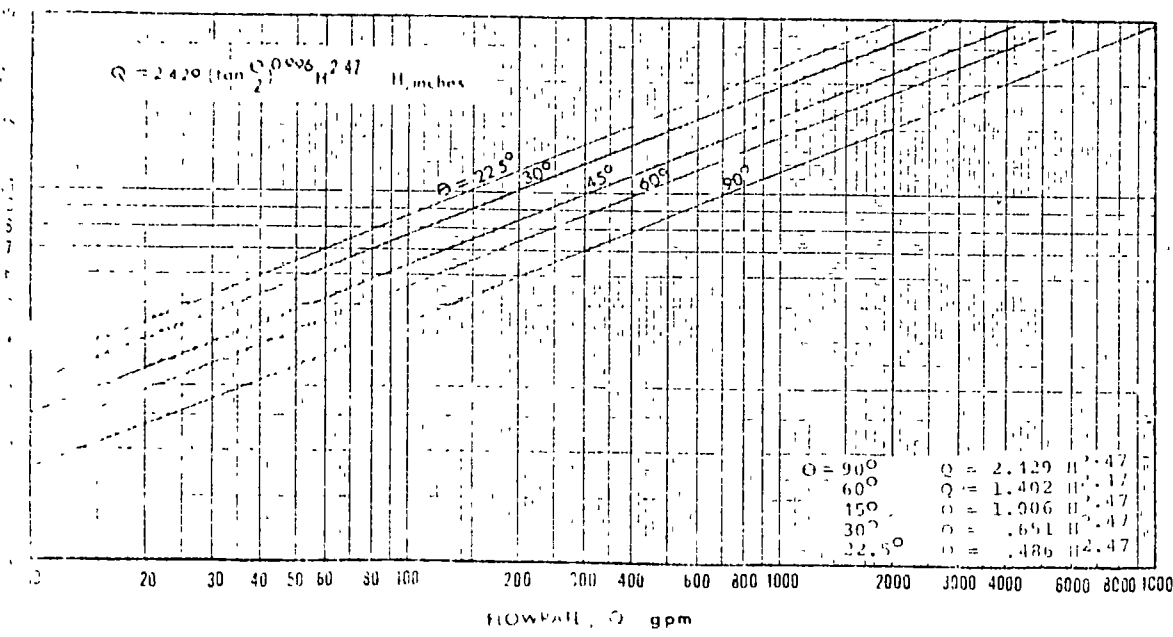
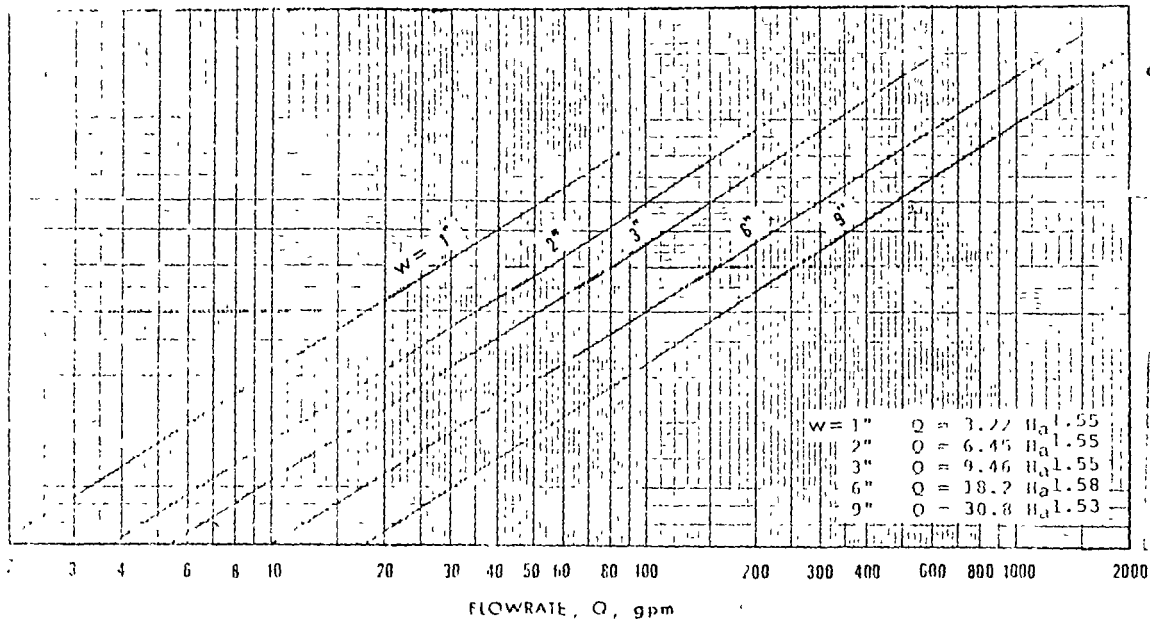


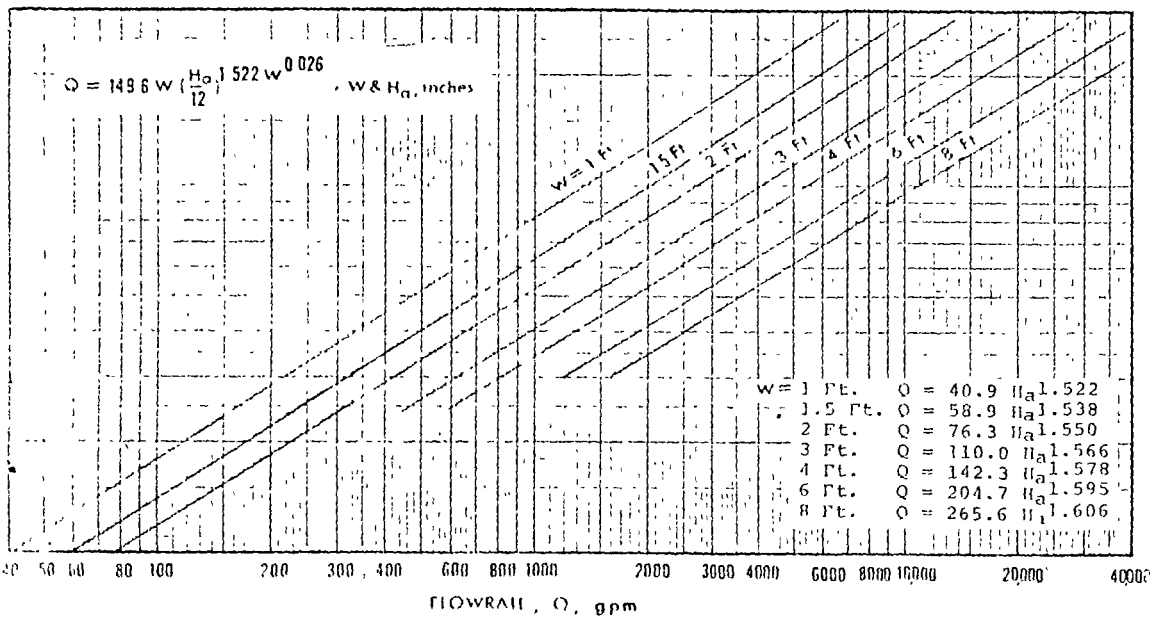
Fig. 5.  
VERTEDOR  
TRIANGULAR

CABEZA HA - PULG.



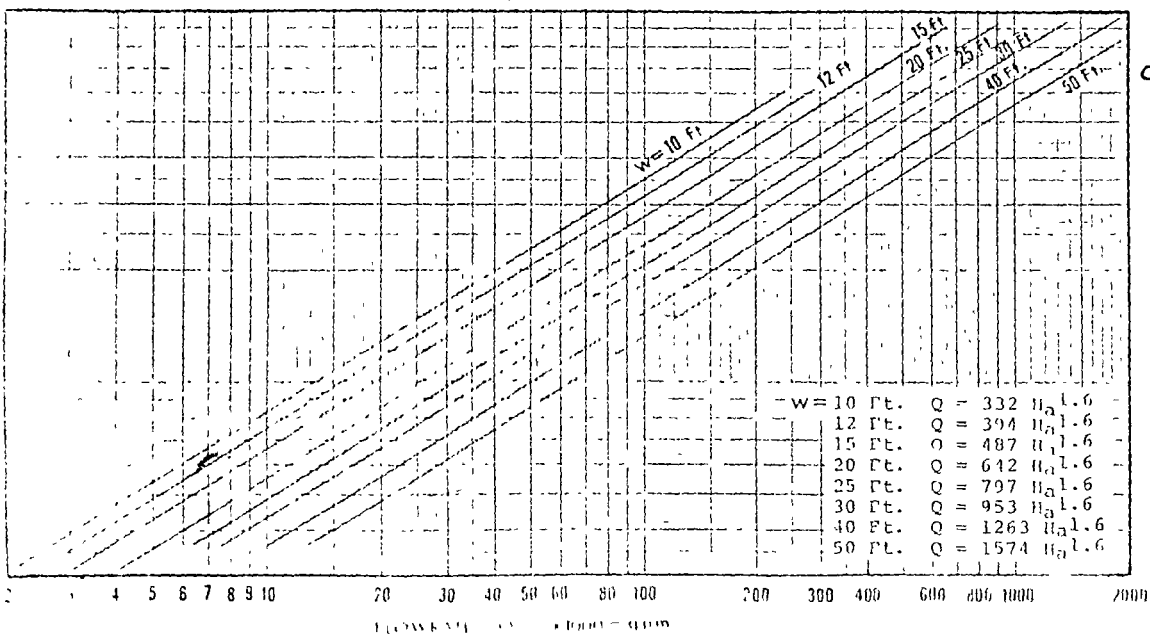
CANILES PARHALL  
PEQUEÑOS

CABEZA HA - PULG.



CANILES PARHALL  
MEDIANOS

CABEZA HA - PULG.



CANILES PARHALL  
GRANDES.

La mayor diferencia entre los canales Parshall y los vertederos es la localización, aguas arriba, del punto en donde debe medirse el nivel o cabeza.

Como se dijo antes en los vertederos es necesario medir el nivel en un punto donde la velocidad es casi despreciable en -- tanto que en el Parshall esta medición se hace precisamente -- en la sección de convergencia donde el flujo es acelerado pa -- ra entrar en la garganta ( ver figura 6 ).-

La velocidad admisible en este punto varía con el tamaño del canal desde 1.5 ft/seg. o mayor en canales pequeños a 6.0 ft/seg. o mayor en canales grandes, consecuentemente no será necesario considerar la velocidad de entrada ( o aproximación ) cuando se selecciona un canal Parshall.

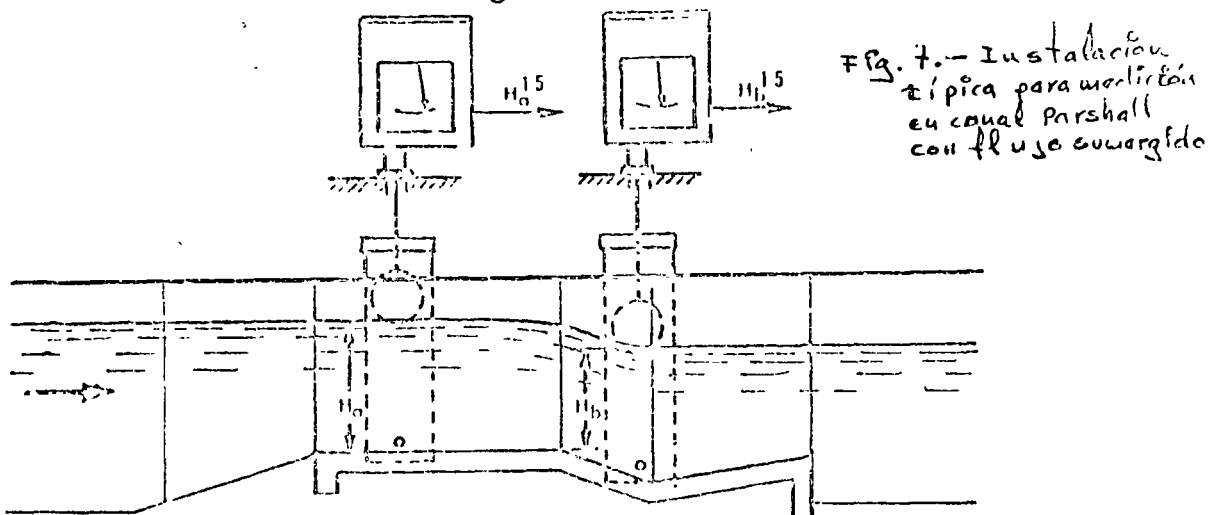
Si las tablas de capacidad son respetadas, si el canal de conducción aguas arriba tiene la dimensión P del seleccionado -- ( ver fig. 6 ) y si el espacio y construcción originales permiten una buena construcción o montaje del canal Parshall no habrá ningún problema por la velocidad de aproximación.

En la mayoría de los casos el Canal Parshall, es empleado en medición de gasto con "Flujo Libre".

Los límites para flujo libre en la relación  $H_b/H_a$ . fijados antes son los estándares que existen, sin embargo F.&P. mediante estudios y experimentación en este campo ha definido además dichos valores, mismos que se presentan en la siguiente = tabla.

TAMAÑO DEL CANAL	LÍMITE DE FLUJO LIBRE
1" a 3"	$H_b/H_a < 0.5$
6" a 9"	$H_b/H_a < 0.6$
1' a 8'	$H_b/H_a < 0.7$
10' a 50'	$H_b/H_a < 0.8$

Cuando por impedimentos físicos en el terreno no es posible -- cumplir con lo anterior para contar con flujo libre y la rela -- ción  $H_b/H_a$ . se sale de los límites marcados, nos encontrare -- mos en una condición de flujo sumergido o ahogado y será nece -- sario hacer mediciones del nivel o cabeza en dos puntos, uno -- como si se tratara de flujo libre en la sección de convergen -- cia y otro en la sección de la garganta ( ver figura 7 ).



Para calcular el flujo verdadero bajo este tipo de medición, existen datos e información completa en el Departamento de Estado (U.S.A.) en el "Manual de Medición de Agua" de su Oficina de Reclamaciones del Interior.

Estos datos son presentados como un flujo creciente que debe ser restado al flujo teórico cuyo valor es conocido merced a la medición en  $H_a$ , considerándolo aquí como flujo libre. - El incremento creciente del flujo esta en función de: El nivel de entrada; el tamaño de garganta y la relación de sumergencia  $H_b/H_a$ .

Ahora bien hasta ahora solo se ha hablado del dispositivo -- primario en la medición, sin embargo el elemento que detecta las variaciones de alforo o sea el que en última instancia -- proporciona o traduce dicho alforo en un gasto no es menos -- importante ya que sin un medio continuo de medición sería como en otros casos incesaria y tal vez onerosa su aplicación.

Dicho dispositivo consiste básicamente de un flotador unido-mecánicamente mediante cables o articulaciones a una caja -- dentro de la cuál estan colocados los mecanismos necesarios-- para traducir el movimiento de dicho flotador en una indicación o registro directo de gasto, lo cuál se consigue mediante un mecanismo seguidor de una leva cortada de acuerdo con la ecuación del canal que se trate, de manera que la indicación de dicho gasto sea líneal.

Desde luego, en la mayoría de los casos es no sólo necesaria una indicación local sino que se requiere en un lugar lejano al punto de medición, con el fin de controlar gastos, dosificaciones etc. y entonces será necesario contar con equipos adicionales dentro de la misma caja del Instrumento de medición a fin de traducir los movimientos del flotador en señales neumáticas o electrónicas y con ello hacer mas com--

pleta su función.

Ahora bien, volviendo a la medición de flujo sumergido, el citado ~~Este~~ método de determinación de flujo, podrá ser bueno para cálculos locales y momentáneos pero no es aplicable en computación o medición continua con instrumentación. Otros ~~me~~ todos también citados en el "Manual de Medición de Agua", ~~-~~ calculan el flujo verdadero aplicando un factor al flujo libre teórico. Como muestra la figura 8,  $F_s$ , es una función única de la sumergencia,  $H_b/H_a$ , para cada tamaño de garganta y puede obtenerse de la gráfica fácilmente el valor que sería necesario para encontrar el flujo verdadero pero para cada nivel en particular. En sumergencias menores 95% el cálculo introduce no más de 5% de error en el gasto y con condiciones medias esto es lo mejor.

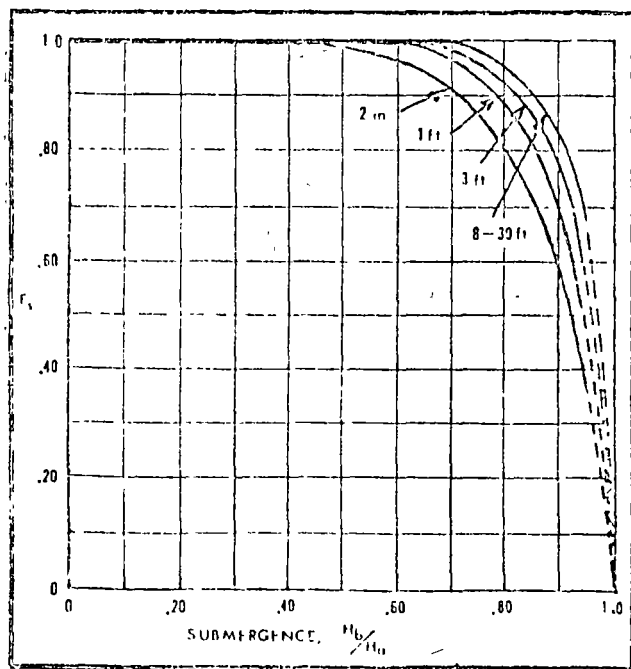


Fig. 8.- Factor  $F_s$  contra relación de sumergencia.

Un Canal Parshall de 3' diseñado para flujo libre pero empleado en flujo sumergido con  $H_b/H_a = 0.90$  leerá 25% arriba del flujo normal apróx.

Puede fácilmente observarse que es necesario hacer una corrección o compensación que permita una medición continua.

La ecuación a resolver puede plantearse como:

$$(1) Q = Q_f F_s.$$

Donde:

$Q$  = Flujo Verdadero

$Q_f$  = Flujo libre teórico, basado en  $H_a$ .

$F_s$  = Factor de sumergencia que es una función de  $H_b/H_a$ , para cualquier ancho de garganta.

Para una garganta conocida donde  $Q_f$  es conocida:

$$1.5$$

$$(2) Q_f = C H_a$$

(El exponente varía sensiblemente con el ancho de la garganta pero para facilitar esta discusión, asumiremos el 1.5 como potencia de  $H_a$ )

Substituyendo (2) en (1)

$$(3) \quad Q = C Ha^{1.5} \left( f \left( \frac{Hb}{Ha} \right) \right)$$

Sin embargo por simplicidad y para facilitar el uso de componentes análogos, la sumergencia  $Hb/Ha$ . no es empleada directamente pero si al mismo exponente 1.5 - esto resultará en una ecuación final de flujo:

$$(4) \quad Q = C Ha^{1.5} \left( f \left( \left( \frac{Hb}{Ha} \right)^{1.5} \right) \right)$$

En la práctica los dos instrumentos para medición de nivel contienen levas que linearizan la señal de cuál-da por resultado a la salida valores  $Ha$  y  $Hb^{1.5}$  respectivamente. El sistema es esquematicamente mostrado en la figura 9.

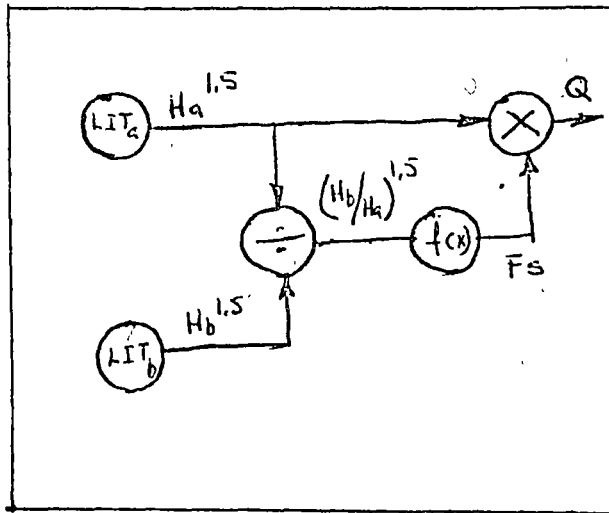


Fig. 9.- Sistema Esquemático de computación.

Una comparación de  $F$  como una función de  $Hb/Ha$  y de  $(Hb/Ha)$  es mostrada en la figura 10. Note se que la curva de la derecha es menos exéntrica y de esta manera es más facil y exacto reproducirla por la señal correcterizada.

Las figuras 11 y 12 muestran componentes actuales que son empleados en la medición de flujos en canal Parshall en condiciones de sumergencia. Son mostrados sistema neumático y un electrónico con modelos de F.&P. pero que pueden efectuarse con equipo similar.

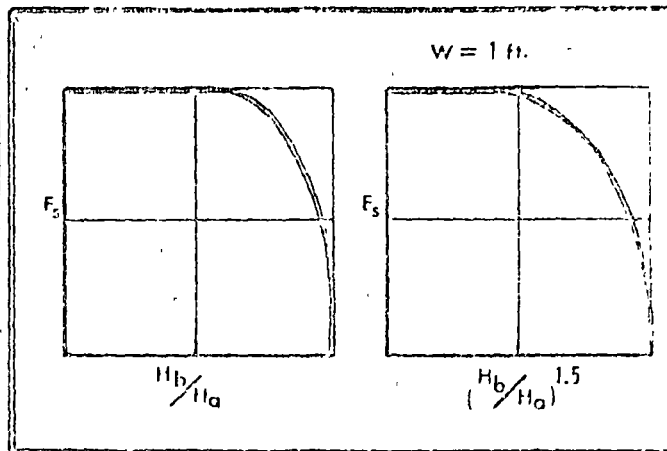


Fig. 10.- Comparación de curvas típicas.

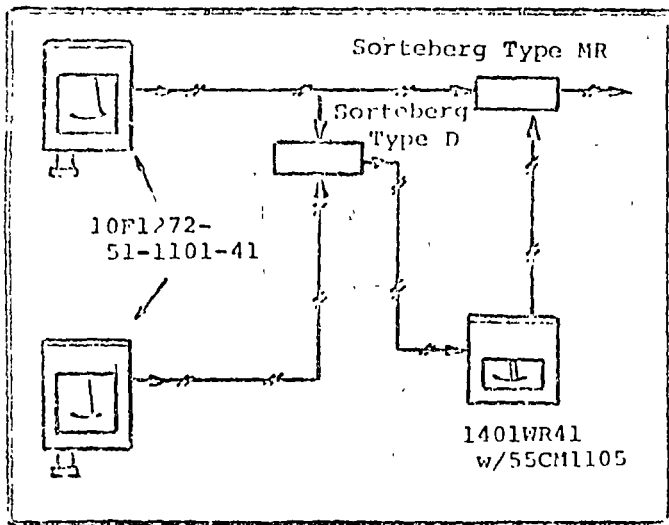


Fig 11.- Sistema neumático para flujo sumergido

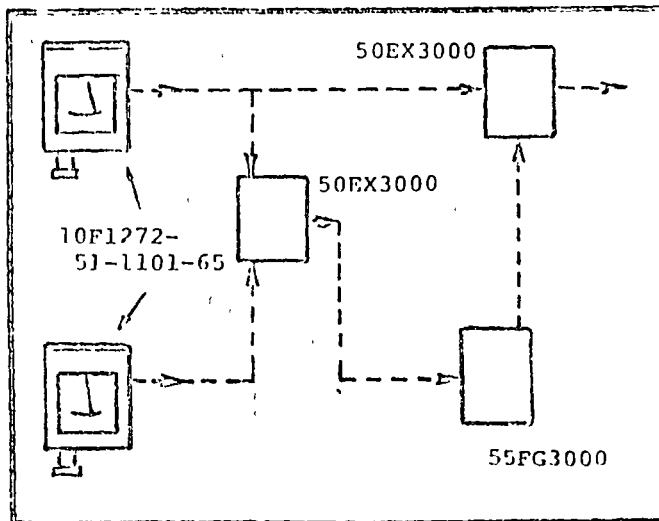
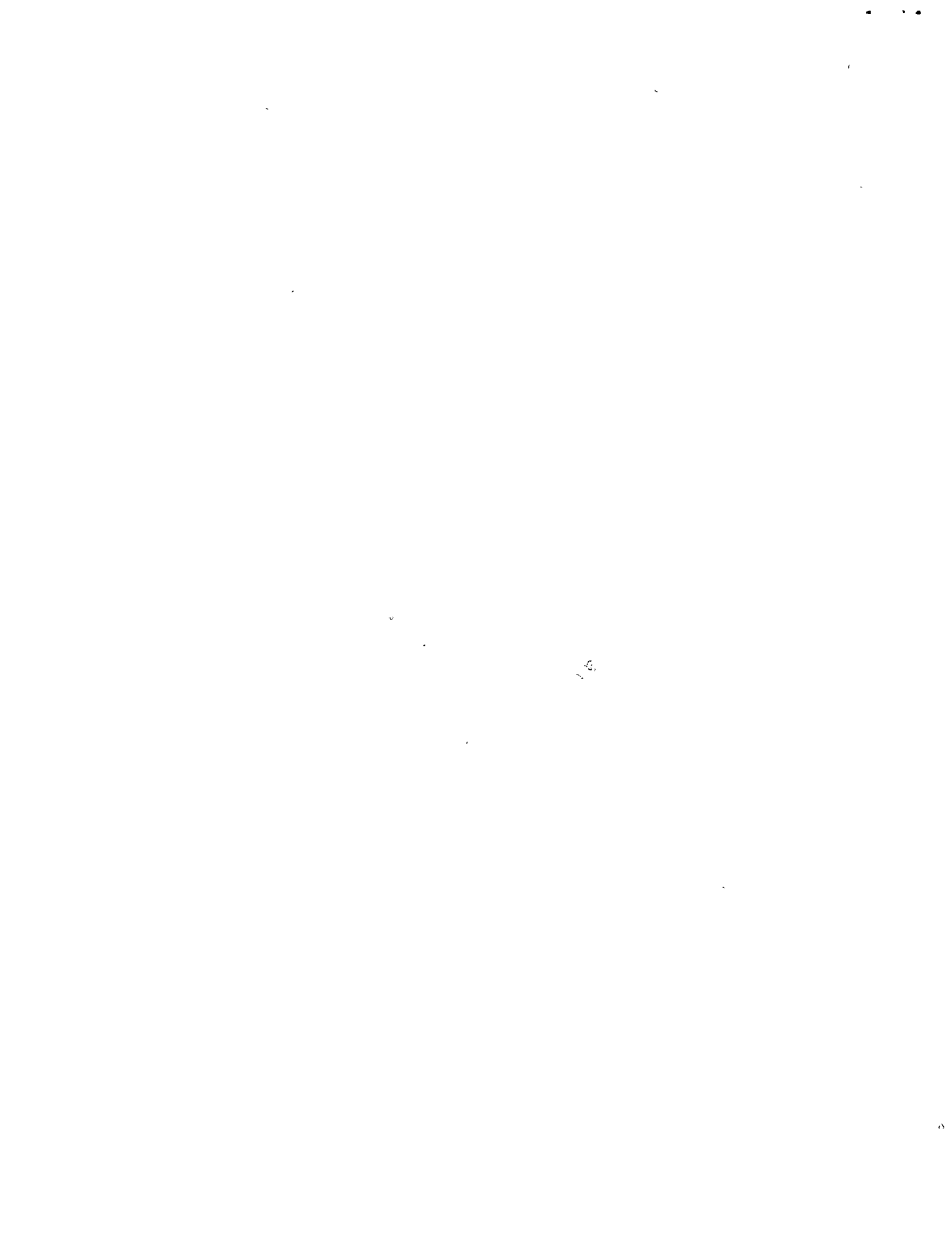


Fig 12.- Sistema electrónico para flujo sumergido.



INSTRUMENTACION NEUMATICA PARA PROCESOS INDUSTRIALES

TEMPERATURA, TEORIA BASICA

ING. MIGUEL ESQUIVEL

14 de Julio de 1972

1

2

3

4

## FILLED-SYSTEM THERMOMETERS

An important factor in the development of modern industry has been the use of instruments to continuously measure temperatures with high accuracy and reliability. Present day quality control and uniformity of the product would be commercially impractical without automatic temperature measurement.

The design of filled-system thermometers involves many factors which are not generally understood. The purpose of this paper is to discuss the general theory, requirements, design factors and construction of industrial filled-system thermometers. (Other Bristol Product Data discuss in detail the individual classes of filled-system thermometers).

**THERMAL EXPANSION PRINCIPLE.** The expansion or varying pressure of fluids was historically the first physical phenomenon to be used for measuring temperatures---probably because pressure is easy to measure. The filled-thermal or "pressure-actuated" system is used today in most recording and controlling thermometers for temperature measurement up to 1000°F (537°C).

All matter undergoes physical reaction to heat changes. Temperature is a measure of the molecular movements of matter due to absorption of heat energy. (See Fig. 1) Adding heat energy to matter increases the velocity of its molecules. The matter expands or contracts in volume; its electrical resistivity changes; fluids exert varying pressures; the viscosity of fluids changes, etc. Temperatures can be measured by evaluating any of these physical reactions caused by changes in heat energy. Of these, the easiest to measure are the expansion or pressure variations of fluids.

**Coefficient of Thermal Expansion.** The dimensions of every substance change a definite amount for each unit of temperature change. This unit change of dimension is called the "coefficient of thermal expansion". The numerical value of this coefficient is usually different for every material.

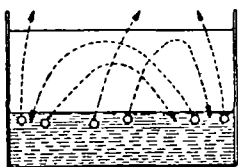
If the expansion of a substance is restrained, a pressure will be exerted on the restraining means. This pressure is proportional to the amount of the expansion that has been prevented.

Two coefficients can be found for each substance: one is the coefficient of linear expansion; the second is the coefficient of volumetric expansion. **Linear coefficients** are expressed as inches per inch, per degree Fahrenheit (in/in/°F), or as centimeters per centimeter, per degree centigrade (cm/cm/°C).

The **volumetric coefficient** of expansion is the measure of the amount of change in volume per unit volume, per degree change in temperature. Volumetric coefficients are expressed as inches cubed per inch cubed, per degree Fahrenheit (in<sup>3</sup>/in<sup>3</sup>/°F), or as cubic centimeters per cubic centimeter, per degree centigrade (cc/cc/°C). The volumetric coefficient of thermal expansion is numerically (approximately) three times that of the linear coefficient. Figure 2 gives volumetric coefficients of expansion for some of the materials commonly used in thermometers.

Note that the coefficients of thermal expansion are always given at a definite pressure and temperature, usually at 14.7 psi atmospheric pressure (760mm) and 68°F (20°C). One of the problems of designing thermometers is that the coefficients unfortunately are not constant, but change with both temperature and pressure. For many materials, this variation is slight except at or near extreme conditions. Therefore it is generally possible to select a span of temperatures thru which the coefficient is practically constant. For example: Figure 3 shows that the coefficient of expansion of water is nearly constant (straight-line) over a wide range of temperature.

**Application of Thermal Expansion Principle to Temperature Measurement.** The change in length of a solid that occurs with temperature changes is one of the simplest methods of measuring temperatures. Many metals such as copper, brass,



It is important to note the difference between Heat and Temperature. Heat is a form of energy. According to the kinetic theory, heat is molecular vibratory motion. The total energy of the molecules of a body is its heat content; while the velocity of these particles is the heat intensity or temperature. The definition for temperature given by John Tyndall gives a clear meaning of the word: "Temperature is that thermal condition which determines whether a body shall take on or give off heat".

When heat is applied to any body, its molecular motion increases producing different effects, such as expansion, temperature rise, melting, vaporization, and increase in pressure. Some of these effects can be used to determine temperature. Temperature is always considered in terms of its effects.

FIGURE 1. (S.P.DWG. 5856). THE DIFFERENCE BETWEEN HEAT AND TEMPERATURE.

SOLIDS		LIQUIDS		GASES	
BRASS	.0000315	GLYCERINE	.000280	NITROGEN	.002040
COPPER	.0000235	XYLENE	.000680	HYDROGEN	.002035
GLASS	.0000153	ETHYL ALCOHOL	.000622	AIR	.002036
NICKEL	.0000213	ETHER	.000920	CARBON DIOXIDE	.002054
INVAR	.0000015	MERCURY	.000101	OXYGEN	.002040
STEEL	.0000220	WATER	.000115	SULPHUR DIOXIDE	.002136

FIGURE 2. COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION (CU IN/CU IN/°F) OF SOME MATERIALS COMMONLY USED IN THERMOMETERS.

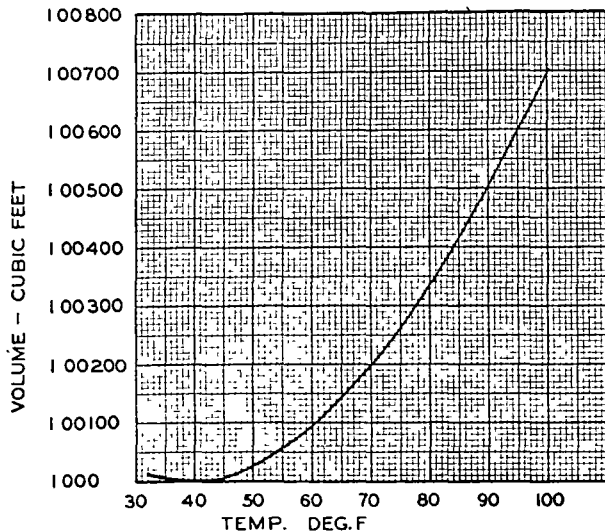


FIGURE 3. (S.P.DWG. 3804). GRAPH SHOWING VOLUME CHANGES OF ONE CUBIC FOOT OF WATER WITH TEMPERATURE (AT CONSTANT PRESSURE).

and steel are very satisfactory for this purpose, because they have large unit rates of expansion, are readily available, durable and inexpensive.

A variation of this expansion of solids principle is used in the common bimetallic thermometer. A bimetallic element is made of two thin strips of dissimilar metal securely fastened together. This forms one strip of the same length and width but of double thickness. (See Figure 4). One metal has a high expansion coefficient: the other metal a low expansion coefficient. For example: brass and Invar.

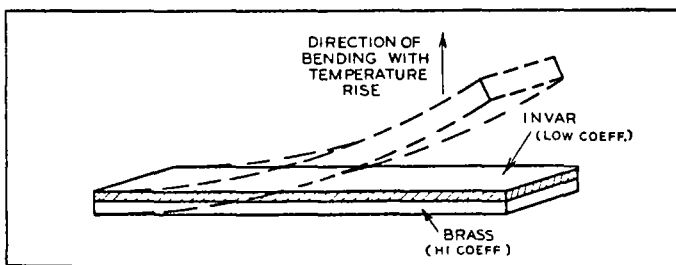


FIGURE 4. (S.P.DWG. 3805). CONSTRUCTION OF BIMETALLIC STRIP. INCREASED TEMPERATURE CAUSES BENDING TOWARD METAL OF LOWER EXPANSION COEFFICIENT.

When the temperature of such bimetallic strip increases, the brass will expand about 20 times more than the Invar. Then, in order to equalize its internal stresses, the strip will bend in the direction of the metal of lower coefficient. The amount of bending is a direct indication of the temperature change.

Another use of the thermal expansion principle is made in glass stem thermometers. A liquid such as mercury is contained in a fine-bore glass tube. When subjected to a temperature change, the mercury expands or contracts more than the glass. This causes the level of the mercury to change inside the glass tube, thereby indicating the temperature.

Both these methods of temperature measurement are usually visual. They are, therefore, limited in their industrial application, because they must be located at the point of measurement. Consequently, as the field of temperature measurement broadened, engineers turned to the filled-system thermometer. It provided more accurate measurement; it made possible indicating and recording at a point remote from the temperature source.

**DESCRIPTION OF FILLED-SYSTEM THERMOMETERS.** Filled-system thermometers operate from the volume and pressure changes that occur in fluids when their temperatures change. Continuous engineering investigation of metallurgical properties, optimum shapes and volumes, and filling media, has produced filled-system thermometers of extreme sensitivity and accuracy. Furthermore, they generate ample power to operate secondary mechanisms. Filled thermal systems are the heart of most industrial recording and controlling thermometers.

**Components of Filled-System Thermometers.** The basic parts of all filled-system thermometers are alike in general design. Therefore, the general function, requirements and construction of the parts of all such thermometers can be studied together. However, there are important differences between the classes of filled-system thermometers as to both construction and operating principle. These differences are discussed in other product data sheets. A typical filled-system thermometer consists of the following

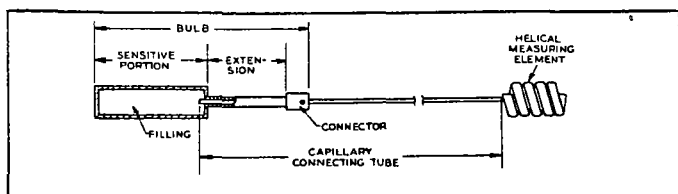


FIGURE 5. (S.P.DWG. 3806). BASIC ELEMENTS OF A FILLED THERMAL SYSTEM.

basic parts:

1. Thermal System (see Figure 5)

- a. bulb (sensing element)
- b. capillary tubing
- c. filling fluid
- d. measuring element

2. Secondary Mechanisms (see Figures 6 and 7)

- a. linkage
- b. indicating pointer, recording pen, alarms, controlling or telemetering devices.

The first four items above form an inseparable unit which is called the "thermal system". The secondary mechanisms may or may not exist in any particular thermometer. This depends on the manner in which the action of the thermal system is used. For example: the linkage might be eliminated in a simple recording thermometer by attaching the pen arm directly to the measuring element. Or the movement of the measuring element might directly actuate a pneumatic or electrical control system, without any pointer or pen.

THERMAL SYSTEM.

**Classes of Filled Thermal Systems.** Filled-system thermometers are generally classified according to type of filling fluid used and the principle of operation.

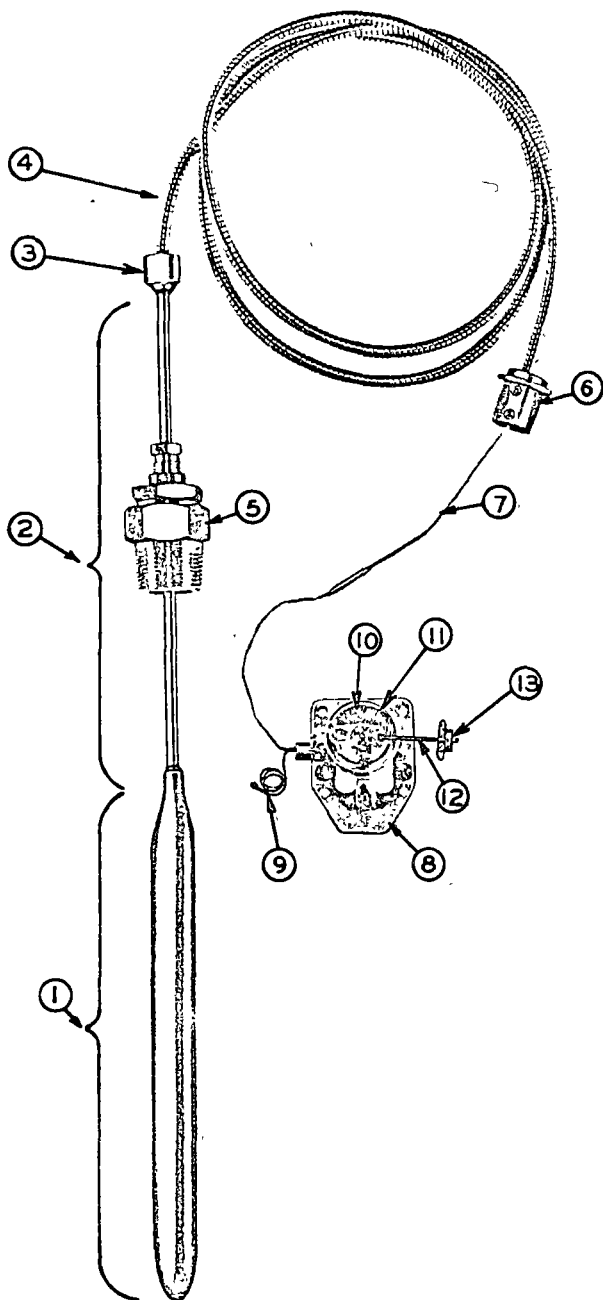
Class I includes liquid-filled systems that use the thermal expansion of an organic liquid as a measure of temperature at the bulb.

Class II includes systems partially filled with liquid that use the vapor-pressure in the unfilled portion of the system as a measure of the temperature at the bulb.

Class III includes gas-filled systems that use the thermal expansion of the gas as a measure of the temperature at the bulb.

\*\*\*Class V - Mercury-filled systems. Mercury is used in a liquid state and its thermal expansion is used to measure temperature in exactly the same way as in Class I thermometers.

Detailed discussions of the filled-system thermometers are given in Prod. Data T801 (Class I), T802 (Class II) and T803 (Class III) and T805 (Class V).



\* FIGURE 6. (PHOTO 5683). TYPICAL FILLED SYSTEM AS USED IN INDUSTRIAL RECORDING THERMOMETERS.

\*\*Added in Dec. 1962 issue.

LEGEND TO FIGURE 6\*

1. Sensitive portion of bulb.
2. Insensitive extension of bulb.
3. Connector (bulb to armor).
4. Flexible armor.
5. Union.
6. Case connection fitting.
7. Capillary connecting tubing.
8. Measuring element mounting bracket.
9. Capillary used for filling the system.
10. Bimetallic case temperature compensator---(not used in Class II or fully-compensated systems).
11. Thermometer pressure measuring element (helical).
12. Measuring element arm.
13. Span (scale length) adjuster.

\*Changed in Dec. 1962 issue.

4

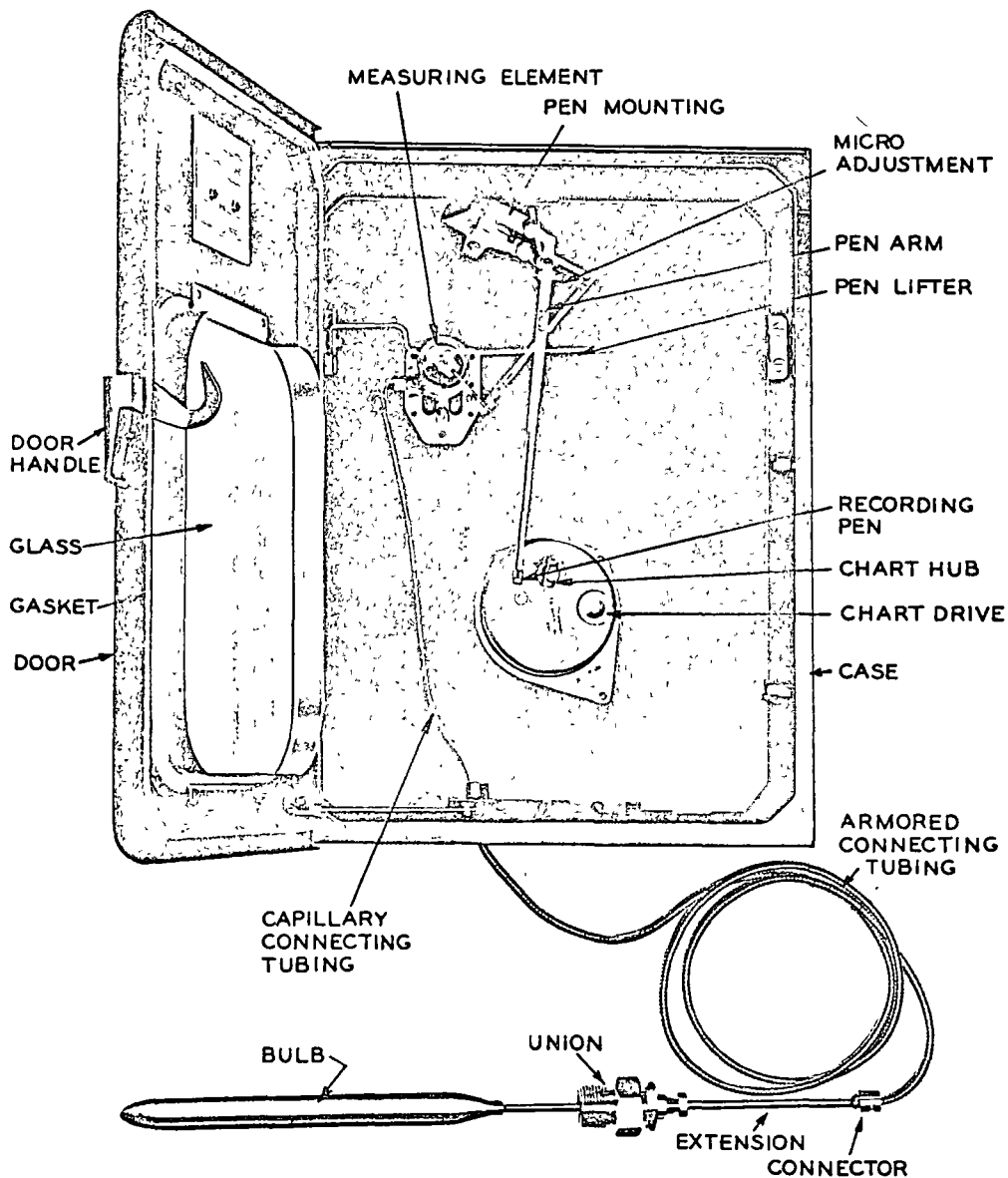
**Basic Design Factors.** A thermal system must be designed so that it measures temperatures at the bulb only. Temperatures that exist along the tubing and around the measuring element are called "ambient temperatures." If the thermal system responds to ambient temperatures, it will incorrectly measure the true bulb temperatures.

In liquid-and gas-filled systems, errors due to tubing and element ambient temperatures can be minimized by having the largest possible part of the system volume in the bulb and as little volume as possible in the tubing and measuring element. The object is to have the measured temperature at the bulb exert the dominating effect on the internal pressure and to have the ambient temperatures exert the least effect. For example: in a typical Class III gas-filled system, the bulb volume will be from 30 to 50 times larger than that of the tubing and element combined.

**The Bulb.** The bulb is that part of the thermal system which is exposed to the temperature to be measured. It is the "sensing element" of filled-system thermometers. The bulb consists of three basic parts (see Figure 8): the sensitive portion, the extension and the connector.

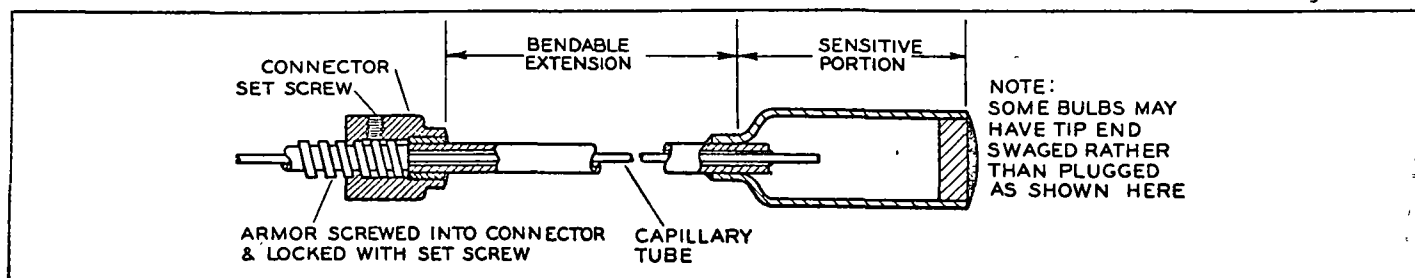
The basic requirements of a filled-system thermometer bulb and the design factors involved are:

1. High speed of response
  - a. large area to volume ratio
  - b. minimum wall thickness
  - c. metal of high heat conductivity
2. Low thermal error
  - a. low radiation
  - b. low heat conduction thru extension and mounting
3. Small volume change
  - a. metal of low expansion coefficient



\*FIGURE 7. (PHOTO 5693). A TYPICAL FILLED-SYSTEM INDUSTRIAL RECORDING THERMOMETER.

\*Changed in Dec. 1962 issue.



\*FIGURE 8. (S.P.DWG. 5845). CONSTRUCTION DETAILS OF A THERMOMETER BULB.

4. Mechanical strength
  - a. for internal filling fluid pressures
  - b. for external pressure and stress
5. Corrosion resistance to both the filling fluid and the measured medium.
6. Ease of manufacture and low cost.
7. Physical size and shape convenient for insertion into industrial equipment.

The sensitive portion of the bulb must be designed to follow temperature changes of the measured medium as quickly as possible. This means that heat must be transferred between the measured medium and the filling fluid as rapidly as possible. To obtain such fast response, the ratio of surface area to volume in the sensitive portion should be as high as possible. For example: a bulb constructed of fine-bore tubing (see Figure 9) will have a very large ratio of surface area to volume. This area to volume ratio consideration dictates the long, tubular shape of standard bulbs: the length of bulbs is usually several times their diameter.

The metal, of which the sensitive portion is made, must be highly conductive to heat in order that heat can be transferred rapidly thru the bulb walls. The bulb itself should have low heat capacity so that little heat flow will be required to change its temperature. This calls for a bulb metal of low specific heat.

For accurate metering, the sensitive portion of the bulb must attain as nearly as possible the true temperature of the measured medium. This requires that the sensitive portion of the bulb neither lose nor gain heat to or from any medium other than the measured medium. Good bulb design will minimize heat loss or gain by radiation or by conduction which occurs thru the bulb extension and mounting.

The metal of which the bulb is made should have the lowest possible coefficient of expansion. Then temperature changes will cause the minimum volumetric changes in the bulb, and this produce the maximum internal pressure changes in the filling fluid.

Obviously, all the above bulb requirements cannot be had in any single metal or design. For commercial manufacture, it is necessary to choose the most important features for a wide range of applications. The undesirable features are minimized as much as possible by proper design.

\*Changed in Dec. 1962 issue.

Common metals such as copper, brass, stainless steel, etc., while not ideal in every respect, are generally used in bulb construction.

If, however, the conditions of use are known, the combination of design, material, and filling medium, which will give optimum measuring results, often can be selected. For this reason, it is important, when specifying a thermometer for a particular application, to list ambient temperature span, operating temperatures, range, bulb location, and any data which will influence bulb dimensions such as pipe size, physical clearances, line pressures, and fluid velocity.

There is often little or no choice of materials or dimensions for the bulb, due to corrosive or other unalterable conditions. Then the ingenuity of the design engineers makes the difference between a bulb that is practical and one that is inadequate.

The function of the bulb extension is primarily to thermally isolate the sensitive portion from the equipment to which the bulb is attached. If the sensitive portion is not adequately insulated, much of the heat may flow between the bulb and the bulb mounting. Then the temperature of the filling fluid will be influenced by the temperature of the bulb mounting---and error will result. Therefore, the extension should be made of material that is a poor heat conductor. The bulb extension also assures complete immersion of the sensitive portion in the medium to be measured.

In addition, the material of which the extension is made must be strong and corrosive-resistant thru the range of temperatures in which it is used. The extension should be designed so that most of the surface area of the bulb is concentrated in the sensitive portion and as little as possible in the extension.

The bulb connector is simply a means of fastening the bulb to the tubing armor (see Figure 8).



FIGURE 9. (PHOTO 3311). A BULB MADE OF CAPILLARY TUBING TO GIVE LARGE AREA TO VOLUME RATIO FOR HIGH SPEED OF RESPONSE TO TEMPERATURE CHANGES.

**Capillary Tubing.** The capillary tubing is that part of the thermal system which provides communication between the sensitive portion of the bulb and the measuring element. (A "capillary" is a tube of very fine internal diameter.) One end of the capillary tube is fastened into the sensitive portion and the other end to the measuring element, forming a closed system. The capillary tubing must never be cut or broken. To do so will make the system completely inoperative.

Capillary tubings used in filled-system thermometers have internal diameters from about .006 inch to .030 inch. This small bore is used to minimize the volume contained in the tubing. As explained before, the maximum part of the system volume must be in the bulb.

Capillary tubing for use in filled-system thermometers must meet the following basic requirements:

1. The internal diameter must be relatively uniform to minimize variations in tubing volume.
2. The internal surface must be as smooth and clean as possible to minimize friction and possible plugging. Any retardation of filling fluid flow due to such friction slows down the speed of response of the thermal system.
3. The tubing must be mechanically strong and pliable, yet must not crack, split, flatten or expand under pressure.
4. The metal of which the capillary is made must be chemically inert to the filling fluid.
5. The metal must not contaminate the filling fluid by disintegration.

The capillary tubing is usually protected by flexible metallic armor. Plastics, rubber, lead and other suitable materials are also used to protect the capillary under corrosive conditions (see Fig. 10). Copper and stainless steel are the most practical metals for thermal-system capillary tubing.

The choice of metal for the capillary and of material for the armor depends on the particular conditions in which the thermometer will be used. The internal diameter of the capillary depends on the length of tubing required, the filling fluid used and the ambient temperature span.

**\*\*Heavy-Wall Capillary Tubing.** This type of capillary tubing has a heavier wall between the inside diameter and the outside diameter of the tubing. (see Fig. 11). It has the advantage of being less expensive than armored tubing and it is resistant to many solvents, alkalis and acids. Heavy-wall capillary tubing is ideally suited for applications where the bulb or instrument will be moved little and where the capillary tube will require little or no bending.



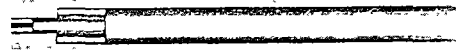
**Flexible Armored Tubing** (bronze, steel and stainless steel) - O.D. 0.274". Because of the ease with which this flexible armor can be handled, it is the one in most general use.



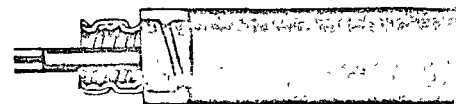
**Double Flexible Armor** - O.D. 0.395". For additional mechanical protection double flexible armor as illustrated here can be supplied when installation conditions require. Furnished in bronze or stainless steel.



**Lead Covered Tubing** - O.D. 1/4" and 1/2". Lead tubing is a serviceable protection against corrosive liquids and gases. It resists the action of many acids, including sulphuric acid.

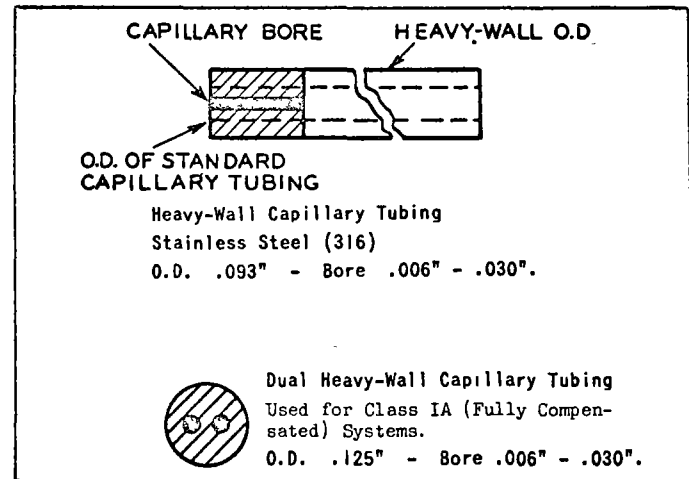


**Seamless Bendable Tubing** - O.D. 3/16" and 1/4". Seamless bendable tubing is obtainable in copper, lead, or stainless steel. It can be furnished with outside diameters 3/16 or 1/4 inches. The larger size is not readily bendable.



**Plastic Covered Tubing** - Polyvinyl chloride molded over bronze armor - O.D. 0.354". Resistant at room temperatures to many solvents, alkalis, and acids.

FIGURE 10. (PHOTOS 1192a & 3091). TYPICAL ARMOR FOR CAPILLARY CONNECTING TUBING USED IN FILLED-SYSTEM THERMOMETERS.



\*\*FIGURE 11. (S.P.D. DWG. 5850). SINGLE & DUAL HEAVY-WALL CAPILLARY TUBING.

\*\*Added in Dec. 1962 issue.

**Filling Fluids.** The filling fluid is the active part of the thermal system. Its volume and pressure changes in response to heat changes generate the force that actuates the measuring element.

In most thermal systems, the filling fluid has two distinct functions:

1. It reacts to the heat at the bulb.
2. It transmits this reaction to the measuring element.

Any one of a wide variety of fluids can be used for filling thermal systems. These fluids are commercially available and have well known characteristics. The filling fluid can be used in the liquid, vapor or gaseous state, or in a combination of these states, depending on the conditions of use and desired metering characteristics.

A filling fluid for use in filled-system thermometers should meet the following requirements:

1. It must be pure: every precaution is taken to prevent contamination. Even minute contamination frequently is sufficient to greatly change its physical and chemical characteristics.
2. It must be clean: even very minute foreign matter can plug the small capillary tubing.
3. It must remain chemically inert and stable in the temperature range thru which it will be used.
4. It should have low viscosity.

**Measuring Element.** The measuring element is that part of the thermal system which converts the pressure generated in the filling fluid into mechanical force and motion. This force is used to operate the secondary mechanism---pointers---pens---controllers, etc.

The measuring element is simply an elastic container which stretches with changes of internal pressure. It must possess the following features which are essential for accurate pressure measurement: sensitivity, dependability, durability, long calibration life, and ample power to actuate the secondary mechanism. In addition, it must be so designed that maximum deflection will be achieved with a minimum change in its internal volume. The normal operating pressures in thermal systems (50 to possibly 2000 psi, depending on the range and the filling medium) are beyond the practical measuring range of ordinary bellows-or diaphragm-type elements. This limits the choice of pressure elements to bourdon-type elements. The helical type pressure element can be made with very small internal volume; this permits the bulk of the system volume to be placed in the bulb without resorting to very large bulbs. In addition, helical elements change volume very little as they deflect.

Bristol Company experience shows that the helical tube is the most satisfactory from the standpoint of practical manufacture and all around performance, particularly for recording thermometers. When the helical element is correctly designed it is compact, sturdy and reliable, and eliminates excessive multiplication of motion between the measuring element and the secondary mechanisms.

Bristol's measuring elements are designed to deflect a nominal 23 angular degrees when subjected to their rated pressure. The angular deflection of the recording pen across the standard chart is 23° or 26 1/2°. Consequently, most Bristol thermometers are built with little or no multiplication of the element deflection.

### SECONDARY MECHANISMS.

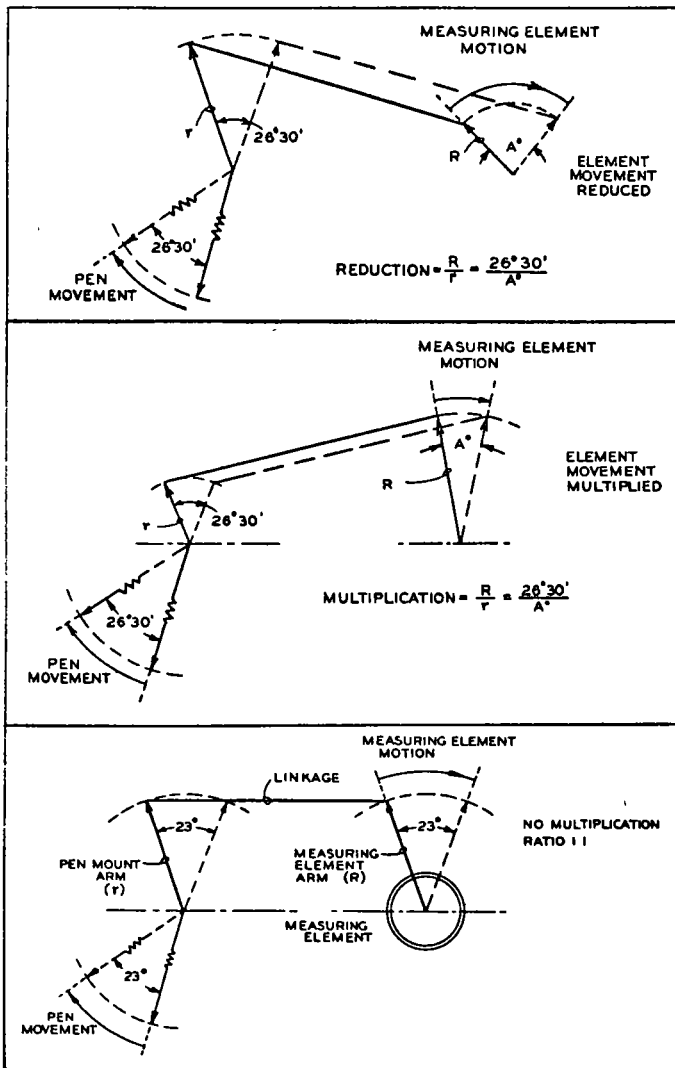
The secondary mechanisms of a filled-system thermometer are those parts which use the motion of the measuring element for some useful function. In the early days, the only secondary mechanisms were pointers or recording pens which indicated values of the measured variable on visual scales or charts. In response to industrial trends, thermometers were developed to perform a variety of functions in addition to indicating or recording. The common secondary mechanisms of today include connecting linkages, indicating pointers, recording pens, alarms, controlling and telemetering devices.

Secondary mechanisms must take very little power to operate: this is a basic requirement. However, no matter how well designed or how carefully made the secondary mechanism is, the overall performance of a thermometer can never exceed the accuracy and limitations of its measuring system.

Secondary mechanisms contain mass and friction; they must of necessity reduce efficiency of the thermometer. Modern design and new materials have reduced these loads on the measuring element to a minimum.

The power needed to drive modern secondary mechanisms is normally only a fraction of 1% of the power available in the measuring element. Nevertheless, in specifying secondary mechanisms, it must be considered that each additional mechanism further decreases the over-all accuracy. If accurate measurement is the prime object, secondary mechanisms other than the recording pen should not be used.

This does not mean that multi-function thermometers are impractical: they are very practical---often essential. However, the same high accuracy will not be achieved by multi-function meters as will be produced by single-function ones. Even though friction is minute by ordinary standards, it will cause efficiency to be less than 100%.



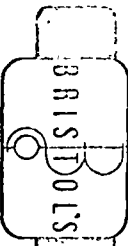
\*FIGURE 12. (S.P.DWGS. 5846, 5847 & 5848). DIAGRAMS OF SIMPLE LINKAGE SYSTEM AS USED IN FILLED-SYSTEM THERMOMETERS. SHOWS HOW MULTIPLICATION OF MOTION IS PRODUCED.

**Linkages.** The linkage system is that part of the thermometer by which the measuring element actuates other secondary mechanisms. The linkage system must be designed to impose as little load as possible on the measuring element. It must be light in weight, yet strong enough to resist bending. Its bearings must have very little friction---but not be so loose as to permit lost motion. Finally, it must be constructed of material which will resist corrosion and wear under the conditions of use.

Figure 12 illustrates a simple linkage system, consisting of two levers. The driving lever is attached to the measuring element and connected to the driven lever by a link. The lengths of the arms and links are usually adjustable so that the motion required by the secondary mechanism can be produced conveniently and accurately. For many years, Bristol thermometers were made with the pen arms mounted directly on the measuring elements, without any linkage. The element had to be deflected thru the exact angle which was required by the secondary mechanism. Thus, each measuring element was limited to a single range and a single function and had to be custom-made for each thermometer. As the art of instrument making progressed, the measuring element was required to actuate other mechanisms in addition to pointers and pens. Also, the demand for a wider selection of ranges, and simple, convenient means for calibration, led to the universal use of linkage system.

The early objections to the friction and lost motion in linkage systems have been overcome by new materials and advanced engineering. Incidentally, modern linkage systems have improved the accuracy of thermometers. The quality and economy of production thermometers have been improved to keep pace with the increasing scope of applications.

\*Changed in December 1962 issue



Product Data

Issued March 1965 by the Application Engineering Dept.

T800.4-4

COMPARISON - BRISTOL THERMOMETERS

FILLED SYSTEM THERMOMETERS  
Calibration Error Tolerance  $\pm 0.5\%$

CLASS	RANGE LIMITS	SPAN LIMITS		AMBIENT TEMPERATURE COMPENSATION (3)	90% RESPONSE TIME (2)	MAXIMUM CAPILLARY LENGTH (3)	BULB SIZES	
		MINIMUM (1)	MAXIMUM				DIAMETER	SENSITIVE LENGTH
LIQUID	1A	-175 to +200°F.	250°F.	375°F.	8-10 Sec.	140Ft.	3/8"	1.1" to 3.6"
		-125 to +350°F.	200°F.	475°F.				
		0 to +500°F.	50°F.	500°F.				
	1B	Ditto	Ditto	Ditto		10Ft.		
VAPOR	2A	100°F to 500°F.	100°F.	200°F	5-6 Sec.	150Ft.	3/8"	4"
							9/16"	2"
GAS	3B	-350 to 0°F.	350°F.	1000°F.	6-12 Sec.	1-25Ft.	9/16"	8"
		-300 to +400°F.	200°F.		13-29 Sec.	26-85Ft.	7/8"	6.5"
		Above 400°F.	400°F.		30-40 Sec.	86-130Ft.	7/8"	10"
MERCURY	5A	-30 to +1200°F.	60°F. (4)	1200°F.	5-8 Sec.	100Ft.	9/16"	2.7" to 6.0"
	5B	-30 to +500°F	60°F. (4)	500°F.	5-8 Sec.	30Ft.	3/8" and 9/16"	1.8" and 4.0"

(1) Minimum span depends on minimum bulb temperature, maximum ambient temperature, and capillary length.  
 (2) Plain bulb in agitated water.  
 (3)  $\pm 25^\circ\text{F}$  ambient temperature change for  $\pm 0.5\%$  error tolerance.  
 (4) See Product Data T805-2 for span limitations.

The above table provides a quick comparison of standard thermometer systems as manufactured by The Bristol Company. Only basic specifications are given in order to avoid undue complexity. For a detailed discussion on each of the thermometer systems, refer to the following Product Data sheets:

- Class 1A & B ----- T801-4
- Class 2A ----- T802-2
- Class 3B ----- T803-2
- Class 5A & B ----- T805-2



## CLASS 1, LIQUID FILLED THERMOMETER SYSTEMS

There are two types of Liquid-Filled Thermometer Systems available, Class 1A - "Fully-compensated", and Class 1B - "Case-compensated".

Class 1A Systems are designed to correct the recorded temperature for wide changes in ambient temperature along the capillary tubing and at the pressure element. Thus, a Class 1A System may be used for applications requiring relatively long lengths of tubing and having wide temperature variations along the tubing.

Class 1B Systems are designed for applications requiring 10 feet or less of capillary tubing which will not be subjected to more than  $\pm 25^{\circ}\text{F}$  change from the ambient temperature at which the system is calibrated.

In specifying a Class 1A Thermometer System, it is essential to state both the normal operating range and the span of ambient temperature changes that the system may experience in service.

It is necessary to specify the normal operating range so that the system will be compensated for maximum accuracy within its operating range, otherwise, the system will be compensated for maximum accuracy at mid-chart range. The ambient temperature must be specified to determine the maximum capillary length that may be used.

Bristol's Liquid-Filled Systems are protected for temperature changes along the tubing between  $0^{\circ}\text{F}$  and  $100^{\circ}\text{F}$ . This is necessary to protect the systems from damage during shipment; or when they are out of service and may be subjected to extreme atmospheric temperatures. The minimum range span that may be specified is therefore governed by these atmospheric temperature limits. The lower range temperature may not exceed 50% of the span above  $0^{\circ}\text{F}$ . The upper range temperature may not be less than 50% of the measured span below  $100^{\circ}\text{F}$ .

For example, a  $60^{\circ}\text{F}$  span may be specified to measure a range of  $+30^{\circ}$  to  $90^{\circ}\text{F}$  or  $+10^{\circ}$  to  $70^{\circ}\text{F}$ . A  $150^{\circ}\text{F}$  span for a range  $+75^{\circ}$  to  $225^{\circ}\text{F}$  or  $-125^{\circ}$  to  $+25^{\circ}\text{F}$ , or any  $150^{\circ}\text{F}$  range span between  $-125^{\circ}\text{F}$  and  $+225^{\circ}\text{F}$ . Likewise, a  $300^{\circ}\text{F}$  span for range of  $+150^{\circ}\text{F}$  to  $450^{\circ}\text{F}$ , or  $-175^{\circ}\text{F}$  to  $+125^{\circ}\text{F}$ , or any  $300^{\circ}\text{F}$  range span between  $-175^{\circ}\text{F}$  and  $+450^{\circ}\text{F}$ .

The upper and lower range limits stated are for standard design conditions. Higher and lower range limits are possible for some applications provided that shorter ambient temperature span compensation and short capillary lengths (less than 30 feet) can be tolerated, and little or no overrange and underrange protection is required. Complete details of such applications should be referred to The Product Marketing Dept., Waterbury, Conn. for recommendations.

The maximum span that may be specified and the filling liquid used, depends on the range as shown in Table 1.

Filling Liquids	Within Ranges	Max. Span
Alcohol	$-175$ to $+200^{\circ}\text{F}$	$375^{\circ}\text{F}$
Ethyl Benzene	$-125$ to $+350^{\circ}\text{F}$	$475^{\circ}\text{F}$
Tetralin	$0$ to $500^{\circ}\text{F}$	$500^{\circ}\text{F}$

Table 1

The maximum capillary length that may be used for a Class 1A System is a function of the overrange protection required and the ambient temperature range. See Table 2.

MAXIMUM CAPILLARY LENGTHS (Feet)				
Overrange % of Span	Ambient Temperature Ranges			
	$0-120^{\circ}\text{F}$	$20-120^{\circ}\text{F}$	$40-110^{\circ}\text{F}$	$50-100^{\circ}\text{F}$
Zero	47 feet	60 feet	92 feet	140 feet
25%	40 feet	50 feet	77 feet	112 feet
50%	30 feet	37 feet	60 feet	90 feet

Table 2

As shown in Table 2, a standard Class 1A System may be specified to withstand overrange temperatures up to 50% of the span. However, such systems require special linkage to protect the recording system from damage. This linkage must also be provided if the system will be subjected to underrange temperatures. It is therefore necessary to specify both overrange and underrange conditions so that proper protection will be provided.

Standard Class 1 System bulbs are  $3/8''$  O.D. copper or 316 Stainless Steel. Bulb length depends on the measured temperature span, as indicated in Tables 4 and 5. Where high sensitivity and speed of response are important factors,  $3/4''$  O.D. copper or Type 316 Stainless Steel, rigid coiled bulbs are offered, particularly for gas applications. For improved response of a system with a  $3/8''$  O.D. bulb, a special bulb can be furnished with copper inserts. This special bulb design is effective for applications where the bare bulb is exposed to good heat transfer media, such as water. The improvement in response time is insignificant when used for gas applications or when the bulb is inserted into a well. Refer to Table 3.

90% RESPONSE TIME CLASS I SYSTEMS				
Medium	Coiled Bulbs	Plain Bulb	Bulbs With Inserts	Bulb In Well
Water	2.5-3.5 sec.	18-30 sec.	8-20 sec.	5-10 min.
Air (250-850 cfm.)	3-5 min.	13-16 min.	7-12 min.	14-23 min.

Table 3

BULB SENSITIVE LENGTHS		
Plain Bulb		Coiled Bulb
Range Span °F	"X" Inches	"X" Inches
400-500	0.80	0.80
270-399	1.00	1.00
185-269	1.30	1.20
125-184	1.70	1.70
80-124	2.50	2.60
50-79	3.80	4.20

Table 4. 500 & 530 Recorders.

Range Span °F	Plain Bulb	Coiled Bulb
400-500	1.00	1.00
270-399	1.50	1.70
185-269	2.00	2.50
125-184	2.90	3.60
80-124	4.30	5.70
50-79	6.60	9.20

Table 5. 177B & 180B Electric Controllers

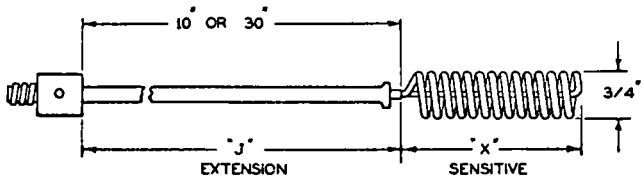


Figure 1. (S.P.D. 6649) Coiled Bulb.

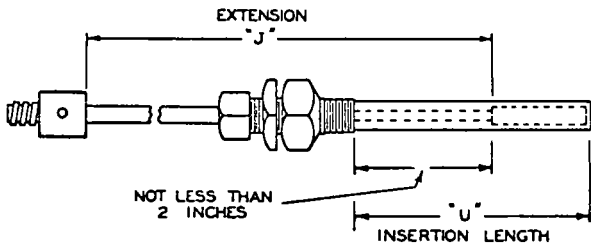


Figure 2. (S.P.D. 6650) Bulb in Thermo-Well.

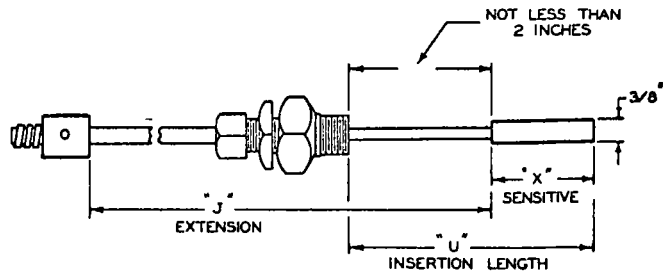


Figure 3. (S.P.D. 6651) Plain Bulb with Union Fitting.

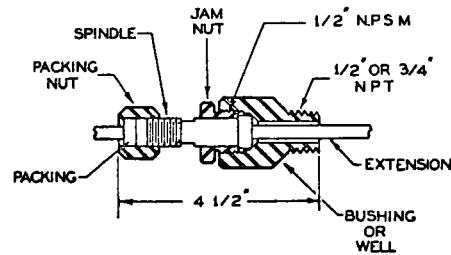


Figure 4. (S.P.D. 6652) Union Fitting.

The extension is an integral part of the bulb. It is a length of 1/4 inch O.D. bendable nickel-alloy or stainless steel tubing and serves two primary purposes:

1. To permit complete immersion of the sensitive portion of the bulb in the measured medium.
2. To minimize heat conduction between the sensitive portion of the bulb and the rest of the system. Standard lengths are 10 inches and 30 inches. Other lengths can be furnished for special applications.

When specified, the bulb can be furnished with a union connection fitting consisting of a packing gland, jam nut, and bushing with 1/2 or 3/4 inch male pipe thread for part of the bulb assembly, but is adjustable along the extension to provide a pressure tight means of securely mounting the bulb with the sensitive portion properly immersed in the measured fluid. The fitting should not be positioned less than 2 inches from the sensitive section.

When a well is used, the well length ("U" dimension) should be at least 2 inches plus the sensitive length of the bulb ("X" dimension) and preferably 2-1/2 to 3 inches, to insure proper bulb immersion and minimize conduction errors.

UNCONTROLLED

TEMPERATURE

EXHAUSTIVE LISTING

T801-6

### STANDARD CLASS 1 THERMAL SYSTEM LIMITATIONS

Many limiting factors affect the operation of Class 1 thermal systems. Specifically, these factors are the range and the span, the ambient temperatures at the element and along the capillary during operation, the ambient temperatures of the entire system during shipment and storage, the capillary tubing length, the overrange required, and the filling medium required.

**PROTECTION DURING SHIPPING AND STORAGE.** A Class 1 system must be protected for ambient temperatures from 0° to 100°F during shipping and storage. If the maximum range temperature of a system is below 100°F, the difference between the maximum range temperature and 100°F must be considered as overrange. This also applies to underrange if the minimum range temperature is above 0°F. *Example:* If a range span of 50°F is required, 25°F would be the 50% allowable overrange or underrange protection. To protect this span for 0°F to 100°F, the range must be 25°F to 75°F.

**DETERMINING A STANDARD SYSTEM.** The procedure is given in the following steps:

- (1) Select the ambient temperature range to which the system will be subjected during use.
- (2) Calculate the range span (max. range minus min. range).
- (3) Select the required overrange, if any. The maximum overrange or underrange allowable is 50% of the measured range span.
- (4) Guided by steps No. 1 and No. 3 above, check that the capillary tubing is within the length specified in Table 1.
- (5) Check Figure 1, and if the required range limits fall within the boundaries defined by the curves in Figure 1, the system is permissible as a standard Class 1 system. *Note.* The maximum and minimum range limits of a particular filling medium must be observed when referring to Figure 1. For instance, the maximum range of ethyl benzene cannot be combined with the minimum range for ethyl alcohol.

A suggested way of using the graph is to first locate the permissible temperature span at the bottom. Then run a line vertically up until it intersects with the "Maximum Range Temperature Allowable" curve. This will establish the maximum standard range for the proposed system.

To establish the minimum range of the system, extend the same vertical line downward until it intersects with the appropriate Group A, B, or C curve, as determined from Table 1. The intersection point establishes the minimum allowable range limit for the required system.

**EXAMPLES.** The following two examples will serve to illustrate the procedure described in the above steps.

*Example 1.* Assume that a particular application requires a range of 50°F to 150°F, and 60 feet of capillary. The ambient temperature during use will be from 40° to 110°F, and an overrange to 200°F is expected.

a. With the measured span of 100°F, and an overrange of 50%, the overrange factor is 50%, and the capillary length group C must be used as shown in Table 1. For an ambient temperature range of 40°-110°F, and an overrange factor of 50%, a capillary length of 60 feet is permissible.

b. Checking Figure 1 will show that for a temperature span of 100°F, the maximum allowable range temperature could be as high as 150°F, and the minimum range temperature could be as low as -50°F. The proposed system thus falls within the allowable limits of a standard Class 1 thermal system.

*Example 2.* A range of -50°F to +50°F is required, and the system is to have 45 feet of capillary. Ambient temperature acting on the tubing and element is expected to reach 0°F in winter and +100°F in summer.

a. Because of the ambient temperature exposure during shipping and storage, the system must be protected to 100°F. This is a 50% overrange. Checking

Capillary Length Group	Typical Range Span Overrange Factor	Typical Ambient Temperature Ranges			
		0°-120°F	20°-120°F	40°-110°F	50°-100°F
Capillary Length in Feet					
A	0%	47	60	92	140
B	25%	40	50	77	112
C	50%	30	37	60	90

Table 1. Maximum Permissible Capillary Lengths for Class 1A Systems. (For Class 1B, Maximum Length is 10 Feet.)

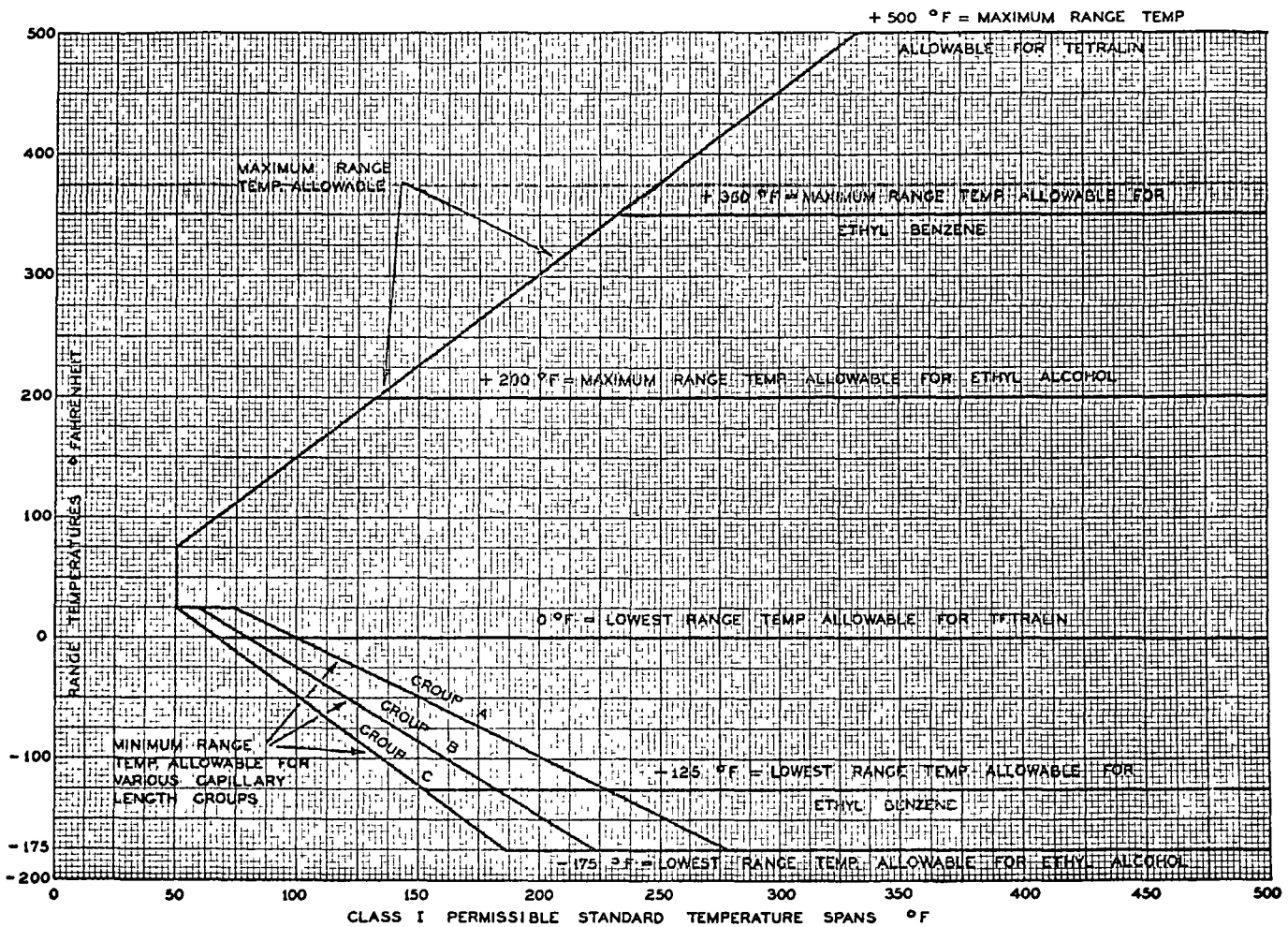


Figure 1. (S.P D. 6490) Permissible Minimum and Maximum Range Limits for Class 1 Systems.

Table 1, it is found that an overrange of 50%, and a 0°-100°F ambient span will permit a maximum capillary length of only 30 feet. Therefore, the required capillary length of 45 feet is not permissible, and the system cannot be manufactured as standard. One or more of the variables would have to be changed to bring this system within the allowable limits.

it will be determined whether such a system is feasible. Inquiries should supply the following information:

1. Measured range span required.
2. Capillary length required.
3. Ambient temperature range that the system may be subjected to during operation.
4. Calibrated error tolerance required.
5. Limitations on bulb size, if any.
6. Normal operating range of the meter.

**SPECIAL SYSTEMS.** The limitations described above are for *standard* Class 1 systems. In many instances, where one or more of these limitations must be exceeded, it is possible to furnish a special system to suit the requirements. However, complete details of such special requirements must be referred to the Product Marketing Department, where

Revised July 1964 by the Application Engineering Dept.

## CLASS 2A VAPOR-PRESSURE THERMOMETERS

The Bristol Class 2 thermometer uses a volatile liquid, the vapor pressure of which actuates the thermometer. Class 2A thermometer systems are standard for those applications where the bulb temperature is always above ambient temperature.

### CHARACTERISTICS OF CLASS 2 THERMOMETERS.

The chief characteristics of Class 2 thermometers are:

1. Non-uniform (expanding) scale.
2. Not affected by ambient temperature within the operating range of the meter.
3. 90% speed of response: 4 to 9 seconds with bulb in moving liquid.
4. Better torque characteristics than other classes of systems.
5. Temperature range: between 100°F and 600°F (38° and 316°C).
6. Minimum temperature span: 100°F (38°C).
7. Maximum usable temperature span: 200°F (94°C).
8. Relatively small bulb.
9. Elevation of bulb with respect to case must be considered in calibration.

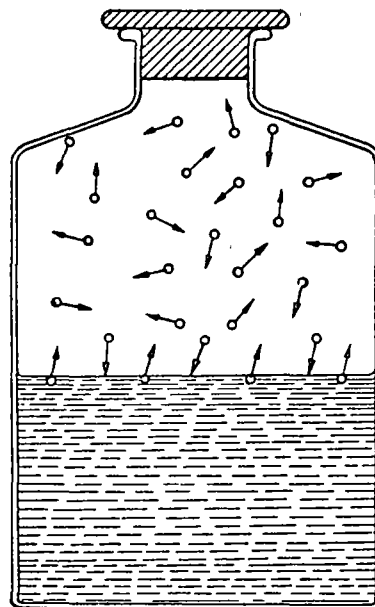


FIGURE 1. (S.P.DWG.#5823) VESSEL CONTAINING LIQUID AND VAPOR.

### PRINCIPLE OF OPERATION

**VAPOR PRESSURE.** Vapor pressure is the pressure exerted by a vapor existing at equilibrium with its liquid.

Figure 1 illustrates this point. In a closed container that is partly filled with a volatile liquid, the molecules are vibrating rapidly. Some molecules break through the surface of the liquid into the space above. This space becomes saturated with molecules from the liquid; also, some of the molecules in the vapor space pass back into the liquid. When the vapor space is saturated, there are as many molecules passing back into the liquid as there are passing out of it. This condition is called "equilibrium".

The number of molecules in the vapor space at equilibrium depends on the temperature at the surface of the liquid (the interface). As the interface temperature goes

up, the velocities of the molecules increase. More molecules leave the liquid adding to the number already in the vapor space until a new equilibrium is reached. On the other hand, as the temperature at the interface drops, fewer molecules leave and more molecules return to the liquid, until a new equilibrium is reached.

In the vapor space, rapidly-moving molecules collide with the walls of the container, thus creating a pressure. The more molecules there are in the vapor space, the higher the vapor pressure. Since the number of molecules in the vapor space depends on the temperature at the interface, the pressure in the vapor space also depends on the temperature at the interface. This is the basic principle used in Class 2 thermometers.

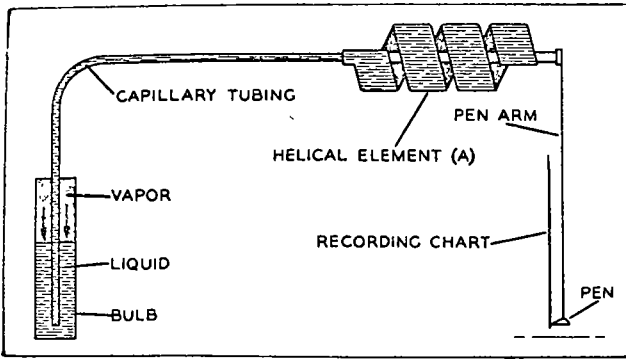


FIGURE 2. (S.P.DWG.#3659) VAPOR-PRESSURE THERMOMETER SYSTEM.

**HOW A CLASS 2 THERMOMETER WORKS.** Figure 2 is a simplified sketch of the basic parts of a Class 2 pressure system. The system consists of a bulb partially-filled with a volatile liquid. The bulb is connected by a fine-bore tubing (capillary) to the pressure-measuring element, which is a helically-wound spring-metal tube closed at its free end. The whole system is completely sealed.

The bulb is the "temperature-sensitive" part of the system; it is placed at the point where the temperature is to be measured. Like the closed container of Figure 1, the bulb is partly filled with a volatile liquid and has a vapor space above the liquid. As the temperature at the interface changes, the vapor pressure also changes.

The vapor pressure is transmitted through the tubing to the pressure element. As the pressure increases, the free end of the element unwinds slightly. As the pressure decreases, the free end of the element rewinds slightly. This motion positions a pointer or pen on a graduated scale thereby indicating the temperature at the bulb.

**Class 2 Thermometers Like a Steam Plant.** A Class 2 thermometer system can be likened to a miniature steam plant. The bulb acts like a boiler. The steam pressure depends on the temperature in the boiler; the hotter the fire, the higher the steam pressure. In other words, the steam pressure depends only on the temperature in the boiler and is independent of the relative volume of water and vapor space.

The pressure element of the Class 2 thermometer acts just like a steam-pressure gauge at the end of a steam main. It is known that the steam-pressure gauge-reading will go up or down as the temperature in the boiler increases or decreases. The Class 2 thermometer works in exactly

the same way, except that its scale is calibrated in degrees of temperature instead of pounds pressure.

### CHARACTERISTICS OF CLASS 2 SYSTEMS

The liquid in a standard Class 2 system will always go to the coolest portion of the system. When the bulb temperature is higher than the case and capillary temperatures (Class 2A), the measuring element and the capillary tubing are filled with liquid, which acts as a transmitting medium for the vapor pressure existing in the bulb.

On the other hand, when the bulb temperature is lower than the temperature in any other part of the system, all the liquid will be in the bulb with vapor in the tubing and the measuring element.

However, in both cases, the interface is always in the bulb.

Thus a Class 2A system is not satisfactory for cross-ambient-temperature measurements:

1. At temperatures near ambient, the liquid may be either in the bulb or the tubing.
2. After the bulb temperature has crossed the ambient and the liquid has found its proper location, the correction for bulb elevation incorporated in the original calibration must be withdrawn. This correction must be made by resetting pen at the initial chart temperature (zero correction).

**BULB ELEVATIONS.** Pressure existing at the pressure element is the algebraic sum of the vapor pressure at the bulb and the head pressure due to the column of liquid in the capillary tubing. If the pressure element is at the same level as the bulb, the head-pressure factor is zero. But if the bulb is at some different elevation than the pressure element, then the head-pressure factor must be taken into consideration. This factor will be constant and can be corrected for by a linear adjustment at the pressure element. A difference in bulb elevation of  $\pm 10$  feet will usually make 1/16 to 1/8 inch difference in the instrument scale-reading.

For bulb elevations greater than  $\pm 10$  feet, specify the exact elevation. This can be taken into consideration when calibrating the system.

## CONSTRUCTION AND MATERIALS FOR CLASS 2 SYSTEMS

**FILLING LIQUIDS USED.** Standard Bristol Class 2 thermometer systems normally use one of the following liquids, depending on the maximum temperature to be measured:

Propane	Ethyl ether
Sulfur dioxide	Ethyl alcohol
Isobutane	Hexane
Butane	M-xylene

**Why Class 2 Thermometers have Expanding Scales.** Figure 3 shows the vapor pressure that commonly-used filling-liquids exert at temperatures between +100°F and +600°F. Note the graphs are non-linear. At low temperatures, the vapor pressure changes much less per degree than it does at high temperatures. Therefore, the temperature graduations at the low end of the Class 2 scale or chart will be closer together than the graduations at its upper end. (See Figure 4 which illustrates two typical chart-sections.) Consequently, if accurate measurement is required in the lower 1/3 of the chart range, one of the other classes of systems should be considered.

This non-uniform scale is frequently a unique advantage. It makes the Class 2 thermometer ideal for high-accuracy measurement of partial temperature-ranges.

**When and How to use Class 2.** Figure 3 shows that the liquid used for a particular Class 2 system depends on the temperature span it will measure. A portion of each curve, except water, is a solid line. The curve for water is given as a reference for the other curves, and is shown

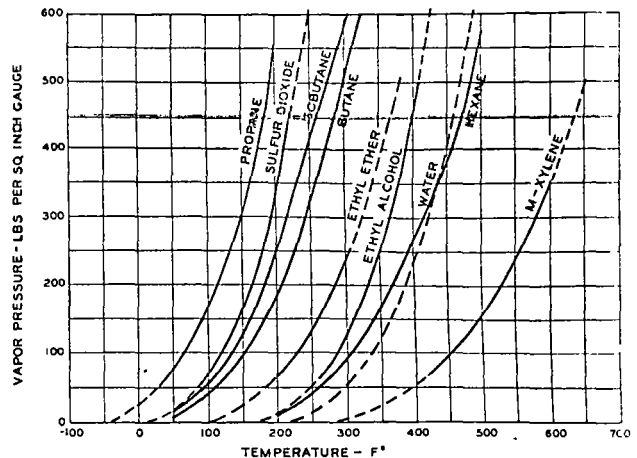


FIGURE 3. (S.P.DWG.#4303A) VAPOR-PRESSURE VERSUS TEMPERATURE CURVES FOR VARIOUS LIQUIDS.

in a broken line because water is seldom used as a filling fluid. Water, being an excellent solvent, readily picks up impurities. Slight concentrations of such impurities can cause the temperature-pressure relationship to change enough to make water vapor unreliable for temperature-measurement purposes.

The solid portion of these curves indicates the range span through which accurate measurement of temperature can be expected. Below the solid portion of the curve, the temperature scale becomes too condensed for accurate reading, and in the case of propane and sulfur dioxide passes through the normal ambient temperature (70°F). So for all practical purposes, Class 2 thermometers are partial-range instruments.

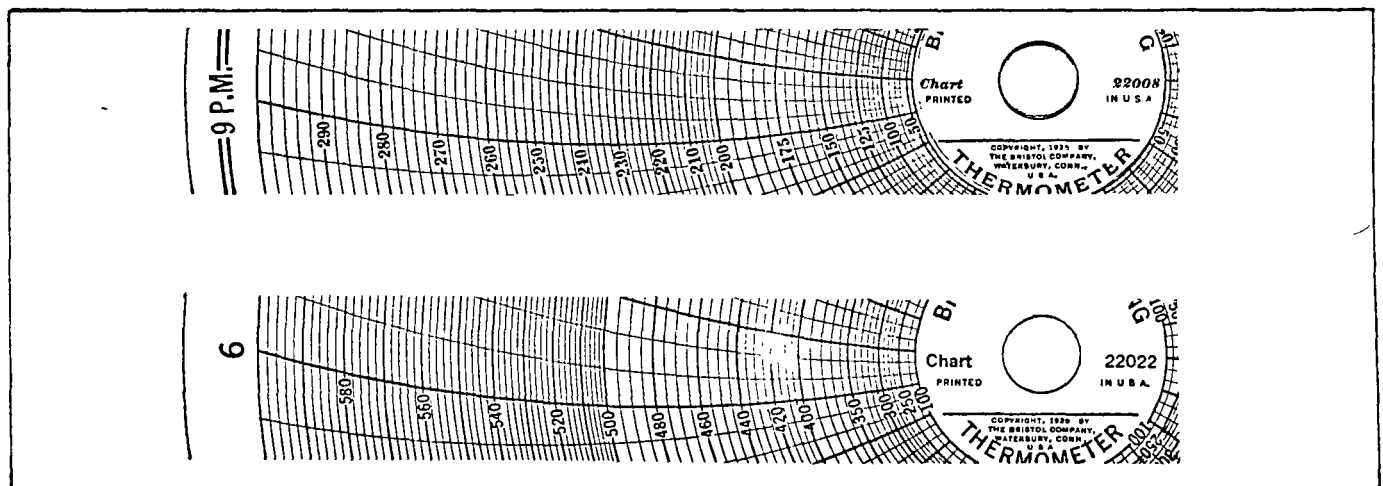


FIGURE 4. (S.P.DWG.#4304) FULL-SIZE 12-INCH CHART SAMPLES.

For example: if the maximum temperature is 200°F, propane might be used; if 600°F, m-xylene. But note that in both cases the practical measuring range is only a part of the total; that is, approximately 30-200°F for the propane system and approximately 420-600°F for the m-xylene system.

In specifying a chart range, the chart selected must be a readable measurement of the span desired. For instance: an application requiring precise measurement over a span of 30-300°F might be better accomplished with a Class 1 or Class 5 system. For, with a vapor pressure system (see ethyl-ether curve, Figure 3), the practical measuring span would be from 200-300°F.

If Chart 22008 (range +30 to +300°F) were to be specified, the first 200 degrees would be recorded on the bottom third of the chart, and the span between 200 and 300°F on the remaining 2/3 of the chart. This is fine, if the actual working range of the meter will be between 200°F and 300°F, and the measurement of any temperatures below 200°F will be only of incidental interest. In such instances, Chart 22008 with a Class 2 system would not only be advisable but highly desirable, because the scale would be wide open in the working range.

On the other hand, if it is mandatory to accurately meter any temperature between 30°F and 300°F, a Class 1, or Class 5 system would be more advisable.

Class 2A thermometers are inherently inaccurate at and within 10°F of ambient temperature. At low temperatures (as illustrated in Figure 3), the pressure change per unit of temperature is comparatively small. So, a scale designed to read temperature is constricted at the lower end, to a point where it is impossible to read it with good precision. For example (see sample of Chart 22008): you can read the upper 2/3 of the scale to the nearest degree without trouble. But, as you go downscale, graduations contract until at the lower end it is hard to read even to the nearest five degrees.

On first glance, this exponential spacing of the scale-graduations appears to be a disadvantage. However, few applications need accurate readability over the whole range. On the contrary, most uses need accurate measuring over a comparatively short span of temperature changes, generally between 50% and 90% of the maximum. Thus, the expanded scale-graduations give

much better readability over the working range of the thermometer than is given by any other class of thermometer having the same temperature span.

**CLASS 2 MEASURING ELEMENTS.** All Bristol Class 2 thermometers use pressure elements made with helically-wound, trumpet-metal tube (see Figure 2). While these elements all look alike, there are actually six pressure ranges; 0 to 100 psi, 0 to 150, 0 to 225, 0 to 350, 0 to 500 psi, and 825 psi. From Figure 3 you will see that these ranges can measure the vapor pressure of any of the filling-liquids.

Selection of the pressure range for a Class 2 thermometer depends on two things:

1. The maximum bulb-temperature.
2. The filling-liquid used.

**Standard Overrange Protection.** All Class 2 pressure elements will withstand at least 40% over-pressure without affecting their accuracy. The overrange temperature that a given element can withstand safely depends on the filling-liquid used.

For example, a system measuring a range up to 300°F would use ethyl ether for the filling-liquid and a 225-psi pressure element (see Figure 3). The element can withstand at least 40% over-pressure safely; or go to  $225 \times 1.4 = 315$  psi, without damage. Looking at the ethyl-ether graph, it can be seen that 315 psi corresponds to 330°F. So this thermometer can withstand only 30°F over-temperature. In other words, only a 10% overrange temperature will produce the maximum safe vapor-pressure.

As another example, assume a range with a maximum chart-temperature of 600°F. The system would be filled with m-xylene and use a 350 psi element.  $1.4 \times 350$  psi = 490 psi. This corresponds to a temperature of 645°F. Therefore, this system will take only 7-1/2% overrange temperature without damage.

**Special Overrange Protection.** In standard Class 2 thermometers, while the pressure elements will all withstand 8% to 10% overrange temperature, protection normally is not provided against damage to the linkage, pen, or other parts due to overtravel.

When it is known that a Class 2 thermometer bulb will be subject under any conditions to overrange temperatures, specify the overrange temperature.

An overrange stop and spring link will then be furnished. These safety measures will protect pen, pointer, links and control or telemeter devices from damage due to over-travel.

Steepness of the curves in Figure 3 show that it is absolutely necessary to specify overrange protection on Class 2 thermometers whenever any overrange temperature can occur. Even small percentages of over-temperature cause great increase in vapor-pressure and element motion.

**Class 2 System Bulbs.** Construction is either of copper or Type 316 stainless steel. All standard straight-form or coiled-form bulbs are furnished either plain or with union connection fittings, as specified.

Two standard plain bulb sizes are offered; 3/8" O.D. x 4.0" sensitive length, and 9/16" O.D. x 2.0". Rigid coil bulbs, 3/4" O.D. x 4.0" are also available in either stainless steel or copper construction.

**Capillary Tubing.** The maximum length of capillary tubing that can be specified is a function of the filling liquid, maximum bulb temperature, ambient temperature span, and bulb volume as well as capillary volume. Under any condition of operation, the bulb must always contain some liquid. Capillary lengths longer than 100 feet are not recommended for standard Class 2A systems. Where lengths in excess of 100 feet are required, the systems will normally be of a special design to meet the specified conditions.





# CLASS 3 GAS-FILLED THERMOMETERS

### PRINCIPLES, AMBIENT-TEMPERATURE COMPENSATION, THERMOMETRIC GASES, RANGES, MEASURING-ELEMENTS, BULBS, CAPILLARY TUBING.

**DEFINITION.** Filled-system thermometers are usually divided into three classes, depending on the kind of filling fluid, and the way in which its expansion is employed. Bristol Class 3 Thermometers are gas-filled. (Class 1 Thermometers are liquid-filled, Class 2 Thermometers are vapor-actuated.)

**CHARACTERISTICS OF CLASS 3 THERMOMETERS.** The chief characteristics of Class 3 Thermometers are:

- 1. Uniformly-graduated scale.
- 2. Larger bulb than Class 1 or 2.

- 3. Temperature range between -125°F and +1000°F (-87 and +540°C). Usually specified for applications where maximum temperature is 500°F or more.
- 4. Minimum recommended temperature-span, 200°F (110°C). Class 1 or 2 is usually better for short spans or partial ranges.
- 5. Response-time slightly better than for Class 1.
- 6. Bulb elevation does not affect reading.

## PRINCIPLE OF OPERATION CLASS 3 THERMOMETERS

A Class 3 Thermometer consists of a sealed gas-filled system, comprising a temperature-sensitive bulb, a capillary connecting tube, and an elastic, pressure-measuring-element.

The system measures temperature as a function of pressure, in accordance with "Charles' Law": if the volume of a given weight of gas is kept constant, the absolute pressure will vary directly as the absolute temperature. Expressed mathematically:  $PV = RT$  or  $P_1/P_2 = T_1/T_2$ , where R is a constant;  $P_1$  and  $P_2$  are the initial and final absolute pressures; and  $T_1$  and  $T_2$ , the initial and final absolute temperatures.

At constant volume, the absolute pressure of a given quantity of a given gas changes about 1/460 for each change of 1°F in temperature.

No gas or mixture of gases follows this pressure-temperature relationship exactly, because Charles' Law implies a perfect gas. However, the magnitude of the departure of known gases from the ideal scale is too slight to be considered in

industrial thermometer applications. A nitrogen system, for example, at 1000°F actual temperature would indicate a temperature of 999.75°F. At lower temperatures, the departure will be proportionately less.

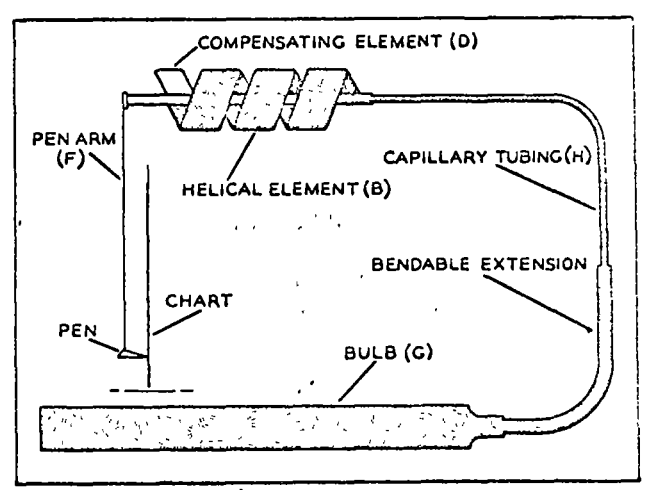


FIGURE 1. CLASS 3B GAS-FILLED THERMOMETER SYSTEM

## HOW A CLASS 3 THERMOMETER WORKS

Figure 1 is a simplified sketch of a Class 3 System. The system is filled with gas under pressure. When the temperature increases at the bulb, the pressure in-

creases in the system causing the helical element to unwind slightly. This motion positions the pen or pointer on a chart or scale graduated in temperature degrees.

### AMBIENT - TEMPERATURE COMPENSATION

Temperature changes at the helical element or along the tubing will also affect the pressure in the system. These ambient-temperature errors in a gas-filled system are smaller than in a liquid-filled system, but must nevertheless be considered in designing and specifying a Class 3 System.

Temperature changes around the measuring element have two effects: first, the volume of the measuring element is changed, and, second, the elastic modulus of the element changes with temperature.

Because the volume of the measuring element is less than 1% of the bulb-volume (0.44 cc versus 50 cc), this error, due to volume change in systems designed to meter spans of 300°F or more, is insignificant. Also, except in unusual applications, case temperatures seldom vary more than ±50°F. For this change, the volume error incurred is less than 0.2%.

However, a change of 50°F in ambient temperature will cause the elastic modulus to change slightly more than 1%, which, when translated into pressure, would result (if uncompensated) in a maximum meter-error of 4% for a measured span of 200°F. This error decreases proportionately as the measured span increases.

Fortunately, both of these errors can be minimized by inserting a bimetallic compensating-strip between the element and the pen. This strip is designed so that its motion is equal, but opposite in direction, to the motion of the measuring-element caused by ambient-temperature changes.

This compensation is perfect for only one temperature ( $T_b$ ) of the bulb. Therefore, the error will increase as the bulb temperature departs from  $T_b$ . However, by properly designing the compensator and the calibrating system at mid-scale, the errors at the extremes will be less than ±1% for 100°F ambient change.

Thermometers with this kind of compensation are called, "Class 3B" or "Case-Compensated Class 3".

Errors due to ambient-changes along the capillary will depend on the volume of the capillary relative to the bulb-volume and the temperature range. To keep this error within 1/2% of full scale for 50°F ambient-temperature changes, only 50 feet of standard capillary can be used for a 200°F measured range. For 1000°F span, 200 feet may be used.

Obviously, increased lengths of capillary may be specified by using smaller-diameter capillary. The permissible length increases in direct proportion to the decrease in cross-section area. See Page (6) for method of computing maximum length.

However, the use of extremely small capillary tubing gives rise to practical difficulties, such as plugging and retarded response, so that it should not be specified without careful consideration of all the factors involved.

For long lengths of capillary, where the ambient-temperature errors become excessive, or for normal capillary lengths where a bulb smaller than the standard length is necessary, it is possible to use a dual capillary system. This is similar to the fully-compensated Class 1 System. It consists of two measuring-elements of opposite rotation and two identical lengths of capillary side by side. While this scheme does not provide perfect compensation over 100% of the bulb range, it is adequate for most industrial applications.

Such systems are called "Class 3A" or "Fully-Compensated Class 3" or "Small-Bulb Class 3". They are seldom used, except for special applications, because a Class 3A System produces only 50% of the torque of the standard system (Class 3B). Therefore, it must be used with discretion and should never be specified

for spans less than 300°F. For most applications, where a Class 3A might be used, a Liquid-Filled Fully-Compensated

Class 1A, or Vapor-Pressure Class 2DL System will generally prove more satisfactory.

### THERMOMETRIC GASES

Hydrogen, helium, air, carbon dioxide, oxygen, and nitrogen have all been used as filling mediums for thermometer systems.

However, except for special applications, pure nitrogen is usually employed, because it is:

1. Chemically inert, and will not react under ordinary conditions with metals or other chemicals.
2. Non-toxic and non-inflammable. In case of leakage, it is harmless.
3. Economical for commercial use.

### TEMPERATURE RANGES

A perfect gas could theoretically measure temperatures down to absolute zero (-459.69°F). However, all the known gases condense at a critical temperature considerably above absolute zero (nitrogen, -232.8°F; hydrogen, -399.8°F). So the practical lower limit of a Class 3 Thermometer is some temperature above the critical.

Gas-filled systems can be furnished for measuring temperatures as low as -125°F and as high as +1000°F. Ranges extending below -60°F and above 800°F, however, require special calibrating equipment, and are more difficult to calibrate, consequently, such ranges usually entail an extra calibrating charge.

The measurement of temperatures above 1000°F with pressure-type thermometer systems is dependent on the development of bulb-materials that will not permit the gas to diffuse thru them at these elevated temperatures. Thus far, no such material is commercially available.

Gas-Filled Systems are sometimes furnished for special applications to record temperature spans as low as 100°F. However, 200°F is considered the minimum practical span, and this span only for temperatures up to 400°F. Above 400°F the measured span should never be less than 400°F. For spans less than the above limits, the element motion is insufficient to satisfactorily operate controls or other secondary mechanisms.

All Bristol's Class 3 Thermometer Systems are furnished with the same element,

regardless of the temperature range. This is a 3/8-inch flat, four-turn helical trumpet-metal element.

These elements will stand a maximum pressure of 810 psi, and are rated to deflect thru 23 angular degrees with a pressure-change of 300 psi.

The pressures developed in the system depend on the temperature range to be measured. These pressures are calculated as a function of the measured span; i.e., minimum and maximum bulb-temperatures to permit the maximum deflection of the measuring-element up to 23 angular degrees without exceeding a maximum system-pressure of 810 psi. The shorter the span, the higher the initial pressure (pressure at the minimum measured-temperature) will be.

For spans less than 300°F, the initial pressure is too high to permit a 300-psi pressure-change and still remain within a maximum system-pressure of 810 psi. For example, to measure a range of 400 to 600°F, a span of 200°F, the pressure at 400°F will be 610 psi; at 600°F 810 psi. The pressure-change, therefore, is only 200 psi between minimum and maximum bulb-temperatures. Consequently, the measuring element deflects only 2/3 the rated 23°, and its motion must be multiplied 3:2 to move the pen across the chart-scale. The resulting torque available at the pen is therefore slightly less than 1/2 of what it would be with no multiplication between the element and the pen.

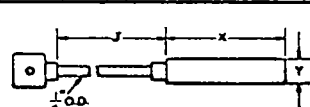

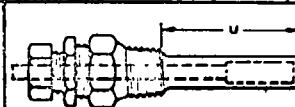
STANDARD CONVERTIBLE BULB					COLUMN II Union with Bushing (For use with Plain Bulb in Column 1. The addition of the unions and bushings listed below converts the plain bulbs in Column 1 to union bulbs.)			COLUMN III Union with Well (For use with Plain Bulbs in Column 1. The addition of the unions and wells listed below converts the plain bulbs in Column 1 to well bulbs.)		
COLUMN I Plain Bulb										
										
Bulb Material*	"m" Diameter of Bulb	"J" Length of Extension	"X" Length of Sensitive Portion	Bulb Cat. No.	Material	Thread (S.P.T.)	Catalog Number	Material & Cat. No.	Thread (S.P.T.)	Lengths Available (Inches)
Copper	3/4"	10	10	3016-10-100	Brass	1"	84551	Bronze 84429	1"	10 1/2, 12, 18, 24, 30
		30	10	3016-30-100						
		60	10	3016-60-100						
Stainless Steel	3/4"	10	10	3026-10-100	Stainless Steel	1"	84552	Welded Stainless Steel 84430	1"	10 1/2, 12, 18, 24, 30
		30	10	3026-30-100						
		60	10	3026-60-100						
Copper	1"	10	5	3018-10-50	Brass	1 1/4"	84568	Bronze 84431	1 1/4"	5 1/2, 7 1/2, 12, 18, 24, 30
		30	5	3018-30-50						
		60	5	3018-60-50						
Stainless Steel	1"	10	5	3028-10-50	Stainless Steel	1 1/4"	84569	Welded Stainless Steel 84432	1 1/4"	5 1/2, 7 1/2, 12, 18, 24, 30
		30	5	3028-30-50						
		60	5	3028-60-50						



FIGURE 3  
CONVERTIBLE  
BULB

\* Bulbs are also available in steel, monel, ambrac, and other metals.

### CLASS 3 BULBS

A few of the more commonly-used types of Class 3 bulbs are illustrated here.

They are larger than either Class 1 or Class 2 bulbs. They have a capacity of 50 cc, as compared with 2 cc for an average Class 1 bulb.

Copper and stainless steel bulbs are standard. They can also be furnished in steel, monel, and ambrac. Bulbs can be plated, sheathed in lead, or plastic-coated, for further protection.

**BRISTOL CONVERTIBLE BULB.** The convertible bulb is illustrated on this page. The plain bulb, designed for measuring temperatures in open vessels, ovens, dryers, rooms, ducts, etc., is easy to install in pipelines and enclosed vessels, by the addition of union and bushing. These fittings, shown in Column 2, are removable over the sensitive portion of the bulb.

Where the thermometer bulb is subject to corrosion, abrasion or pressure damage, a protecting well should be used. See Column 3. These wells use the same fittings as are shown in Column 2.

#### HOW TO SPECIFY THE STANDARD CONVERTIBLE BULB.

**Plain Bulb.** From Column 1 in the tables below, select bulb of required design,

material, and dimensions. Example: A plain copper bulb, 1-inch diameter with 5-inch sensitive portion, and 10-inch extension is Cat. No. 3018-10-50.

**Union Bulb.** Select plain bulb of required specifications from Column 1, as described above. Then, from the same line in Column 2, select the catalog number of the required union and fitting. Example: a bulb of the same specifications (except union-connected) as the plain bulb above is Cat. No. 3018-10-50-84568.

For temperatures 450°F and higher, if a well is required, bulb and well should be of similar material. For example, steel bulb in a steel or a stainless well; stainless steel bulb in a stainless steel well; copper bulb in a bronze well.

A copper bulb should not be used in a steel well at temperature above 450°F. The difference in expansion coefficients makes it impossible to properly fit the copper bulb in the steel well.

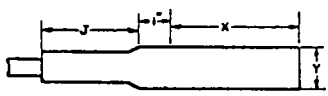
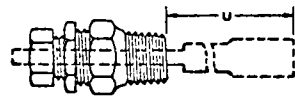
For temperatures 600°F and higher, always specify stainless steel or steel bulbs in preference to copper, because at these elevated temperatures, copper will oxidize and will also permit the gas filling-medium to diffuse thru it.

For special applications, special bulbs in a great variety of shapes, dimensions, or materials can be manufactured. However, it is desirable to avoid special shapes or materials because they are expensive and usually experimental. Such bulbs are generally completely hand-made, and must

be used under actual operating conditions to determine their effectiveness. It must be remembered that standard bulbs have been carefully designed to provide the essential characteristics for accurate metering.

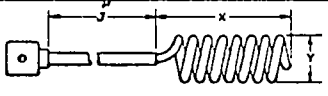
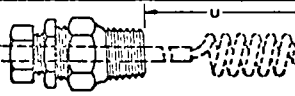
**LEAD-PROTECTED COPPER BULB**

FIGURE 4. LEAD-PROTECTED COPPER BULB

COLUMN I Lead-Protected Copper Bulb				COLUMN II Union with Bushing (For use with Bulbs in Column I)			
							
Bulb Material	"y" Diameter of Bulb	"j" Length of Extension	"x" Length of Sensitive Portion	Bulb Cat. No.	Material	Thread (S.P.T.)	Catalog Number
Copper, with Lead Sheath	1"	30"	11"	3038-30-110	Brass	1 1/4"	84568
		60"	11"	3038-60-110	Stainless Steel	1 1/4"	84569

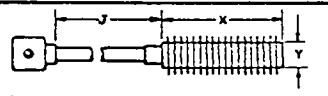
**CAPILLARY COIL BULB**

FIGURE 5. CAPILLARY COIL BULB

COLUMN I Capillary Coil Bulb*				COLUMN II Union with Bushing (For use with Bulbs in Column I)			
							
Bulb Material	"y" Diameter of Bulb	"j" Length of Extension	"x" Length of Sensitive Portion	Bulb Cat. No.	Material	Thread (S.P.T.)	Catalog Number
Copper	3/4"	10"	6"	3119-10-060	Brass	1"	84551
		30"	6"	3119-30-060			
		60"	6"	3119-60-060			
Stainless Steel	3/4"	10"	6"	3129-10-060	Stainless Steel	1"	84552
		30"	6"	3129-30-060			
		60"	6"	3129-60-060			

\* The coil, which is the sensitive portion, may be stretched out to a 25 foot length and used as an averaging bulb.

**COPPER BULB WITH RADIAL FINS**

COPPER BULB WITH FINS				
				
Bulb Material	"y" Diameter of Bulb	"j" Length of Extension	"x" Length of Sensitive Portion	Bulb Cat. No.
Copper	3/4"	10"	10"	3216-10

Outside diameter of radial fins - 1 1/8"

**EXTRA HEAVY LAGGING WELL FOR HIGH PRESSURE**  
For Use With Plain Bulbs

Material	Bulb Diam.	Thread (S.P.T.)	Union with Bushing		Catalog Number
			"y"	"u"	
Steel, with Brass Fittings	3/4"	1"	4"	10 1/2"	86187
	1"	1 1/4"	4"	5 1/2"	87927

CAPILLARY TUBING

Type 347 stainless steel or annealed copper capillary tubing .062" O.D. by .017" I.D. is the standard size furnished with Bristol Class 3 Systems. For short temperature-spans and long lengths of tubing, .013" copper or stainless or even .010" (copper only) I.D. tubing can be furnished. However, these small sizes of capillary are furnished only when conditions absolutely require their use to minimize the error due to changes in ambient temperature.

While fine-bore capillary is desirable from the standpoint of reducing the ratio of capillary-volume to bulb-volume, there are two principle objections to its use: (1) it plugs readily, and (2) it increases the response-time of the system.

When it is realized that .010" is only approximately the width of a lead pencil line, the possibilities of plugging become quite apparent, especially since it is a practical impossibility to clean the system of all minute particles of foreign matter such as dust specks, and metallic scale.

One of the factors which affect response-time is the rate of flow of the filling fluid between the two ends of the system. The resistance to flow in a thermometer system varies as the fourth power of the diameter; consequently, a change from .017" I.D. capillary to .010" will very significantly increase the response-time of the system.

The maximum length of capillary that may be specified for a Class 3 System with standard bulb (50 cc volume) can be computed as follows:

$$L = \frac{RE}{400 TD^2}$$

- L = Maximum length of capillary in feet
- R = Temperature interval (span) of chart °F
- E = Allowable error in % of chart range (usually 0.50)
- T = Ambient-temperature span °F (usually 50°F)
- D = Internal diameter of capillary in inches

Example #1: Chart range, 0-400°F; ambient-temperature span, 50°F; capillary diameter, .017"; permissible error, ±1/2%. Find maximum length of capillary.

Then:

$$L = \frac{RE}{400 TD^2} = \frac{400 \times .5}{400 \times 50 \times .000289} = 34.6 \text{ ft.}$$

or, if permissible error is increased to ±1%.

$$\text{then: } L = 34.6 \times \frac{100}{50} = 69.2 \text{ ft.}$$

If .010" I.D. capillary is used, then:

$$L = 34.6 \times \frac{(.017)^2}{(.010)^2} = 34.6 \times 2.89 = 100 \text{ ft.}$$

Example #2: Find maximum diameter of capillary that may be used when chart-range is 600°F; length is 150 feet; ambient span, 100°F; permissible error, ±1%.

$$D = \sqrt{\frac{RE}{400TL}} = \sqrt{\frac{600 \times 1}{400 \times 100 \times 150}} = \sqrt{.0001} = .010 \text{ inch}$$

BRISTOL

TEMPERATURE

PRODUCT DATA

T805-2

## CLASS 5 MERCURY-FILLED THERMAL SYSTEMS

**GENERAL.** Bristol Class 5 thermal systems are designed for measuring temperatures which range between  $-30^{\circ}\text{F}$  ( $-34^{\circ}\text{C}$ ) and  $+1200^{\circ}\text{F}$  ( $649^{\circ}\text{C}$ ). The minimum span is  $60^{\circ}\text{F}$ ; maximum span is  $1200^{\circ}\text{F}$ . It is possible to obtain spans as short as  $10^{\circ}\text{F}$ , however, special oversized thermometer bulbs must be used. Limits of Class 5A and 5B systems are given below.

Class	Maximum Temperature Limits	Maximum Capillary Lengths
5A	$1200^{\circ}\text{F}$	100 feet
5B	$500^{\circ}\text{F}$	30 feet

Mercury-filled systems, like Class 1 systems, operate on the principle of liquid expansion. Mercury will expand only 1/5 as much as the organic filling liquids used in Class 1 systems. Consequently, effects of ambient temperature changes on a mercury system are only 20% as much as they would be on a corresponding Class 1 system. Due to this characteristic, uncompensated capillary tubing lengths of up to 30 feet may be used in Class 5B systems for ranges below  $500^{\circ}\text{F}$ , as compared to only 10 feet for Class 1B systems.

**RESPONSE TIME.** The 90% response time of a Class 5 system is 5-8 seconds, with a plain bulb in a good heat transfer medium (water).

**AMBIENT-TEMPERATURE LIMITS AND COMPENSATION.** The allowable ambient temperature range on Class 5 systems is from  $0^{\circ}\text{F}$  to  $120^{\circ}\text{F}$ .

Class 5A systems are *compensated* for ambient temperature changes, both at the element and along the length of capillary tubing. Capillary compensation is accomplished by the use of a coaxial-type tubing, consisting of a stainless steel capillary with an Invar wire insert. The element is self-compensating.

Class 5B *case-compensated* systems are furnished with ambient temperature compensation at the element only. A bimetallic compensator is used, and applies to 5B systems having capillary lengths between 15-30 feet.

**AMBIENT ERROR TOLERANCE.** Measurement errors are within  $\pm 0.5\%$  of span for a  $\pm 50^{\circ}\text{F}$  ambient temperature change, and capillary tubing lengths up to 50 feet.

**CONSTRUCTION.** Elements, capillaries, and bulbs in Class 5 systems are manufactured of type 316 s.s. Non-ferrous materials, such as copper, are not compatible with mercury, hence the use of stainless steel.

*Swaged bulbs* (Figure 1A) are furnished for all temperature ranges below  $600^{\circ}\text{F}$ , with a minimum span of  $60^{\circ}\text{F}$ . Note: The end of the bulb is closed by a welded-plug construction.

*Drilled bulbs* (Figure 1B) are required for all temperature ranges of  $600^{\circ}\text{F}$  and above, for a minimum span of  $285^{\circ}\text{F}$ .

*Coiled bulbs* (Figure 1C) are available for temperature ranges below  $600^{\circ}\text{F}$ , and for a minimum span of  $60^{\circ}\text{F}$ .

**BULB DIMENSIONS AND SPANS.** Minimum allowable spans are given in Table 1. Standard SAMA sizes for swaged, drilled, and coiled bulbs are listed in Table 2.

**CALIBRATED ACCURACY.** Error tolerance of the standard Bristol mercury-filled systems is within  $\pm 0.5\%$  of span.

**ELEVATION CORRECTIONS.** Elevation of the bulb, with respect to the measuring element, will cause a calibration zero shift as given by the following formula:

$$\text{Percent Zero Shift} = \frac{5 \times \pm \text{Elev. (ft.)}}{\text{Span } (^{\circ}\text{F})}$$

*Maximum allowable elevation of the bulb with respect to the measuring element is  $\pm 30$  feet.*

If the elevation is specified at the time of ordering, the system calibration will be factory corrected for the specific elevation. Otherwise a correction will have to be made at the installation, per accompanying instructions.

**OVERRANGE OR UNDERRANGE PROTECTION.** The maximum allowable overrange protection is 30% of the total range span, however, the overrange plus the measured range may not exceed  $500^{\circ}\text{F}$  for Class 5B, and  $1200^{\circ}\text{F}$  for Class 5A. The maximum allowable underrange protection is 50% of the total range span.

**CHARACTERISTICS OF CLASS 5 SYSTEMS.** In general, mercury-filled systems are more universal in applications than any other class of filled systems, due to the following:

- Higher temperature ranges can be measured.
- More energy is generated at the measuring element.
- Mercury-filled systems are less subject to ambient-temperature changes.

Class 5 systems are preferable for high temperature measurement, in that up to 1200°F can be measured by such systems as compared to 1000°F for the Class 3B systems.

Where short spans (less than 300°F) are involved, Class 5 will generate twice as much energy at the element as the Class 1B and 3B systems; four times as much energy as the Class 1A. Consequently, where secondary systems must be operated (cam followers, control mechanisms, etc.) Class 5 systems are more suitable.

Due to the smaller coefficient of expansion of mercury, the Class 5 systems are less sensitive to ambient temperature errors than any other systems, with the exception of Class 2 vapor pressure systems.

Class 5 systems are preferable to Class 1 except, where the smallest possible bulb size is an important consideration, or where ambient-temperature variations are insignificant.

LOWEST BULB TEMP.	MIN. SPAN ALLOWABLE	LOWEST RANGE ALLOWABLE	MAX. OVER PROTECTION
-30°F	100°F	-30°F to +70°F	+100°F
0°F	75°F	0°F to +75°F	+100°F
+20°F	60°F	+20°F to +80°F	+100°F

Table 1. Minimum Spans vs. Minimum Temperature.

SPAN	"Y" Outside Dia.	PLAIN BULBS		COILED BULBS	
		"X" Sensitive Length		"Y" Outside Dia.	"X" Sensitive Length
		Swaged	Drilled		
60 to 79°F	9/16	6.0		3/4	11.8
80 to 124°F	9/16	4.0		3/4	7.5
125 to 184°F	9/16	2.7		3/4	5.1
185 to 284°F	3/8	4.0		3/4	3.5
285 to 424°F	3/8	3.0	4.4	3/4	2.4
425 to 600°F	3/8	2.0		3/4	1.6
425 to 624°F	3/8		3.1		
625 to 874°F	3/8		2.3		
875 to 1200°F	3/8		1.8		

Note 1: "X" and "Y" dimensions are given in inches.

Note 2: "J" dimension available in 10" or 30" length, for all spans and bulb sizes.

Table 2. Bulb Dimensions and Spans.

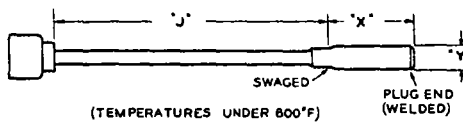


Figure 1A. (S.P. Dwg. 5948a) Plain Bulb - Swaged.

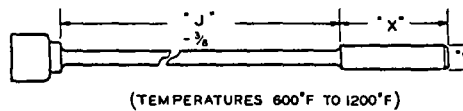


Figure 1B. (S.P. Dwg. 5949a) Plain Bulb - Drilled.

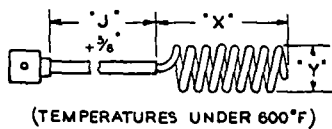


Figure 1C. (S.P. Dwg. 5979a) Coiled Bulb.

PROCEDURE FOR RANGE SELECTION

Determine the ambient temperature limits, bulb elevation, capillary length, and overrange or underrange protection desired. Obtain the required span by subtracting the minimum temperature range from the maximum temperature range. Check the span against the range limits on Figure 2 to ascertain that the maximum and minimum limits are being observed. Any overrange should also be included.

EXAMPLE. A particular application requires a span of 500°F, and an overrange of 100°F. The span is to be elevated to maximum limits. No bulb elevation

is required. Maximum capillary length is figured at 10 feet, and the ambient temperature is 70°F.

Reference to Figure 2 will show that for a 500°F span, the maximum range temperature allowed is 750°F. Therefore, a range of 250°F to 750°F is permissible. Since the overrange of 100°F does not exceed 30% of the span, and the maximum range temperature plus the overrange is within the 1200°F limit of the graph, the requirements are permissible. The thermal system for this application must be a Class 5A due to the high temperature limit which exceeds the 500°F limit of the Class 5B system.

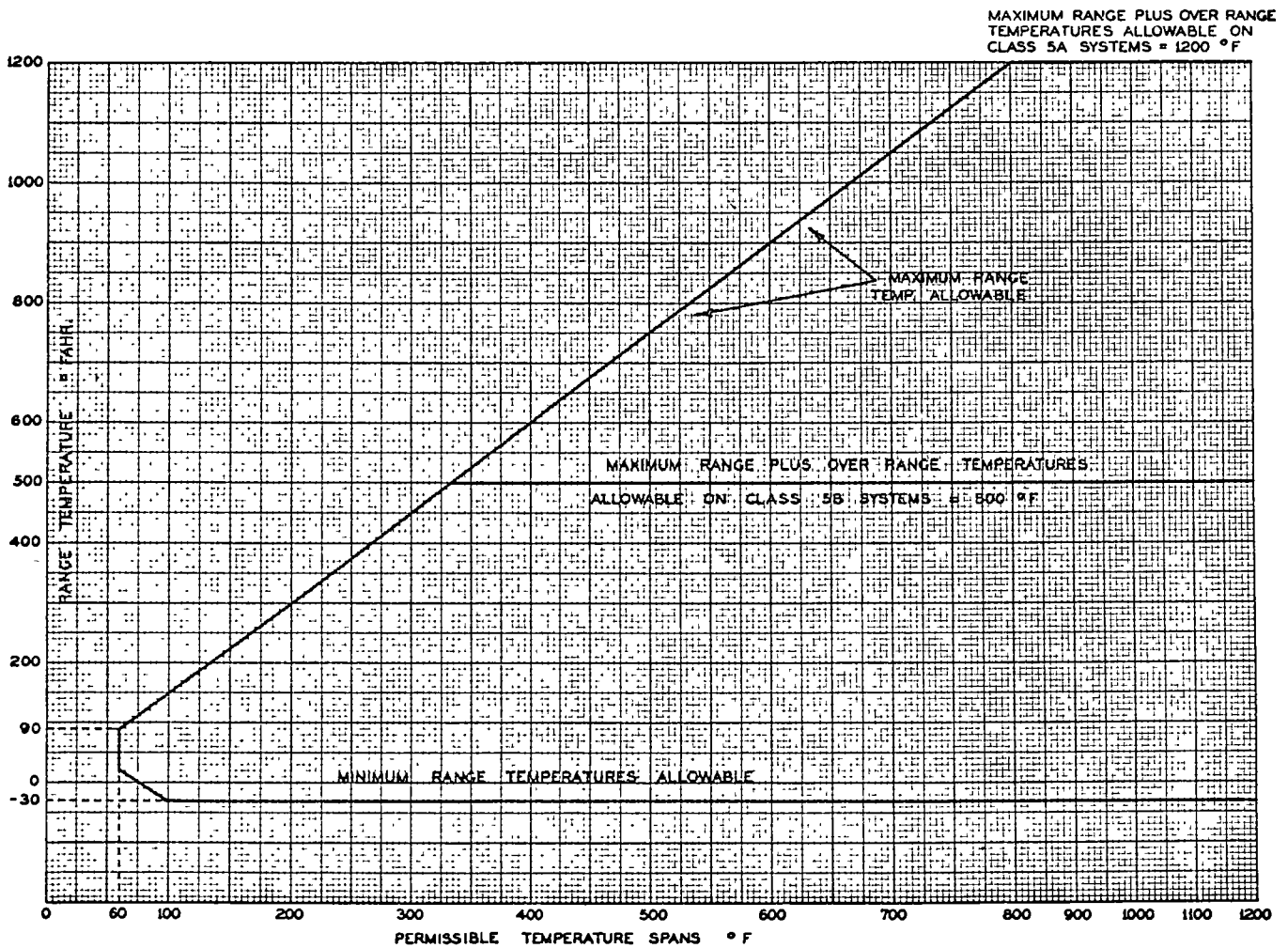


Figure 2. S.P.D. 6603.



## BRISTOL RESISTANCE THERMOMETER BULB

**GENERAL.** The resistance thermometer bulb is a device used as a sensing element for the accurate measurement of temperature. The measurement is based upon the fact that the electrical resistance of a metallic conductor varies with the temperature of the metal. This variation of resistance with temperature is sufficiently reproducible to permit accurate temperature measurements by use of metals having known temperature-resistance relationships.

Industrial resistance bulbs are comprised of a coil of wire of known temperature-resistance relationship, enclosed in a suitable protective sheath and fitted with connection terminals. A complete resistance thermometer consists of a resistance bulb which is connected to a resistance measuring instrument calibrated in degrees of temperature.

**REQUIREMENTS.** A satisfactory resistance thermometer bulb should meet the following requirements:

1. The temperature-resistance relationship should be reproducible to a high degree of accuracy.
2. The temperature-resistance relationship should be unchanged by time.
3. All bulbs having the same type resistance element should be interchangeable and, when interchanged, should not introduce significant errors in the temperature measurement.
4. The bulb should have a high sensitivity and be able to assume quickly the temperature of its surroundings.
5. The bulb and sheath must be able to withstand mechanical stress, shock and chemical corrosion.
6. The bulb should be unaffected by moisture and water and be suitable for mounting out of doors.

The Bristol resistance thermometer bulb is designed to meet the above requirements.

**CONSTRUCTION DETAILS.** The design of the Bristol resistance thermometer bulb is illustrated in Figures 1 and 2. The sensitive element, shown in the enlarged sectional view Figure 1, consists of fine-gauge nickel wire wound into a helical coil. This helix is then wound in the double-pitch spiral grooves of a thin-walled aluminum tube. This corrugated aluminum tube is anodized for insulation and is of small mass having wall thickness of approximately 0.005 inch. This small mass provides minimum heat inertia and results in fast response to temperature changes.

The corrugations or grooves in the aluminum tube are of a depth such that the coil is wound just below the top of the grooves. The flat tops of the corrugations provide a large area of contact with the metal protecting sheath of the bulb and assist in obtaining fast bulb response. After winding, the aluminum tube and resistance wire are coated with Bakelite varnish and baked.

The sensitive portion of the bulb is 1-11/32" long and extends back approximately 1-5/8" from the tip of the bulb sheath.

The resistance element is made to provide rigid construction between the windings and the terminals and to minimize the possibility of damage from vibration in service.

The bulb sheath is Type 316 stainless steel, 0.270" OD x 0.240" ID and is Colmony brazed to the stainless steel terminal head adapter. The adapter is fitted with 1/4" NPT for using the bulb in pipes or wells. The bulb chamber is fitted to the bulb head in such a manner that it is impossible to twist off element connecting wires during field installation.

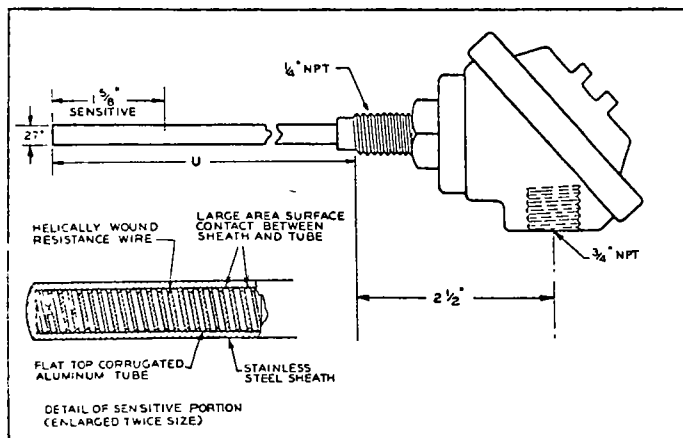


FIGURE 1. (SPD #3433) LARGE-HEAD RESISTANCE BULB, PART NO. 89390-( ).

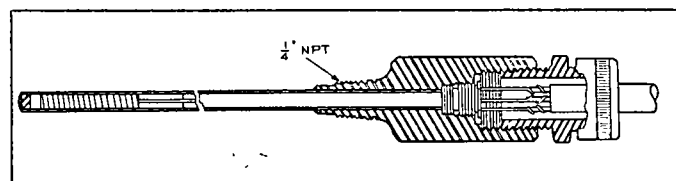


FIGURE 2. (SPD #5432) SMALL-HEAD RESISTANCE BULB, PART NO. A5991-( ).

Before assembly, the resistance element and bulb sheath are baked at 250°F for 1/2 hour to drive out all moisture. The resistance element is then inserted into the sheath and sealed by a lead gasket and locknut. This procedure prevents failure due to moisture collecting during assembly or use.

In the "large-head" bulbs, Figure 1, the three connecting wires are brought thru the terminal bushing to a rugged connection block. The cast aluminum head and cover is gasketed, and is weatherproof when connected thru conduit.

In the "small-head" bulbs, Figure 2, soldered connections are used. The knurled cadmium-plated steel head compresses a grommet around the cable, making the assembly moistureproof. Required leads are normally assembled to the bulb at the factory. This "small-head" bulb may be submerged to a maximum depth of 15 feet, provided temperature is not lower than 32°F.

**RESISTANCE.** The Bristol nickel resistance bulb has a resistance of 110 ohms at 32°F (0°C) and follows the Bristol 7NA resistance bulb curve of temperature versus resistance.

Either linear charts or curve 7NA charts may be specified. When linear charts are specified, the Dynamaster Recorder is furnished with linearized calibration.

**RANGES.** The Bristol resistance thermometer bulb is suitable for use in temperatures from -150° to +500°F (-100°C to 260°C).

**ACCURACY.**

Temperature	Accuracy *
-150 to -50°F	±1°F
- 50 to +265°F	±0.5°F
+265 to +365°F	±0.75°F
+365 to +500°F	±1°F

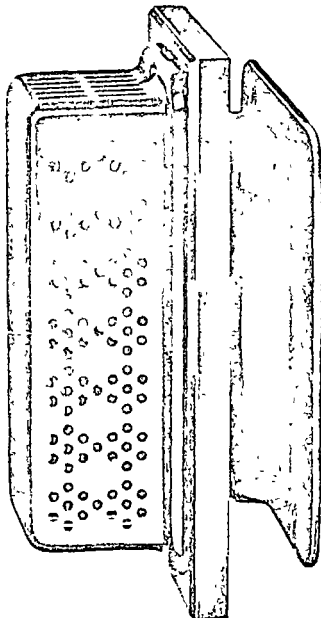


FIGURE 3. PHOTO #2557. PART 92052 - ROOM TEMPERATURE BULB.

**SPEED OF RESPONSE.** For 90% of complete response in moving water, 4 seconds; in moving air, 4 minutes.

**AVAILABLE MODELS.** Part #89390-( ) "large-head" bulb, Figure 1, with length below the 1/4-inch NPT of 4-inch, 6-inch, 8-inch, 12-inch, and 6-inch increments to 90 inches. Example: Part #89390-6 is 6 inches long below the thread.

Part #A5991-( ) "small-head" bulb, Figure 2, same lengths.

Part #92052 Room-Temperature Bulb, Figure 3, in attractive housing for wall-mounting.

Part #92413 Outside-Temperature Bulb, Figure 4, complete with weatherhouse.

**ACCESSORIES.** 3" O.D. by 1/4 inch pipe-thread flange.

Type 304 Stainless Steel wells (other metals available on special order), for all bulb lengths.

Wet- and Dry-Bulb Mountings.

Compression Connector for attaching rubber-covered conductor cable to terminal head.

**FEATURES.**

1. Rapid response to temperature changes.
2. High accuracy.
3. Stable calibration.
4. Wide usable temperature range.
5. Sturdy construction resists damage by vibration, moisture, or corrosion.

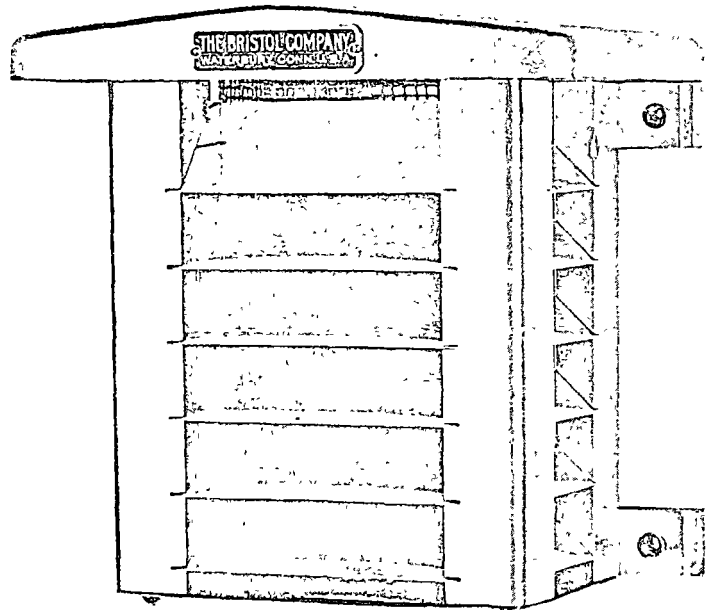


FIGURE 4. PHOTO #11751. PART 92413 - OUTSIDE TEMPERATURE BULB COMPLETE WITH WEATHERHOUSE.

\*Changed in October 1962 issue.

A P U N T E S

D E

N I V E L

Por:

Ing. Ricardo Arredondo Vergara López

Febrero de 1971.

MEC.

## N I V E L

-----

El nivel es una variable importante para algunas industrias, en algunas de las cuales es indispensable, tales como, la del papel y la del petróleo, por mencionar algunas. Los instrumentos para la medición de nivel varían en complejidad de acuerdo con la aplicación en sí y su dificultad.

En la selección correcta de un instrumento para la medición de nivel, intervienen en mayor ó menor grado los siguientes factores:

Rango de Medición.

Naturaleza del fluido que va a ser medido.

Condiciones de Operación.

Los instrumentos que se describen a continuación cubren prácticamente todas las aplicaciones, en cuanto a medición de nivel se refiere. Estos se aplican básicamente en dos formas; medición de nivel en tanques abiertos y en tanques cerrados. Estos instrumentos pueden ser registradores ó indicadores y cuando el caso lo requiere controladores. Cuando las distancias entre el punto de medición y el lugar donde queremos la lectura de nivel son muy grandes nos podemos auxiliar con transmisores, los cuales también están descritos.

### NIVELES EN TANQUES ABIERTOS

Los instrumentos que para la medición de nivel en tanques abiertos que se usan se clasifican dentro de varias categorías visuales, de presión ó cabeza hidrostática (columna de agua) de contacto directo ó sea flotadores y otros tipos.

Visual: Este método es uno de los más antiguos y de los más simples para la medición continua de nivel de líquidos contenidos en un tanque ó vasija (olla). Se usa solamente cuando se requiere indicación local directa sobre el proceso y cuando el líquido es apreciablemente limpio. Las mirillas y los manómetros de vidrio consisten simplemente en un vidrio transparente ó tubo de plástico (transparente) adjunto al tanque de tal manera que la "cabeza" de líquido en el tubo sea igual al nivel del líquido en el tanque. Una escala calibrada marcada en el tubo ó colocada dentro de éste, nos proporciona un medio conveniente para leer el nivel en pulgadas, pies, centímetros ó metros, ó bien en unidades de volumen, galones, ples cúbicos, litros, metros cúbicos, etc.

La Figura 1 nos mostrará una típica instalación de mirilla.

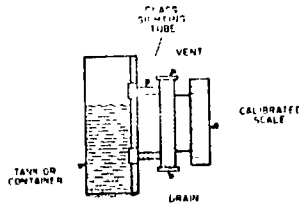


Figura 1

### PRESION HIDROSTATICA

Una columna líquida crea una presión hidrostática directamente proporcional a la altura del líquido arriba del punto de referencia. Un elemento de presión apropiado, conectado adecuadamente al proceso, mide el nivel del líquido en unidades apropiadas para las cuales se debe calibrar cada elemento. Los instrumentos que con más frecuencia se usan para medir nivel por presión hidrostática son el de tipo burbujeo y la caja de diafragma.

Los instrumentos para medición de nivel de purga continua se usan cuando los líquidos son corrosivos ó tienen sólidos en suspensión; cuando se dispone de aire ó gas y se requieren lecturas remotas. Este tipo de medición, es el más simple, el más barato y el más confiable y ampliamente usado. La figura 2 ilustra una instalación típica para medición de nivel por el método de purga continua: Un pedazo de tubo abierto se introduce dentro del tanque hasta un punto de cerca de 3 pulgadas por encima del fondo ó del sedimento, ó se efectúa la conexión por fuera del tanque (a un lado) a la misma altura. Esta altura no es crítica pero a la altura en que se coloque el tubo tiene que ser nuestro punto de referencia para la calibración del elemento para la medición de la presión hidrostática en términos de altura ó volumen y debe estar (el punto de referencia) arriba de cualquier sedimento que se pueda tener.

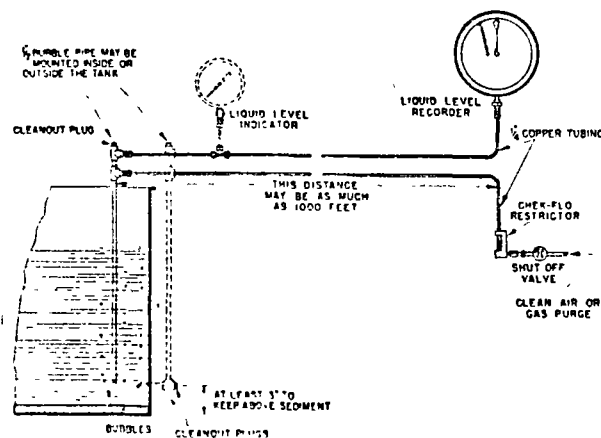


Figura 2

El aire comprimido ó cualquier fluido similar se suministra a través de una válvula y restrictor y un rotámetro de purga, de tal manera que el fluido escape solamente por el extremo abierto del tubo. La presión de aire en el tubo corresponde exactamente a la altura del líquido en el tanque. Si el nivel del líquido cambia, la presión de aire en el tubo de burbujeo cambia también proporcionalmente.

Un instrumento de presión conectado al tubo de burbujeo registra la presión de aire en la gráfica ó la indica en una escala graduada apropiadamente en unidades de nivel, cm. - pies, pulgadas, etc. ó en unidades de volumen, litros galones, etc. tal como sea requerido.

Los sistemas de caja de diafragma se usan para medir nivel en tanques abiertos, cuando no se puede contar con aire ó gas ó cuando el método por tubo de burbujeo no es recomendable (Fig. 3) consisten esencialmente en una "copa" recubierta con un diafragma flexible el cual está protegido por medio de un anillo metálico.

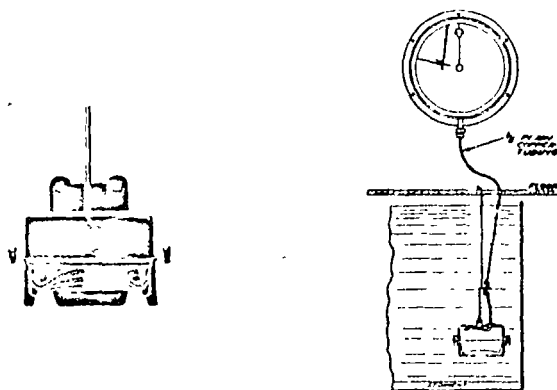


Figura 3.

La caja está dividida en dos secciones, con el diafragma insertado entre las dos y sellado a prueba de aire. Un tubo capilar se usa para conectar la parte de arriba de la caja del diafragma con el instrumento. La caja está colocada a una altura determinada del tanque la cual servirá como nivel de referencia. La presión causada por la columna del líquido por encima del nivel de referencia actúa sobre el diafragma para comprimir el aire en el sistema sellado de presión en una cantidad equivalente a la cabeza actual del líquido. Las variaciones de nivel producen cambios de presión proporcionales en el sistema de aire. Esos cambios de presión actúan un resorte de presión en el instrumento el cual está conectado en una pluma de registro ó a un puntero indicador.

Las cajas de diafragma se pueden montar de varias maneras. (Figura 4.)

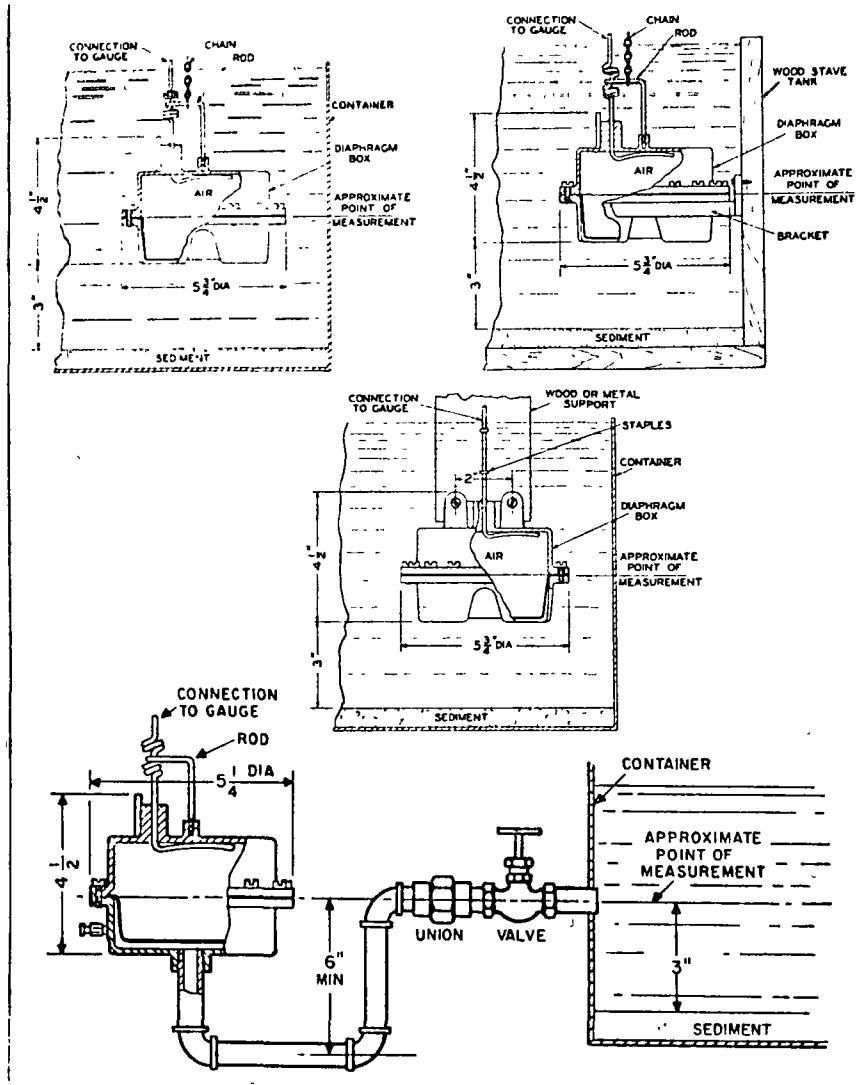


Figura 4.

Uno de los instrumentos del tipo de diafragma más ampliamente aceptado para la medición de nivel sobre todo, en aquellos procesos que tienen sólidos en suspensión, es el transmisor de presión diferencial bridado. Dos versiones de este tipo se muestran en la Figura 5. El de diafragma al ras y el de diafragma con extensión. El tipo de diafragma al ras se monta al nivel de la pared interior del tanque tal como se muestra en la Figura 6. El de diafragma de extensión se usa cuando el líquido con sólidos en suspensión puede dejar sedimentos sobre las paredes interiores del tanque y estos puedan impedir que el diafragma esté en contacto con el líquido perdiéndose la lectura. El diafragma con extensión se monta de tal manera que quede embutido dentro de la pared interior del tanque. La cabeza de líquido ejercida sobre el diafragma se balancea simultáneamente por medio de una fuerza de retroalimentación neumática ó eléctrica en la parte de arriba del -

transmisor. Esta fuerza de retroalimentación representa el nivel de líquido y se usa para indicaciones, registros ó controles remotos (1000 pies ó 300 metros).

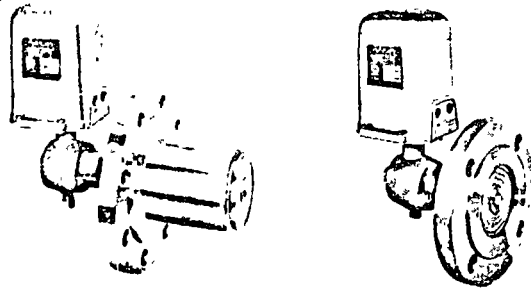
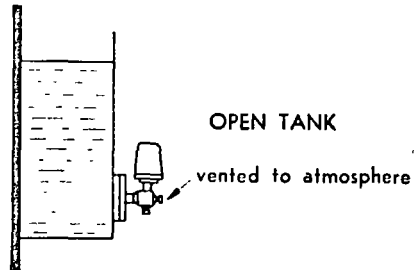


Figura 5.

Figura 6.



### FLOTADOR Y CABLE

La medición directa de nivel de líquidos en tanques abiertos se lleva a cabo frecuentemente por el método del flotador y cable, pero está limitado a líquidos limpios ya que aquellos que llevan partículas ó sólidos que puedan adherirse al flotador este falsearía la lectura.

La medición por medio de flotador y cable es más factible en contrarla en las plantas de tratamiento de agua. Este sistema no depende de la presión hidrostática para la medición de nivel. Son instrumentos que se auto-operan por el movimiento del flotador sobre la superficie del líquido.

Existen muchas versiones de los instrumentos de flotador y cable. Fundamentalmente consisten de un flotador y contrapeso conectados por medio de un cable el cual opera una polea. El del flotador hace que la polea se mueva. De esta manera el movimiento vertical del flotador se transforma a una medición uniforme por medio de un mecanismo de reducción, el cual puede ser usado para indicación, registro ó control. (Figura 7.)

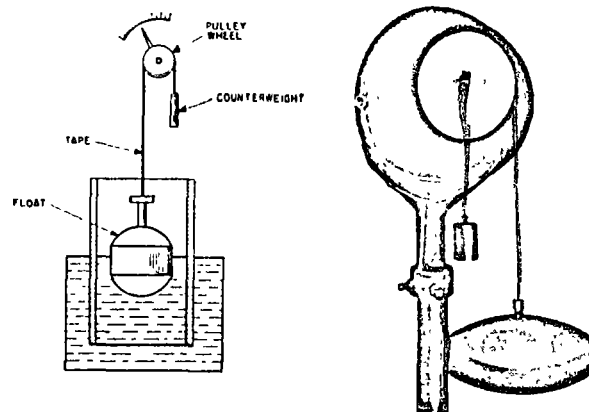


Figura 7.

### GENERAL

Otros tipos de unidades para medición de nivel en tanques abiertos se usan para mediciones especiales. Para esto se usa un equipo más complicado y por lógica más caro. Algunos usan medios radioactivos, pruebas de capacitancia, ondas sónicas, celdas de carga, etc.

### NIVEL EN TANQUES CERRADOS

Cuando es necesario medir nivel de líquido en tanques cerrados, como digestores, tanques para recibir condensados, evaporadores, etc, una medición simple de presión hidrostática no se puede usar. La influencia de la presión en un tanque cerrado incluye: el peso ó presión de el líquido y la presión ó el vacío ejercidos encima de la superficie del líquido. Bajo estas condiciones, la medición de nivel de líquidos debe hacerse con unidades de presión diferencial, desplazamiento por medio de flotadores, dispositivos radioactivos, sónicos, unidades de capacitancia y otras unidades eléctricas.

### PRESION DIFERENCIAL.

En este caso, el nivel del líquido se infiere por la medición de la presión total, compensándola al mismo tiempo por la presión ejercida por encima de la superficie del líquido ó sea la diferencia existente entre las dos presiones. En este caso, los elementos usados para la medición son, por ejemplo, manómetros, fuelles, y celdas de balance de fuerzas de presión diferencial. En la Figura 8 se muestra como se usa el manómetro de mercurio de tubo en U para la medición de nivel

de líquidos limpios en tanques cerrados (1). En algunas ocasiones se usan sellos los cuales consisten en un fluido inerte para proteger al medidor si el líquido que se está midiendo es corrosivo, ó contiene sólidos en suspensión ó es demasiado volátil. En algunas ocasiones en lugar de sellos se usan sistemas de purga.

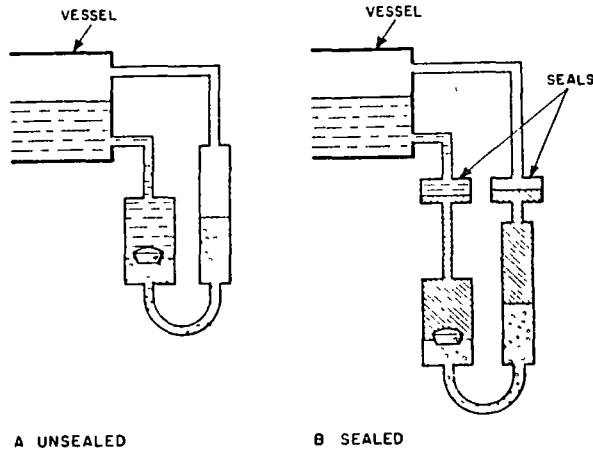


Figura 8.

En la Figura 9 se muestra de los transmisores diferenciales de balance de fuerzas para la medición de nivel en tanques cerrados. La instalación de estos instrumentos es frecuentemente más sencilla que la de los manómetros de mercurio. Debido a su construcción a prueba de corrosión, y a el desplazamiento despreciable del líquido en las líneas, estos instrumentos se pueden usar en la medición de nivel de líquidos corrosivos sin la necesidad de usar sellos ó sistemas de purga.

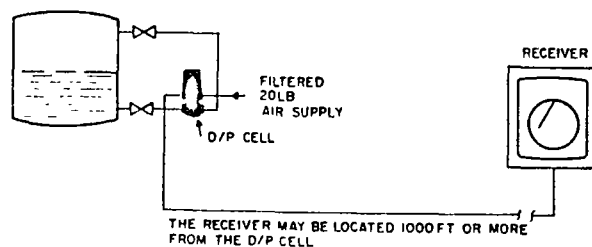


Figura 9.

(1) Los instrumentos que usan mercurio han perdido preferencia por parte del consumidor debido a los múltiples problemas que representa su instalación y mantenimiento, más aún cuando se trata de niveles de líquidos corrosivos. En sustitución se han impuesto los instrumentos de balance de fuerzas (N.T.)

FLOTADOR DE DESPLAZAMIENTO.

El flotador de desplazamiento puede usarse en tanques abiertos y cerrados. La operación de este dispositivo se basa en el principio de Arquímedes, el cual establece que la fuerza resultante que en un fluido ejerce sobre un cuerpo sumergido en este, actúa verticalmente a través del centro de gravedad del fluido desplazado y es igual al peso del fluido que se desplaza. La fuerza resultante, cuyo sentido es hacia arriba sobre el cuerpo se denomina "boyante" y puede contrabalancearse por medio de otra fuerza de tal manera, que el cuerpo puede usarse como elemento para la medición de nivel. La Figura 10 es un arreglo esquemático de una medición de nivel con un dispositivo de este tipo (desplazamiento) con la fuerza "boyante" contrabalanceada por medio de un resorte. La fuerza "boyante" puede contrabalancearse también por medio de un sistema de balance de fuerzas ya sea neumático ó eléctrico el cual produce una señal correspondiente al nivel del líquido la que se puede transmitir para una indicación, registro ó control remotos. En la Figura 11 se muestra una unidad típica.

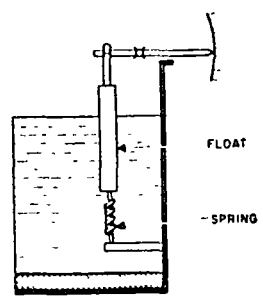
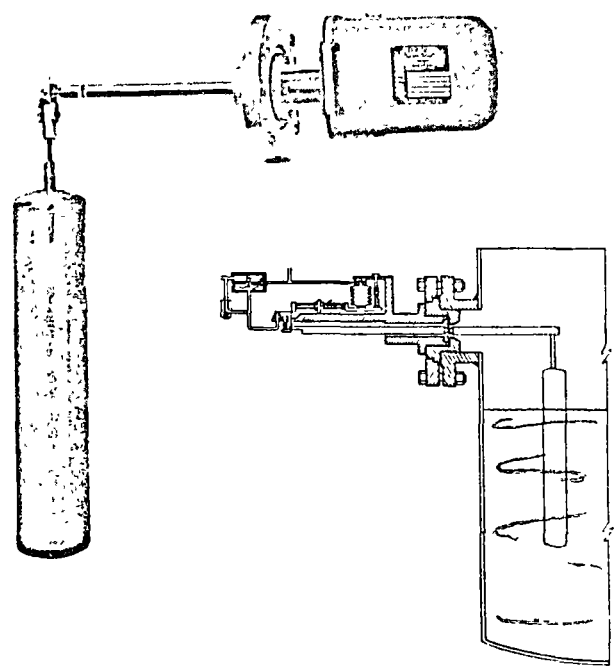


Figura 10.

Figura 11.

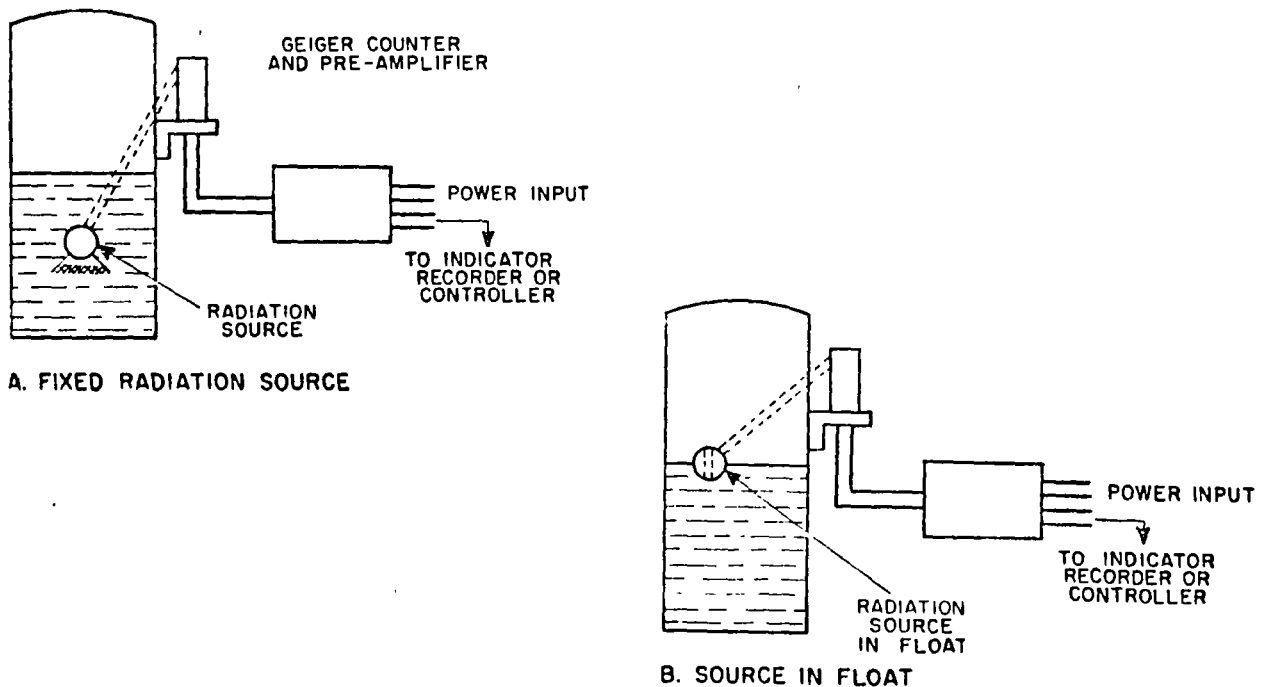


NUCLEAR-RADIOACTIVA.

Los sistemas radioactivos se usan para la medición de nivel en tanques cerrados. Consisten de un ensamble de medición y un indicador amplificador. El ensamble de medición contiene una fuente radioactiva, como radio, cesio ó cobalto y la celda detectora de radiaciones la que puede ser de la forma de un Contador Geiger, ó una celda diseñada especialmente para ionización de gas. La celda detectora produce una señal eléctrica proporcional a la intensidad de los rayos radiactivos esta señal se amplifica para que produzca una medición en unidades apropiadas de nivel.

Se pueden usar varios arreglos en la instalación de estos sistemas tal como se muestra en la Figura 12 (a) La fuente radiactiva se puede fijar dentro ó sobre un lado del tanque a un nivel bajo y la celda detectora fija en la parte de afuera del tanque a un nivel más alto. Cuando el nivel aumenta dentro del tanque el material que se absorbe entre la fuente de radiación y el detector disminuye la intensidad radiactiva que recibe el detector. La radiación recibida, el detector la convierte en una señal eléctrica la cual se amplifica y se convierte en una señal que permite la medición de nivel (b). En un sistema similar, se emplea una fuente colocada en un flotador. La intensidad de la radiación esta en función de la distancia entre la fuente y el detector y es directamente proporcional a los cambios de nivel (c) En este caso se usa una fuente tipo vertical la cual se coloca verticalmente en una columna y las celdas de medición correspondientes se colocan sobre el tanque de tal manera que el líquido cuyo nivel deseamos medir, se interpone entre las dos columnas en cuanto aumenta el nivel. La corriente que sale de las celdas detectoras, la cual varía con el nivel, es inversamente proporcional a los cambios de nivel.

Figura 12.



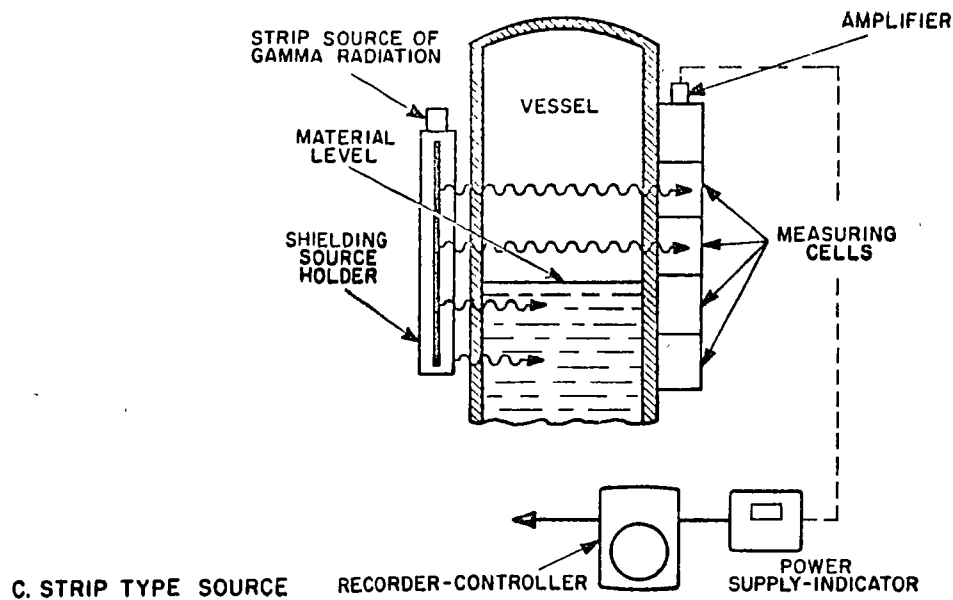


Figura 12

### SONICO

Este es otro método para la medición de nivel en tanques cerrados y también se puede usar en aplicaciones para tanques abiertos. La medición de nivel sónica se basa en la emisión pulsante de ondas sonoras por medio de una fuente emisora, la transmisión de esas ondas de energía a través de la fase líquida, ó la fase de vapor en el tanque, y reflejándolas en la superficie hacia un receptor. El tiempo de tránsito de este impulso se usa como medición del nivel del líquido.

(Figura 13.) En este tipo de arreglo de fase líquida, los pulsos de energía ultrasónica se dirigen directamente hacia la superficie del líquido que se está midiendo. Estos pulsos rebotan en la superficie hacia el receptor. El tiempo de tránsito desde la fuente hasta el receptor es una medida de la distancia entre la superficie y la fuente de emisión de pulsos y directamente proporcional al nivel del líquido.

Este tiempo de tránsito se convierte electrónicamente a una medición de nivel en unidades comunes. El arreglo de VAPOR-ESPACIO está basado en el rebote o el principio del eco a través de una fase de vapor ó gas encima de la superficie del líquido. En operación, es similar al de fase líquida, excepto que el tiempo de respuesta en la transmisión de el pulso sónico es inversamente proporcional al nivel del líquido que se está midiendo.

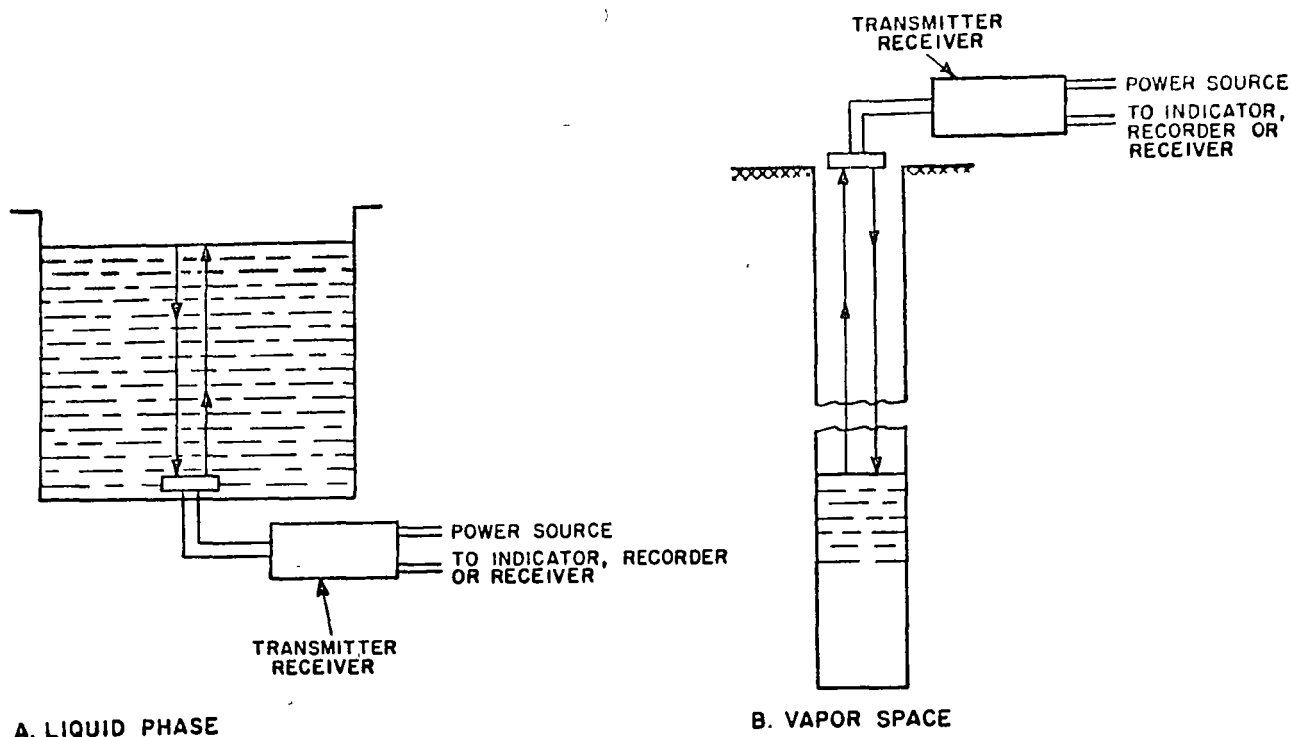


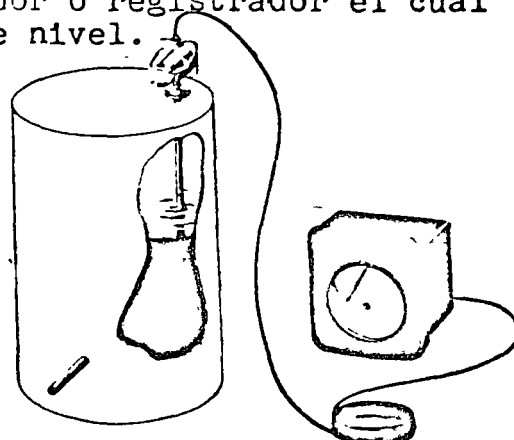
Figura 13.

### CAPACITANCIA

Otro método eléctrico para medir nivel de líquido en un tanque cerrado es la capacitancia. Básicamente, un sistema para medición de nivel por capacitancia consiste de un elemento primario de medición y un instrumento secundario que transforma la variación de capacitancia en un movimiento que es proporcional al nivel del líquido en los tanques (Figura 14.)

En su forma más simple una celda de capacitancia consiste en un rodillo de metal, montado en el tanque. El rodillo debe estar aislado eléctricamente de la pared del líquido. La capacitancia del sistema está formada por el rodillo, el cual se puede considerar como el electrodo "vivo" y la pared del tanque que sirve como electrodo de tierra. Ya que la celda, el líquido, y la pared del tanque forman un campo capacitivo un cambio en capacitancia causado por en el nivel del líquido se detecta en un instrumento indicador ó registrador el cual determina este cambio en unidades de nivel.

Figura 14.



## GENERAL

Existen otros métodos para medición de nivel en tanques cerrados, los cuales tienen uso limitado. Entre estos se encuentran: La celda de temperatura para un sólo punto de nivel, el tubo de expansión, el tipo de oscilación, conductividad, y una combinación de vidrio fotoeléctrico y manómetro.

## NIVEL DE SOLIDOS

Con cierta frecuencia, es necesario medir el nivel de material sólido en cierto tipo de procesos. Entre estos se encuentran por ejemplo: Nivel de "Chips" de madera en fábricas de papel, tanques de materia prima sólida para dosificación, tanques de almacenamiento de jabón, tanques de almacenamiento de cal, silos, etc. Los elementos primarios que se usan para estos casos se pueden considerar como tipo de "punto fijo", ó tipo "Continuo".

## UNIDADES DE PUNTO FIJO

Estas unidades para la detección de nivel de sólidos, pueden efectuar la medición en uno ó varios niveles específicos. Se usan ampliamente para actuar alarmas ó compuertas. Se incluyen en este caso los siguientes tipos: el de diafragma, el de tuerca y paleta, el de cono colgado y sólidos.

### TIPO DIAFRAGMA .-

Esta unidad emplea un diafragma flexible, el cual está expuesto al material sólido en un tanque de almacenamiento. En cuanto al nivel de sólidos se eleva, la presión causada por el peso del material sólido, fuerza a el diafragma contra un mecanismo de contrapesos el que actúa un switch mecánicamente (Figura 15) Este switch puede energizar una alarma ó cierta maquinaria como compuertas, etc.

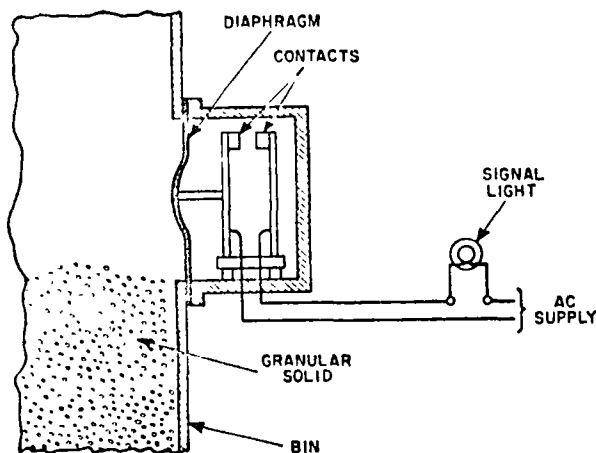


Figura 15.

TIPO DE TUERCA-PALETA.-

Un diagrama típico de este sistema se muestra en la figura - 16. El vástago de la unidad está guiada por un motor sincrónico. Cuando la rotación de la paleta se obstaculiza por el material sólido, causa el soporte del motor y la caja de engranes giren en un plano horizontal, en este momento se energizan dos pequeños interruptores en orden consecutivo. El primero de estos interruptores puede actuar un circuito de alarma, el segundo corta la corriente haciendo que el sistema quede en posición "cerrado". Cuando el nivel disminuye un resorte empuja el ensamble hacia atrás a su posición original y los interruptores se sueltan.

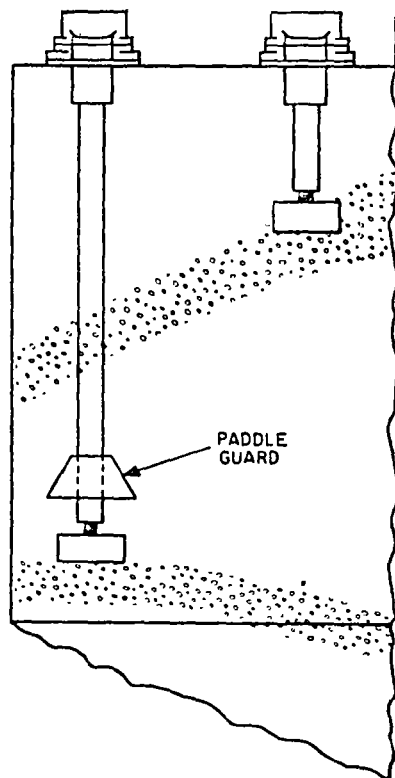


Figura 16.

TIPO DE CONO COLGANTE.-

Tal como se muestra en la Figura 17, esta unidad consiste en un interruptor que se encuentra dentro de una caja a prueba de polvo, la misma que tiene una especie de collarín del cual se suspende el cono. Cuando el nivel de material sólido se eleva y se pone en contacto con el cono se actúa un interruptor que puede hacer actuar una alarma u otro tipo adecuado de circuito.

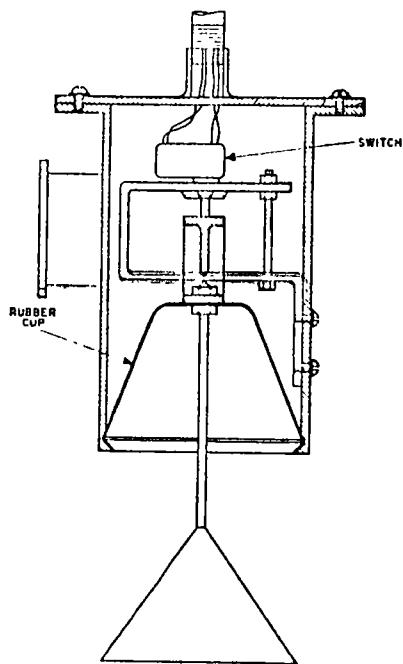


Figura 17.

#### TIPO CELDA.-

Cuando el material sólido que se va a medir tiene una conductividad eléctrica muy alta, se usa con frecuencia un detector tipo celda (Figura 18). Cuando el material hace contacto con una amplificación adecuada, se puede usar para actuar una alarma u otro tipo de equipo.

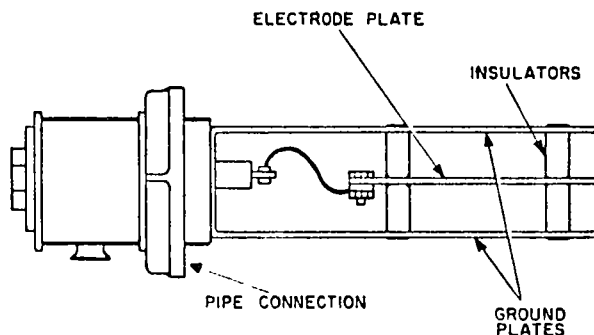


Figura 18.

#### UNIDADES CONTINUAS

Los instrumentos de medición continua de nivel de sólidos - nos permiten una medición continua en toda la gama de cambios que este pueda tener. Son particularmente importantes cuando el control en estos casos de primerísima importancia (Dosificación en procesos continuos).

Existen métodos que emplean fuentes nucleares radiactivas, unidades capacitivas y sónicas como las que ya hemos descrito.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.



The second part of the document details the methodology used for data collection. It describes the use of random sampling to ensure that the data is representative of the entire population. The sample size was determined based on statistical principles to achieve a desired level of confidence and margin of error.

TEORIA BASICA DEL CONTROL AUTOMATICO

EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

INDICE DE MATERIAS

Retroalimentación y Control Automático

- 1.- Introducción.
- 2.- Retroalimentación negativa.
- 3.- Arreglos en serie y en paralelo de las unidades.
- 4.- Ejemplos prácticos de circuitos con retroalimentación negativa.
- 5.- Retroalimentación positiva.

El Circuito Cerrado de Control Automático

- 6.- Introducción.
- 7.- Modos o acciones de control.
  - 7.1 Dos posiciones.
  - 7.2 Acción proporcional.
  - 7.3 Acción integral.
  - 7.4 Acción flotante de velocidad sencilla.
  - 7.5 Acción flotante de velocidad variable.
  - 7.6 Acción derivada.
  - 7.7 Combinación de varias acciones.

Controladores

- 8.- Proporcional por balance de movimiento.
- 9.- Proporcional por balance de fuerza.
- 10.- Controlador proporcional tipo "portavianda".
- 11.- Proporcional + Integral por balance de movimiento.
- 12.- Proporcional + Derivada por balance de movimiento.
- 13.- Proporcional + Integral + Derivada por balance de movimiento.
- 14.- Controladores con acción derivada anterior a la proporcional e integral y su comparación con los controladores que tienen dicha acción posterior a las mismas.

Retrasos

- 15.- Retrasos por distancia, velocidad.
- 16.- Retrasos de 1er. Orden.
  - 16.1 De elementos de medición.
  - 16.2 De proceso.
- 17.- Retrasos de segundo orden.
  - 17.1 De elementos de medición.
  - 17.2 De proceso.
- 18.- Retrasos en la línea de transmisión.

Sistemas de Control de Circuito múltiple

- 19.- Control en cascada.
- 20.- Control de impulso hacia adelante con retroalimentación.
- 21.- Control anticipatorio con retroalimentación.
- 22.- Control anticipatorio con retroalimentación combinado con cascada.
- 23.- Control de dominio a través de selector.
- 24.- Control de dominio a través del suministro.
- 25.- Control selector de distribución de flujo.
- 26.- Control selector en el suministro a sistemas con carga dividida.
- 27.- Control de relación fijada manualmente.
- 28.- Control digital de relación y cantidad total.
- 29.- Control de relación entre variables de distintas dimensiones.
- 30.- Control de relación ajustada automáticamente.
- 31.- Doble control.
- 32.- Control con rango dividido.

## Retroalimentación y Control Automático

### 1.- Introducción.

En las charlas precedentes, se ha descrito la forma de medir las diversas variables físicoquímicas tales como presión, - gasto, temperatura pH etc.

Se considerarán ahora los métodos de control automático para dichas variables, en vista de la parte fundamental que la retroalimentación juega en los sistemas de control se tratará de éste asunto en primer lugar.

Los símbolos normales que se usarán en los diagramas serán:

Un círculo representa un punto o lugar de reunión de dos o - más señales en cuyo punto puede tener lugar la suma o resta de dichas señales según se aclare con los signos pertinentes.

Un rectángulo una unidad del sistema que, pudiera ser, por - ejemplo un amplificador.

Las interconexiones se muestran como líneas rectas pero, debe tenerse en cuenta que en el sistema físico estas conexiones podrán ser dos alambres eléctricos, un tubo con una señal de aire, una tubería de proceso, una unión mecánica etc.

En términos generales, se tiene una retroalimentación cuando la salida de un sistema, en parte o en su totalidad se aplica a su entrada para producir una acción modificadora.

La fig. 1, representa una unidad de control cuya naturaleza exacta no es necesario establecer por el momento. La salida  $\theta_o$  se relaciona a la entrada  $\theta_i$  por la siguiente expresión:

$$\theta_o = G_i \theta_i \quad (1) \quad \therefore \quad \frac{\theta_o}{\theta_i} = G_i \quad (2)$$

A la razón de la salida entre la entrada se le llama función de transferencia.

De una manera muy simple, la figura 1, ilustra acción en circuito abierto. El significado del término se comprenderá mejor si se compara con la figura 2 en donde la salida es retroalimentada a la entrada, formando el arreglo un sistema cerrado.

Para ampliar el concepto de retroalimentación, pongamos ahora en dicho canal una unidad con función de transferencia  $G_2$  - - (fig. 3) y, si  $\theta_f$  es la salida de dicha unidad tendremos que:

$$\frac{\theta_f}{\theta_o} = G_2 \quad (3)$$

La retroalimentación  $\theta_f$  puede sumarse o restarse a la entrada  $\theta_i$  en forma tal que la entrada real a la la. unidad será:

$$\theta_i \pm \theta_f$$

Por el momento se considerará solamente la expresión con el signo negativo a cuya circunstancia se le llama por tanto "retroalimentación negativa", también llamada menos comunmente "retroalimentación de generativa".

## 2.- Retroalimentación negativa.

Si la entrada a la primera unidad es  $\theta_i - \theta_f$  se tendrá que:

$$\theta_o = G_1 (\theta_i - \theta_f) \quad (4)$$

Pero como

$$\theta_f = G_2 \theta_o \quad (5)$$

Se tendrá que

$$\theta_o = G_1 (\theta_i - G_2 \theta_o) \quad (6)$$

De donde se concluye que

$$T = \frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{G_1}{1 + G_1 G_2} \quad (7)$$

En que la relación  $\theta_o/\theta_i$  representa la función de transferencia T del sistema completo de la figura 3.

Un ejemplo sencillo ayudará a aclarar el significado físico de estos conceptos.

La figura 4 representa un amplificador de corriente directa con  $G_1 = 500$ .

Un divisor de potencial de tipo potenciómetro actúa como dispositivo de retroalimentación: supóngase este último en una posición tal que  $G_2 = 0.9$ , sustituyendo estos valores en la ecuación 7 se tiene:

$$T = \frac{500}{1 + 0.9 \times 500} = 1.1$$

Si aplicamos el mismo criterio a la figura 1, se tendría que:

$$G_1 = 500$$

Considerese ahora que se ajusta el potenciómetro en forma tal que  $G_2 = 0.5$  entonces:

$$T = \frac{500}{1 + 0.5 \times 500} = 1.34$$

en ambos casos hay una considerable reducción del valor de  $\theta_o / \theta_i$  en comparación con el sistema de circuito abierto.

La pregunta que surge de inmediato es, ¿Cual es entonces la ventaja de la retroalimentación negativa?

Para contestar esta pregunta examinemos el efecto de la variación en el parámetro  $G_1$

Derivando la ecuación 7 respecto a  $G_1$  se tiene:

$$\frac{\partial \theta_o}{\partial G_1} = \theta_i \left[ \frac{1}{(1 + G_1 G_2)^2} \right] \quad (8) \quad \text{pero:}$$

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{G_1}{1 + G_1 G_2} \quad (9) \quad \therefore \frac{\partial \theta_o}{\partial G_1} = \frac{\theta_o}{\theta_i G_1} \cdot \frac{1}{1 + G_1 G_2} \theta_i \quad (10)$$

Rearreglando:

$$\frac{\partial \theta_o}{\theta_o} = \frac{\partial G_1}{G_1} \left[ \frac{1}{1 + G_1 G_2} \right] \quad (11)$$

Ejemplo:

La ecuación 11 podrá comprenderse mejor asignando valores.

Supongase  $G_1 = 500$  igual que antes y hagámoslo disminuir a  $G_1 = 400$ , entonces  $\Delta G_1 = 100$  se considerará  $G_2$  fijo en 0.9.

$$\text{De este modo:} \quad \frac{\partial \theta_o}{\theta_o} = \frac{100}{500} \cdot \frac{1}{1 + 500 \times 0.9} = \frac{1}{2280}$$

O sea que para un 20% de cambio en  $G_1$  se ha tenido un cambio en la salida del orden de 0.04%.

Esta circunstancia que permite pequeñas variaciones en la salida con variaciones relativamente fuertes en  $G_1$  es particularmente útil en amplificadores neumáticos (sistemas tobera obturador) en donde las características y el desgaste de los componentes pueden afectar su ganancia  $G_1$  y sin embargo es vital el tener una buena estabilidad.

Otra variación que debe examinarse es la de  $G_2$ .

Derivando la ecuación 7 respecto a  $G_2$  se obtiene:

$$\frac{\partial \theta_0}{\partial G_2} = - \theta_1 \frac{G_1^2}{(1+G_1 G_2)^2} \quad (12) \text{ pero como } \theta_0 = \theta_1 \frac{G_1}{1+G_1 G_2} \quad (13)$$

$$\frac{\partial \theta_0}{\theta_0} = \frac{-G_1 G_2}{1+G_1 G_2} \cdot \frac{\partial G_2}{G_2} \quad (14)$$

Si la ganancia  $G_1$  es grande y el producto  $G_1 \cdot G_2$  es mucho mayor que 1 se tendrá que

$$\frac{\partial \theta_0}{\theta_0} = - \frac{\partial G_2}{G_2} \quad (15)$$

Lo anterior significa que un cambio en  $G_2$  es seguido de un cambio proporcional en la salida  $\theta_0$

Ejemplo:

Si  $G_2$  varía de 0.9 a 0.5 haciendo  $\Delta G_2 = 0.4$  y  $G_1 = 1000$

$$\frac{\partial \theta_0}{\theta_0} = - \frac{1000 \times 0.9}{1+1000 \times 0.9} \cdot \frac{0.4}{0.9} \approx \frac{0.4}{0.9}$$

De lo anterior se concluye que a un cambio en la ganancia  $G_2$  - corresponde un cambio proporcional de la misma magnitud en la salida  $\theta_0$ .

El significado de lo anterior se hará notar más adelante.

### 3.- Arreglo en serie y en paralelo de las unidades.

En un sistema retroalimentado, las unidades componentes pueden estar en serie o en paralelo.

En la figura 5, se muestran tres unidades en serie con ganancias respectivas  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$ .

De la figura 5:

$$\theta_a = G_1 \theta_i \quad (16); \quad \theta_b = G_2 \theta_a \quad (17) \quad \text{y} \quad \theta_0 = G_3 \theta_b \quad (18)$$

$$\theta_o = G_1 G_2 G_3 \theta_i \quad (19)$$

De lo que se infiere que el sistema es equivalente al de unidad sencilla de la parte inferior de la fig. 5 con una función de transferencia total T igual al producto de las 3 funciones de transferencia individuales.

Si el sistema retroalimentado se completase como muestra la línea punteada de la fig. 5., entonces

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{G_1 G_2 G_3}{1 + G_1 G_2 G_3} \quad (20)$$

En el arreglo en paralelo de la fig. (6), se considera que la entrada  $\theta_i$  se aplica a cada uno de los tres módulos, las salidas serán entonces  $\theta_i G_1$ ,  $\theta_i G_2$  y  $\theta_i G_3$  si están se suman para formar la salida del sistema  $\theta_o$  se tendrá - qué:

$$\theta_o = G_1 \theta_i + G_2 \theta_i + G_3 \theta_i = \theta_i (G_1 + G_2 + G_3) \quad (21)$$

La función total de transferencia estará dada por:

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = T = G_1 + G_2 + G_3 \quad (22)$$

Finalmente consideremos el arreglo serie paralelo de la fig. 7, con un criterio análogo se tendrá que la función total de transferencia "T" será:

$$T = G_1 G_2 + G_3 G_4$$

#### 4.- Ejemplos prácticos de circuitos con retroalimentación negativa.

Sistema tobera obturador, Fig. 8.

Este sistema es usado en la mayoría de los controladores neumáticos. Consiste en una tobera de barreno muy fino "A" el diámetro del cual oscila entre 0.5 y 1 mm.

El obturador "B" está pivoteado en forma tal que puede acercarse o alejarse de la boca de la tobera.

La distancia de este viaje es muy pequeña y puede serlo tanto como 0.0076 mm. y en ningún caso excede unas cuantas milésimas de pulgada.

El aire es suministrado a la tobera, a presión constante y a través de un orificio "C" que tiene un diámetro de entre la  $\frac{1}{2}$  y la  $\frac{1}{4}$  parte del de la tobera.

El aire

El aire escapa por la rendija entre el obturador y la boca de la tobera. Se establece una presión en la parte interior de la misma cuyo valor depende de la posición del obturador en su viaje. Cuando la tobera está cerca del obturador el valor de la presión es máximo y cuando está mas lejos es mínimo.

Una

Una relación típica se muestra en la fig. 9, la relación, como puede observarse, no es lineal pero, en el rango de operación de 3 a 15 psig. se puede considerar como tal para fines prácticos.

El obturador está normalmente acoplado, con el palancaje adecuado, al elemento de medición y se muestra así en la fig. 8, solo para propósitos de explicación.

Considérese un cambio de temperatura que deflexione al Bourdon y posicione el obturador mas cerca de la tobera, usando el punto O como pivote.

La presión aumentará y, dicha presión se retroalimenta al fuelle "D". "D" se infla y tiende a alejar el obturador de la tobera, ahora con O' como pivote. Esta acción tiende a reducir la presión en la tobera y, por tanto se alcanzará eventualmente una situación de equilibrio.

Si llamamos "y" al desplazamiento neto del obturador respecto a la tobera se tendrá que:

$$y = \left( \frac{b}{a+b} \right) \theta - \left( \frac{a}{a+b} \right) Sp \quad (23)$$

En donde:

$\theta$  = Desplazamiento debido al elemento primario.

S = Constante del fuelle (cm/kg/cm<sup>2</sup>).

p = Presión de salida.

El 2º término de la ecuación 22 representa la acción del fuelle de retroalimentación negativa.

¿Cuál ha sido el efecto de la unidad de retroalimentación negativa en esta unidad?

Debe recordarse que el viaje total del obturador es pequeñísimo. Sin el fuelle de retroalimentación, los fenómenos de juego, deslizamiento y similares podrían causar errores en el posicionamiento y es esencial que el obturador sea posicionado exactamente.

El fuelle de retroalimentación negativa permite que lo anterior se logre.

Observese también el efecto que las variaciones en la presión de suministro tienen sobre el sistema.

Supóngase que su valor disminuye, la presión en la tobera disminuirá asimismo. Pero, esta presión también existe en el fuelle, una disminución aquí significa que el fuelle se contraerá y, al hacerlo moverá el obturador mas cerca de la tobera aumentando, por lo tanto, la presión. En esta forma un efecto tiende a cancelar el otro haciendo mínima la influencia de la variación en la presión de suministro.

El diagrama de bloques del sistema neumático discentido se ilustra en la fig. 10.

#### 5.- Retroalimentación positiva.

Al principio de la discusión se estableció que la señal de retroalimentación  $\theta_f$  podía sumarse o restarse a la entrada  $\theta_i$ .

Ya hemos considerado  $\theta_i - \theta_f$  o sea el caso de la retroalimentación negativa, nos queda ahora por considerar el caso de o sea la retroalimentación positiva, en ella:

$$\theta_o = G_1 (\theta_i + \theta_f) \quad (24)$$

Si se introduce una función de transferencia  $G_2$  en la retroalimentación podemos establecer, en forma similar a como se hizo con la ecuación 7 que:

$$T = \frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{G_1}{1 - G_1 G_2} \quad (25)$$

La retroalimentación positiva se incorpora a sistemas mas asociados con retroalimentación negativa que por sí sola. La figura 11 muestra en forma de bloques el empleo de la retroalimentación positiva y negativa en una unidad de control.

La función de transferencia será por lo tanto:

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{G_1}{1 + G_1 G_2 - G_1 G_3} \quad (26)$$

Un ejemplo mostrará en forma mas clara la influencia de ambas retroalimentaciones:

$$\text{Si } G_1 = 10, G_2 = 0.5 \text{ y } G_3 = 0.56$$

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = 25$$

Si solo se tiene retroalimentación negativa la ganancia sería:

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = 1.66$$

Un ejemplo práctico de retroalimentación positiva se encuentra en la unidad de control neumática ilustrada por la fig. 12.

A la figura No. 8 se le agrega un fuelle opuesto y este se conecta a la cámara de la tobera a través de la restricción R.

El fuelle E tiende a ajustar el obturador en dirección opuesta a la del fuelle de retroalimentación negativa D.

El arreglo es en realidad una simple versión de un controlador proporcional más integral. Su operación se describirá mas adelante, aquí solo se usa como ejemplo de retroalimentación positiva.

Un punto sobre el que debe de llamarse la atención antes de terminar con el tema es que, en la ecuación 25, si el producto  $G_1 G_2$  es igual a 1 la función de transferencia  $\theta_o/\theta_i$  se hace infinita.

Cuando se obtiene una salida infinita para una entrada finita se tiene un estado de inestabilidad o saturación, según el caso.

### El Circuito Cerrado de Control Automático

#### 6.- Introducción

En la discusión precedente el circuito cerrado se ha considerado de manera general y los ejemplos de retroalimentación negativa se refirieron a circuitos cerrados en un instrumento mas que en un proceso.

El sistema de control automático en circuito cerrado aplicado a procesos industriales deberá ser examinado ahora.

La figura No. 13 muestra un diagrama de bloques de dicho circuito.

El elemento detector es sensible a la variable de proceso que se mide y controla y es por lo tanto el primer elemento del circuito en detectar un cambio en dicho valor.

El elemento detector se inserta en un punto adecuado del proceso y su señal es transmitida al elemento de medición, este elemento cuantifica el valor de la variable controlada.

El elemento de medición transmite una señal al elemento de comparación al cual se le ha alimentado previamente el valor deseado de la variable.

El valor medido es comparado con el valor deseado y si fueren diferentes se genera una señal de desviación o error.

Los elementos de comparación difieren considerablemente en su concepción y diseño.

La señal de error se transfiere al controlador, el cual genera una señal de control al elemento final, al hacerlo puede producir una señal que contenga uno o varios "modos" de control como el proporcional que se examinó en la figura 8.

La señal de control es recibida por el elemento final de control, en la mayoría de los casos una válvula, que a su vez, ya en el proceso altera el valor de la variable controlada cambiando la magnitud del "medio de control".

## 7.- Modos o acciones de control.

Ya se ha mencionado que la señal de control no solo depende del error y su magnitud sino de la función que el controlador genere del error, es decir de los "modos" de control que incorpore el elemento.

### 7.1 Control de dos posiciones.

Cuando el valor de la variable medida es mayor que el valor deseado se dice que la desviación tiene signo positivo y viceversa

En un controlador de dos posiciones la salida del mismo cambia del máximo al mínimo dependiendo solamente del signo de la desviación y no de la magnitud.

Esta acción se muestra en la figura 14.

Nótese que el elemento final nunca toma posiciones intermedias sino que está en una posición extrema u otra y que, la variable controlada oscila alrededor del valor deseado o punto de ajuste.

## 7.2. Control de Acción Proporcional.

En este modo de control la salida del controlador es proporcional a la desviación.

$$V = -k_1 \theta \quad (27) \quad \text{en donde:}$$

$V$  = Salida del controlador

$K_1$  = Constante de acción proporcional (Ganancia).

$\theta$  = Desviación o error.

Supongase que el elemento final de control es una válvula y que sigue fielmente la señal del controlador.

Es instructivo el examinar el efecto de un cambio de carga en un sistema con control proporcional.

Considerose el sistema de la figura 15 y supongase que el líquido del tanque se está usando para un número de consumos.

Las condiciones iniciales son tales que para la demanda específica la válvula permite el paso de líquido suficiente para mantener el nivel en el tanque en forma tal que la entrada y la salida de líquido por unidad de tiempo son las mismas.

Supongase que la demanda ahora se incrementa y se sostiene al valor incrementado.

El nivel desciende y ocurre una desviación, la señal del controlador hace que la válvula abra permitiendo un mayor flujo de líquido al recipiente, lo cual a su vez levanta el nivel, reduce la desviación y... hace que la válvula cierre. La demanda sostenida, por otra parte hace que la válvula se tenga que encontrar mas abierta para ser satisfecha.

Estos requerimientos en conflicto hacen que la variable controlada, en este caso nivel de líquido tomen un valor de - -

equilibrio pero, desviado del valor deseado (off set).

La figura 15 ilustra el efecto de un cambio de carga sostenido y el valor correspondiente en la variable controlada. Observese el efecto de oscilación que se produce antes de que el error tome su valor de equilibrio  $\theta$  con desajuste (off-set)  $\theta_2$  y observese que hay un valor de desajuste inicial  $\theta_1$  que está presente ya que el desajuste (off-set) es inherente al control proporcional.

Mientras que el desajuste moderado, puede ser tolerable en algunos procesos, en otros puede ser un inconveniente serio. Sin recurrir a otras formas de control es conveniente hacer que el desajuste sea tan pequeño como sea posible lo cual se logra variando  $K_1$  en la ecuación 27, cuyo valor se ha visto hasta el momento como una constante este cambio equivale a modificar la sensibilidad o ganancia del controlador. Por ejemplo si para la misma señal  $V$  hemos hecho el valor de  $K_1$  la mitad que antes  $\theta$  tendrá que ser el doble para mantener la misma salida. Viéndolo desde otro punto de vista, para todo el rango de salida del controlador, ajustando  $K_1$  se podrán obtener un rango correspondiente de valores de desviación, a este rango se le dá el nombre de "Banda Proporcional" y puede expresarse como el porcentaje del rango total del instrumento que hace variar la salida de un extremo al otro.

La relación puede verse en la fig. 16, en que la desviación  $\theta$  tiene un valor sostenido y se indica la correspondiente salida del controlador para 50, 100 y 200% de banda proporcional.

En los instrumentos comerciales la banda proporcional se hace ajustable con objeto de poder obtener mínimas desviaciones (off-sets) con control estable bajo diferentes condiciones de proceso.

En suma, la desviación (off-set) es inherente al control proporcional, el valor de la misma dependerá de la magnitud del cambio de carga y de la amplitud de la banda proporcional.

La mínima banda proporcional permisible con que el sistema oscile depende de cada proceso en particular cuando se puede usar una banda muy angosta la desviación (off-set) pierde importancia.

### 7.3 Acción Integral.

La desviación (off-set) como hemos visto es inherente al - -

control proporcional y, otro tipo de control deberá ser introducido si se desea eliminarla.

La acción integral de un controlador puede llevar esto a cabo.

Se define como una acción en que la salida del controlador cambia con una velocidad proporcional a la desviación es - decir:

$$\frac{dv}{dt} = -k_2 \theta \quad (28) \quad \text{expresado en otra forma:}$$

$$v = -k_2 \int \theta dt \quad (29)$$

en donde  $K_2$  es la constante de acción integral que recibe su nombre de la ecuación 29.

En esta forma de control el elemento final de control se mueve a una velocidad proporcional a la desviación y continuará haciéndolo mientras esta exista, en forma tal que no habrá offset pero, este tipo de control, por sí mismo llevará demasiado tiempo en restaurar la variable a su punto de ajuste. La figura 17 muestra el efecto de la acción integral solamente.

#### 7.4 Acción Derivada.

Podría pensarse que la combinación de acción proporcional e integral es todo lo que se requiere para un control de proceso normal, sin embargo, no es así, debido fundamentalmente a los procesos con retrasos por velocidad distancia y transferencia de energía, que hacen que los procesos sean difíciles de controlar.

Para evitar la oscilación continua en estos casos, se tendría que hacer la banda proporcional muy amplia y la velocidad de la acción integral muy lenta, lo que provocaría que cuando - hubiere cambios de carga el tiempo de recuperación al punto de ajuste se haría muy largo, para evitar lo anterior es que se usa la acción derivada.

Se define como acción de control derivada aquella en que la salida del controlador es proporcional a la rapidez de cambio de el error, es decir

$$v = -k_3 \frac{d\theta}{dt} \quad (30)$$

En donde  $K_3$  es la constante de acción derivada.

Mientras que la acción proporcional y, en menor grado la acción integral pueden usarse solas, la acción derivada deberá estar por fuerza asociada a una o ambas de las acciones anteriores ya que por sí sola no tiene aplicación ya que depende de  $d\theta/dt$  y no de  $\theta$  y si  $\theta = cte$   $d\theta/dt = 0$

En forma tal que esta acción no puede provocar corrección de el elemento final de control no importando cuan grande sea mientras este sea constante.

La fig. 18 muestra las acciones proporcional e integral combinadas.

### 7.5 Combinación de varias acciones.

Las combinaciones de acciones de control mas usuales son:

Proporcional + Integral  
Proporcional + Integral + Derivada

y, en menor grado:

Proporcional + derivada.

## CONTROLADORES

En el capítulo anterior se describieron las cuatro principales formas de control. en este capítulo nos ocuparemos de examinar como funcionan los aparatos de control reales que producen los algoritmos de control mencionados.

Los instrumentos que aquí se van a analizar son típicos pero, más adelante, al ver al estudiante cada marca en particular podrá observar que, con ligeras variantes los razonamientos matemáticos que aquí se exponen son válidos para cualquier controlador.

### 8.- Control proporcional por balance de Movimiento.

La fig. 8, estudiada en capítulo anterior muestra como se usa un fuelle metálico, o dispositivo similar, para dar una retroalimentación negativa en un sistema tobera orificio. Se indicó también que este dispositivo era capaz de producir una acción de control proporcional.

Examinemos ahora la combinación tobera, obturador y fuelle en forma mas detallada y como un controlador proporcional.

El dispositivo se ilustra nuevamente en la fig. 19 lo que es prácticamente la misma que la fig. 8 solo que sin el elemento de medición.

Como ya se vió antes el movimiento neto del obturador respecto a la toberas es:

$$y = \left(\frac{b}{a+b}\right)x - \left(\frac{a}{a+b}\right)S \cdot p \quad (31)$$

En donde:

X - Movimiento del obturador debido a la desviación, entre valor medido y deseado.

S - Constante del resorte.

De la fig. 9, la pendiente del sistema tobera obturador es:

$$G = -\frac{p}{y} \quad (32) \quad y = -\frac{p}{G} \quad (32a)$$

Esta relación tiene la naturaleza de un factor de amplificación o ganancia. Su valor puede ser estimado de la curva, como si fuera una línea recta en el tramo de 3 a 15 psig. considerando un incremento de 4 p.s.i.g. como

$$G = -\frac{4}{0.00005} = -8 \times 10^4 \frac{lb}{in^2 \cdot in} \quad (33)$$

Sustituyendo en 31 el valor de y dado por 32 a.

$$-\frac{p}{G} = \left(\frac{b}{a+b}\right)x - \left(\frac{a}{a+b}\right)S \cdot p \quad (34)$$

$$\therefore p \left[ \left(\frac{aS}{a+b}\right) - 1 \right] = \frac{bG}{a+b} x \quad (35)$$

Pero, de acuerdo con 33 G es mucho mayor que 1 y por tanto  $\frac{aS}{a+b}$  es también mucho mayor que 1.

Tomando esto en consideración la ecuación 35 se reduce a:

$$p = \left(\frac{b}{aS}\right)x \quad (36)$$

Si se supone, como siempre es el caso que X es proporcional a  $\Theta$  (error), o sea que

$x = \alpha \theta$  (37) en que  $\alpha = \text{cte. de proporcionalidad.}$

combinando 36 y 37 se tendrá

$$p = \frac{b\alpha}{as} \theta \quad (38) \quad \text{o sea} \quad p = -k_1 \theta \quad (39)$$

Ecuación que define al control proporcional y en que:

$$k_1 = \frac{-b\alpha}{as}$$

Ajuste de banda proporcional.

La importancia del ajuste de banda proporcional ya ha sido discutido con anterioridad y, como ya se vió, equivale a - variar  $K_1$ .

Observando la ecuación 38 se nota que esto puede lograrse - modificando la relación  $b/a$ .

Hay un sinnúmero de maneras de lograr que  $b/a$  sea ajustable a voluntad.

Una de esas maneras se ilustra en la fig. 20.

Posteriormente durante el desarrollo de este curso el estudiante podrá ver como se logra alterar esta relación  $a/b$  en los controles que fabrican las diversas compañías que en este curso participan.

## 9.- Control proporcional por balance de fuerza.

Las características básicas de un controlador diseñado bajo - este principio se ilustran en la figura 21.

Puede observarse que la viga, que forma una palanca intermóvil está sujeta a cuatro fuerzas, tres debida a los fuelles y una a un resorte.

El valor deseado (set point) estará representado por una presión proporcional al mismo,  $\theta_s$  y, esta presión  $p_s$  actuará sobre el fuelle "A". De similar manera la variable medida -  $\theta_m$  estará representado como una presión  $p_m$  actuando sobre el fuelle "B". Las fuerzas desarrolladas en los fuelles A y B se oponen una a la otra en la viga y, cualquier deflexión en la misma debida a dichas fuerzas será una medida del error  $\theta$ . En el lado opuesto de la viga esta el fuelle proporcional o de retroalimentación negativa "C" al cual se le opone

la fuerza del resorte "D".

El funcionamiento del sistema tobera obturador es similar al discutido antes. Se supone que cada fuelle tiene la misma área efectiva A.

Si F es la fuerza debida al resorte, P la presión inicial en el fuelle de retroalimentación y p el incremento de presión debido a un error, por balance de fuerza se puede establecer la ecuación siguiente:

$$(P+p)Aa + p_s \Delta b = p_m \Delta b + Fa \quad (40)$$

$$\therefore P+p = \frac{b}{a} (p_m - p_s) + \frac{F}{A} \quad (41)$$

$$p = \frac{b}{a} (p_m - p_s) + \left(\frac{F}{A} - P\right) \quad (42)$$

o sea 
$$V = -k_1 \theta + \beta \quad (43)$$

y el sistema es un controlador proporcional.

Nótese que cuando el error (Pm - Ps) es cero p es cero y la presión inicial P estará dada por

$$p = \frac{F}{A} = \beta \quad (44)$$

En muchos controladores  $\beta$  está fija a 9 psig., en otros es ajustable a voluntad, llamándosele a este ajuste el "reajuste manual", el cual sirve para, manualmente eliminar el off-set característico de estos controladores.

La banda proporcional puede variarse al cambiar la relación b/a.

Al ver el funcionamiento de los controladores de los diversos fabricantes se verá los distintos métodos de lograrlo.

### 10.- Unidad de control proporcional tipo "portavianda".

Los elementos de un controlador de este tipo se ilustran en la figura 22, la unidad tiene tres diafragmas arreglados en forma de "portavianda". Los diafragmas superior e inferior tienen la misma superficie pero son mayores que el central, los diafragmas están sujetos en su centro a una columna de balance que actúa como obturador sobre una tobera.

Al igual que en el controlador de viga el valor deseado  $\theta_s$

y la variable medida  $\theta$  están representadas por presiones de aire análogas  $P_s$  y  $P_m$ .

La presión de salida inicial de la unidad en equilibrio es  $P$ .

En este instrumento se tienen 2 características de interés especial, la banda proporcional se ajusta por medio de una restricción variable  $R_2$  que proporciona una retroalimentación positiva al diafragma superior. La restricción fija  $R_1$  y la variable  $R_2$  forman un divisor de presión neumático como se ilustra en la figura 23.

Funcionamiento:

Considerese un incremento en la variable medida  $\theta_m$  habrá una desviación  $\theta_m - \theta_s$  representada por  $P_m - P_s$ .

En una gran mayoría de las unidades que se construyen bajo este principio es usual que la superficie de los diafragmas superior sea el doble que la del diafragma de enmedio, supongamos que éste sea el caso, siendo las superficies respectivas  $A$  y  $2A$ . Sea  $p$  el incremento de presión en la salida debido al error  $\theta$ .

En el equilibrio todas las fuerzas deben estar en balance, entonces:

$$2\Delta p_i + \Delta p_s + 2\Delta p_m = 2\Delta(P+p) + \Delta p_m + 2\Delta p_s \quad (45)$$

Esta expresión puede reducirse a:

$$p_i + \frac{1}{2}(p_m - p_s) = P + p \quad (46)$$

Considerese ahora la figura 23 suponiendo el flujo laminar.

Si  $q$  es el gasto de aire

$$q = \frac{p_s - p_i}{R_1} = \frac{p_i - (P+p)}{R_2} \quad (47)$$

Despejando  $p_i$

$$p_i = \frac{(P+p)}{R_1 + R_2} R_1 + \frac{p_s}{R_1 + R_2} R_2 \quad (48)$$

Sustituyendo el valor de  $p_i$  dado por 48 en 46

$$P+p = \left( \frac{R_1 + R_2}{2R_2} \right) (p_m - p_s) + p_s \quad (49)$$

$$p = \left( \frac{R_1 + R_2}{2R_2} \right) (p_m - p_s) + p_s - P \quad (50)$$

Lo que puede reorganizarse como

$$V = -k_1 \theta + \gamma \quad (51) \quad \text{en donde } V = P + p$$

$$\text{y } k_1 = - \frac{R_1 + R_2}{2R_2} ; \theta = p_m - p_s \text{ y } p_s = \gamma \text{ (cte)}$$

Por la ecuación se observa que el dispositivo se comporta como un controlador proporcional con banda proporcional - ajustable por medio de la válvula de aguja R1.

Considerando nuevamente la ecuación 50 se puede observar - que cuando la desviación es cero

$$P = p_s \quad (52)$$

Es decir la salida del controlador cuando no hay error es igual al set point.

Este tipo de controladores pueden tener un reajuste manual por medio de un resorte que actúe sobre la barra de balance.

#### 11.- Unidad de control proporcional mas integral por balance de movimiento.

Como la acción integral se halla casi invariablemente asociada con la acción proporcional, se considerarán ambas en combinación.

El controlador que se estudia tiene un fuelle proporcional y otro integral actuando uno opuesto al otro en la forma que ilustra la figura 24.

El esquema es prácticamente el mismo que el de la fig. 12 - vista anteriormente en la cual el fuelle integral actúa como retroalimentación positiva.

Considerese primero un flujo laminar de aire a través de una restricción en una cámara cerrada, como se indica en la fig. 25. La presión  $p$  corriente arriba de la restricción es mayor que  $p_1$  corriente abajo y  $p_1$  es la presión que existe en la cámara cerrada. Habrá flujo hasta que  $p = p_1$ , pero, en cualquier instante, la rapidez de cambio de  $p_1$  estará dada por:

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{p - p_1}{e} \quad (53)$$

En donde E es una constante que depende del valor de la resistencia que presenta el orificio y del volumen de la cámara.

Las condiciones descritas para la fig. 25, corresponden a las que existirían en la restricción y fuelle integrales del controlador considerado después de que se halla presentado un error y antes de que el equilibrio se restablezca nuevamente.

Supongase que ocurre un cambio súbito en la variable medida (de escalón o step-change) y se produce una desviación  $\theta$  habrá un desplazamiento  $x$  del obturador en el pivote inferior, este desplazamiento es proporcional a  $\theta$  es decir

$$x = \alpha \theta$$

El cambio es tal que el fuelle de acción proporcional tendrá una presión  $P + p$ , en donde  $P$  es la presión inicial en ambos fuelles con el sistema en equilibrio.

Debido a la restricción la presión en el fuelle integral aumenta lentamente, siendo, en cualquier instante  $P + p_1$ . La relación entre las presiones y la desviación puede expresarse como:

$$(P+p) - (P+p_1) = \frac{b\alpha}{as} \theta \quad (54) \quad \text{Ver ecuación 38 y su deducción}$$

o sea

$$p - p_1 = \frac{b\alpha}{as} \theta \quad (55)$$

Pero como también (ver 53),

$$p - p_1 = e \frac{dp_1}{dt} \quad (56)$$

Entonces

$$e \frac{dp_1}{dt} = \left( \frac{b\alpha}{as} \right) \theta \quad (57) \quad \text{y} \quad p_1 = \frac{b\alpha}{eas} \int \theta dt \quad (58)$$

Sustituyendo este valor de  $p_1$  en 55 se tiene que

$$p - \frac{b\alpha}{eas} \int \theta dt = \frac{b\alpha}{as} \theta \quad (59) \quad \text{y} \quad p = \frac{b\alpha}{as} \left[ \theta + \frac{1}{e} \int \theta dt \right] \quad (60)$$

o sea

$$V = -k_1 \theta - k_2 \int \theta dt \quad (61)$$

Ecuación que define el control proporcional mas integral por lo que el dispositivo se comporta como tal.

Concepto de la constante de acción integral en términos de unidades de tiempo.

Consideremos la figura 26.

En el instante  $t_1$  se produce un cambio en escalón en la variable  $\theta_m$  tal que se produce un error  $\theta$

El cambio en la salida debido a la acción proporcional se produce de inmediato en el mismo instante  $t_1$  supongamos ahora que el error  $\theta$  permanece hasta el instante  $t_2$  tomando este tiempo de magnitud tal que:

$$-k_1 \theta = -k_2 \int_{t_1}^{t_2} \theta dt \quad (62)$$

Considerando que para este caso  $\theta = cte$  la expresión se transforma en:

$$k_1 \theta = k_2 \theta (t_2 - t_1) \quad (63)$$

Llamando  $t_2 - t_1 = t_i$  ( $t_i$  - tiempo de acción integral).

De 63 se deduce que

$$t_i = \frac{k_1}{k_2} \quad (64)$$

aplicando este concepto a 61

$$V = -k_1 \left[ \theta + \frac{1}{t_i} \int \theta dt \right] \quad (65)$$

En esta ecuación el tiempo de acción integral está dado en términos de la ganancia  $K_1$  (acción proporcional) y del tiempo  $t_i$  que tarda la acción integral del controlador en efectuar una corrección igual que la de la acción proporcional al permanecer el error  $\theta$  constante.

Es por esto que muchos fabricantes acostumbran calibrar la velocidad de reajuste en términos de repeticiones por minuto aunque también lo hagan algunos otros con el concepto recíproco que es el de minutos por repetición.

La rapidez de la acción integral aumenta al aumentar las repeticiones por minuto o disminuir los minutos por repetición según el caso.

Es interesante también notar, que de acuerdo con las ecuaciones 60 y 61

$$k_1 = \frac{b\alpha}{a s} \quad \text{y} \quad k_2 = \frac{b\alpha}{a s e} \quad \text{y segun 64} \quad t_i = \frac{k_1}{k_2}$$

$$\therefore t_i = \frac{\frac{b\alpha}{a s}}{\frac{b\alpha}{a s e}} = e \quad (66) \quad \therefore t_i = RC \quad (67)$$

Es decir el tiempo de acción integral es igual a la constante de tiempo del conjunto resistencia capacidad del controlador.

12.- Unidad de control con acción proporcional mas derivada por balance de movimiento.

La unidad que produce este tipo de control se ilustra en la figura 27.

Para obtener la acción combinada, proporcional y derivada por este instrumento produce se coloca una restricción entre la tobera y el fuelle de retroalimentación negativa (fuelle proporcional).

Nuevamente tenemos un flujo de aire a través de una restricción en un volumen cerrado pero su efecto es muy diferente que en el caso anterior.

Supongamos a la unidad en equilibrio y que, súbitamente la variable medida sufre un cambio en escalón, la presión en la tobera será mayor durante un tiempo que la presión  $p_1$  en el fuelle proporcional, se cumplirá la siguiente ecuación.

$$p - p_1 = f \frac{dp_1}{dt} \quad (68) \quad \text{en que} \quad f = R_2 C_2 \quad (69)$$

Pero como el fuelle de retroalimentación contribuye por sí mismo a dar acción proporcional,

$$p_1 = \frac{b\alpha}{a s} \theta \quad (70) \quad \text{y de aquí} \quad \frac{dp_1}{dt} = \frac{b\alpha}{a s} \frac{d\theta}{dt} \quad (71)$$

sustituyendo el valor de  $\frac{dp_1}{dt}$  dado por (71) y el de  $p_1$  dado por (70) en (68).

$$p - \frac{b\alpha}{a s} \theta = f \frac{b\alpha}{a s} \frac{d\theta}{dt} \quad (72)$$

$$\therefore p = \frac{b\alpha}{a s} \theta + f \frac{b\alpha}{a s} \frac{d\theta}{dt} \quad (73)$$

o sea

$$V = - k_1 \theta - k_3 \frac{d\theta}{dt} \quad (74)$$

La ecuación es la de un control proporcional con acción derivada y por lo tanto el instrumento se comporta como tal.

La ecuación (73) también podría escribirse:

$$p = \frac{b\alpha}{as} \left( \theta + R_2 C_2 \frac{d\theta}{dt} \right) \quad (75)$$

La figura 28 ayudará a comprender el concepto de tiempo de acción derivada.

Supóngase que, después de estar en equilibrio se aplican al sistema valores de la variable medida tales que

$$\frac{d\theta}{dt} = \text{cte} = k_4 \quad (76) \quad \text{a partir del tiempo } t_1$$

(Ramp change)

En este caso la salida del controlador debida a la acción derivada será en cualquier tiempo mayor que  $t_1$ :

$$k_1 R_2 C_2 \frac{d\theta}{dt} = k_1 R_2 C_2 k_4 \quad (77)$$

La salida debida a la acción proporcional crecerá con el tiempo y en cualquier instante será

$$k_1 \theta = k_1 \int_{t_1}^{t_2} \frac{d\theta}{dt} dt = k_1 k_4 (t_2 - t_1) \quad (78)$$

Si tomamos un lapso adecuado de  $(t_2 - t_1)$  podremos hacer que, en ese lapso la salida debida a la acción proporcional sea igual a la de la acción derivada, en cuyo caso y llamando a dicho particular lapso  $t_D$

$$k_1 R_2 C_2 k_4 = k_1 k_4 t_D \quad (79) \quad \text{y} \quad t_D = R_2 C_2 \quad (80)$$

De aquí concluimos:

El tiempo  $t_D$  de acción derivada, en unidades de tiempo, es - aquel que se requiere para que la corrección por acción proporcional iguale a la corrección por acción derivada y dicho tiempo es igual a la constante  $R_2 C_2$  de la capacidad y restricción del sistema que se describe.

El ajuste de  $t_D$  en los controles del tipo del que se describe se hace variando  $R_2$ .

Los controles comerciales de que se dispone tienen graduado el ajuste de  $t_D$  en minutos y la acción derivada de los mismos

será tanto mas intensa cuanto mas grande es  $t_D$

- 13.- Unidad de control proporcional mas integral mas derivada por balance de movimiento.

La ecuación ideal del control de tres modos es:

$$V = -k_1\theta - k_2 \int \theta dt - k_3 \frac{d\theta}{dt} \quad (81)$$

En forma similar a la anterior, demuestre el estudioso que el arreglo de la figura 29 si no reproduce con exactitud la función ideal sí produce una que se le aproxima bastante.

- 14.- Controladores con acción derivada antes de la proporcional e integral y controladores sin esta característica:

La ecuación real de un controlador de tres modos del tipo ilustrado en la fig. 29 es:

$$p = P - k_1 \left( 1 + \frac{2t_D}{t_i} \right) \left[ \theta + \frac{1}{t_i \left( 1 + \frac{2t_D}{t_i} \right)} \int \theta dt + \frac{t_D}{1 + \frac{2t_D}{t_i}} \frac{d\theta}{dt} \right] \quad (82)$$

Observese que el controlador tiene algunos inconvenientes, los principales son:

- a-) Los ajustes de ganancia (banda proporcional) tiempo de acción integral y tiempo de acción derivada tienen interacción uno sobre otro.
- b-) La acción derivada se produce para un cambio rápido del error el cual puede producirse por una variación normal en la variable de proceso (la cual normalmente no es muy rápida) o por el brusco cambio en el punto de ajuste hecho por un operador inexperto, lo cual sí puede ser muy rápido y producir un salto indeseable en la salida del controlador.

Este segundo efecto es del todo punto indeseable.

En los instrumentos de medición directa con controladores como el que describe la fig. 29 no hay nada que hacer y debe sufrirse la ecuación de operación con todos sus inconvenientes.

Sin embargo, cuando se opera con transmisores y receptores controladores existen dos remedios que son equivalentes a lo mismo.

- a-) Usar transmisores con acción derivada integral (los cuales solo son disponibles para temperatura).
- b-) Usar controladores que a la señal de la variable le sume la derivada de la misma con respecto al tiempo y después, compute el error sobre dicha señal y operen con la ecuación

$$V = -k_1 \left[ \theta + \frac{1}{t_i} \int \theta dt \right] \quad (83)$$

Nótese que, procediendo en esta forma no hay interacción sobre los ajustes del controlador y el efecto de la acción derivada no se manifiesta con cambios bruscos en el punto de ajuste, sino solo en la variable controlada.

Debe advertirse, sin embargo, que no todos los fabricantes ofrecen el tipo de controlador descrito.

#### Retrasos

La controlabilidad de una planta depende en gran parte de el retraso que se tenga entre un cambio de condiciones en un punto y su manifestación en otro. Esto es a tal punto importante que se puede decir que "Los retrasos son el veneno del control automático".

Los retrasos pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- a-) Retrasos por distancia y velocidad.
- b-) Retrasos por tiempo de transferencia.

#### 15.- Retrasos por distancia, velocidad.

El retraso por distancia y velocidad puede definirse como el tiempo transcurrido entre el cambio en el valor de una señal y su manifestación sin cambio en alguna parte posterior del sistema, retraso proveniente únicamente de la velocidad finita de propagación de dicha señal.

La tendencia es restringir el significado a los casos en que hay movimiento de materia.

En la figura 30 se ilustra un ejemplo, el elemento detector, un termómetro está situado a una distancia  $L_1$  del proceso, en una tubería. El medio de control "A" entra de la planta al proceso con una velocidad  $V$  ft/seg. El tiempo que transcurre entre cualquier cambio en la temperatura del proceso

y su detección por el termómetro será:  $L/V_1$ .

Por ejemplo si la distancia son 200 metros y la velocidad de 50 m/seg. el retraso por este concepto sera de 40 segundos.

También puede ocurrir un retraso de distancia velocidad - cuando la unidad de corrección esta a una gran distancia del proceso.

Si la válvula en la fig. 30 estuviera muy alejada del proceso se experimentaría un retraso entre el momento en que la válvula se mueve y el momento en que el proceso recibe el nuevo flujo de equilibrio, esto será particularmente mas notable si el fluido es compresible.

Retrasos por tiempo de transferencia.

Este tipo de retrasos ocurren normalmente en mas de un punto en el circuito de control.

Los elementos primarios de medición son normalmente causantes de retrasos por tiempo de transferencia y como son sensibles a cambios en la variable controlada se deberán considerar antes que los de proceso.

El significado de retrasos de primer orden y de segundo se hará aparente durante el desarrollo del tema.

## 16.- Retrasos de 1er. orden.

### 16.1 De elementos de medición.

Los retrasos mas serios por este concepto ocurren en las mediciones de temperatura.

En un medio cuya temperatura se mide es necesario que ocurra una transmisión de calor de dicho medio, a través de las paredes de un termopozo y/o bulbo hasta la parte sensible del elemento medidor, siempre que ocurra un cambio, en la temperatura medida. Cualquier retraso que aquí ocurra es por lo tanto estrictamente hablando a la velocidad en la transferencia de energía.

Se examina el detector de temperatura porque su retraso puede ser perjudicial al control automático.

Si consideramos un bulbo de un sistema termal, se puede hacer una analogía con un circuito eléctrico con una resistencia y

una capacidad.

Por ejemplo, en el caso de un bulbo de acero lleno de mercurio hay una resistencia térmica, formada principalmente por la película fluida del exterior. Existe también una capacidad térmica debida al volumen de mercurio que llena al bulbo.

Observando la figura 31 se puede notar que, dicho sistema se puede aproximar a una resistencia en serie con un condensador.

Si se aplicara un súbito cambio (step change) a la temperatura que se mide, siguiendo la analogía eléctrica podríamos establecer:

$$RC \frac{dT_R}{dt} + T_R = T_1 \quad (84)$$

En donde:

R.- Resistencia térmica de la película fluida

C.- Capacidad térmica del bulbo y su llenado.

$T_R$ .- Temperatura en cualquier instante  $t$  después de un súbito cambio.

$T_1$ .- Temperatura final al alcanzar el equilibrio.

La solución a la ecuación diferencial (84) es:

$$T_R = T_1 (1 - e^{-t/RC}) \quad (85)$$

Al producto  $RC$  se le conoce como constante de tiempo del sistema, matemáticamente es el valor de tiempo que se requiere para que el exponente de  $e$  se haga 1, y físicamente corresponde al tiempo necesario para que  $T_R$  alcance el 63.2% del valor final, es decir de  $T_1$ .

La figura 32 muestra el valor de  $T_R$  graficado VS el tiempo para un cambio súbito de 0 a  $T_1$ . La gráfica muestra claramente la naturaleza del retraso al que con frecuencia también se le llama exponencial.

Es frecuente el llevar a cabo pruebas para determinar el valor de la constante de tiempo de los instrumentos de medición de temperatura, pues si se van aplicar para control automático no solo son importantes los parámetros de exactitud etc., sino también de la constante de tiempo. Por ejemplo, un transmisor neumático de buena calidad tiene una constante  $RC$  del orden de 2 segundos (Foxboro Modelo 12A).

Al retraso se le llama de 1er. orden porque la derivada de orden mas alto que hay en la ecuación diferencial que lo define es de 1er. orden.

Respuesta de un retraso de 1er. orden a un cambio de rapidez constante (Ramp change).

Si hacemos variar a  $T_1$  en forma tal que  $T_1 = At$  (86) en donde A es una constante, se podrá hallar aplicando (86) a (84) e integrando que:

$$T_R = A \left[ t - RC(1 - e^{-t/RC}) \right] \quad (86) \quad T_R = T_1 - ARC(1 - e^{-t/RC}) \quad (86a)$$

De la ecuación 86 y 86a su gráfica, figura 33. puede concluirse que el valor de la constante de tiempo está dado por la diferencia entre las abscisas de  $T_R$  y  $T_1$  cuando su ordenada tiene el mismo valor para ambas, siempre y cuando  $T_R$  haya dejado de variar en forma curva para hacerlo en su parte recta.

Respuesta con retraso de 1er. orden a un cambio de forma sinusoidal.

Supongamos que la variación de temperatura del medio que se mide obedece a:

$$T_1 = T_0 \text{ sen } \omega t \quad (87) \text{ en donde:}$$

$T_1$ .- La temperatura del medio en cualquier tiempo t durante el ciclo.

$T_0$ .- La amplitud máxima del cambio

$\omega$  - La velocidad angular o sea  $\omega = 2\pi f$  en que f es la frecuencia.

Aplicando este concepto a la ecuación básica del fenómeno (84) tendremos que:

$$RC \frac{dT_R}{dt} + T_R = T_0 \text{ sen } \omega t \quad (88)$$

Resolviendo esta ecuación diferencial se obtiene

$$T_R = \frac{T_0}{\sqrt{1 + \omega^2 (RC)^2}} \text{ sen } (\omega t - \phi) \quad (89)$$

$\phi = \text{arc tan } \omega RC$

Observando la ecuación (89) y su representación gráfica, - fig. 34 se concluye.

La variación máxima sentida por el termómetro ha sufrido una atenuación que se aprecia en la gráfica y que cuantitativamente es el valor del radical en la ecuación.

Hay también un defasamiento representado por  $\phi$ , dicho defasamiento al obtener la ecuación 89 se calcula también que - está dado por:

$$\phi = \arctan \omega RC \quad (90)$$

De la expresión 89 puede concluirse que tanto la frecuencia - de la entrada como la constante de tiempo del sistema afectan la respuesta del dispositivo.

¿Qué ocurriría en un hipotético sistema con constante de tiempo  $RC = 0$ ?

Observese la fig. 34 y se verá que un sistema de control automático se vería totalmente engañado por un transmisor de - variable en condiciones tales pues observese que la mayor - parte del tiempo estaría recibiendo información falsa, es de - cir cuando la temperatura esta por encima de la media el trans - misor indica lo contrario, cuando la temperatura asciende al transmisor indica que desciende etc.

Es obvio que con información de esta naturaleza el sistema - de control difícilmente operará en forma eficiente.

## 16.2 Retrasos de 1er. orden en el proceso.

Las figuras 35, a y b muestran dos procesos muy sencillos, - en la 35a el tanque está siendo llenado por el tubo de entra - da y vaciado por una bomba de desplazamiento positivo.

En la figura 35b el flujo de salida depende de la diferencia de presión ejercida por la altura hidrostática del nivel del tanque y la presión de descarga a la salida del mismo, co - rriente abajo de la válvula.

Analicemos que ocurre en ambos ejemplos cuando hay un súbito cambio en el gasto de entrada (step-change).

Se considera que, inicialmente, entrada y salida estan balan - ceadas, y los niveles constantes.

En la figura 35a, el gasto que saca la bomba permanece constante e independiente del nivel y por lo tanto éste empezará a ascender a velocidad constante. La velocidad de ascenso del nivel dependerá de el incremento en el flujo de entrada.

Si el tanque tiene una capacidad  $C$  (metros cúbicos de líquido para hacer ascender el nivel un metro, o sea el área transversal del tanque). Si, además  $Q$  es el incremento súbito en el gasto ( $m^3/\text{seg}$ ),  $h$  el valor del nivel y  $t$  el tiempo a partir del incremento en el gasto y  $k$  una constante se tendrá - que:

$$\frac{dh}{dt} = k \frac{Q}{C} \quad (91)$$

Con un tal sistema nunca volverá a haber equilibrio puesto - que si es positivo el nivel crecerá indefinidamente y si es negativo descenderá hasta vaciarse.

En la figura 35b el efecto inicial será que el nivel suba al presentarse el nuevo flujo de entrada. Este incremento provoca que la presión hidrostática a la entrada de la válvula aumente y, suponiendo presión constante después de la válvula, aumentará también el gasto de salida, llegará, por tanto, un momento en que se alcance un nuevo estado de equilibrio - cuando se alcance la altura hidrostática necesaria para igualar el gasto de salida con el de entrada.

En forma similar a como se derivó la ecuación 84 podemos establecer que

$$RC \frac{dh}{dt} + h = h_1 \quad (92)$$

En donde  $h_1$  será el nuevo valor de equilibrio del nivel.

La solución de esto es  $h = (1 - e^{-t/RC}) h_1$  (93)

Ecuación muy similar a la No. 85, por tanto el sistema se comportará igual que el anterior a cambios de gasto de rapidez de cambio constante y a variaciones sinusoidales en el flujo de entrada.

#### 17.- Retrasos de segundo orden.

Los retrasos de este tipo reciben su nombre del orden de la derivada mas alta en la ecuación diferencial que los define, la cual es de 2ª orden.

Se presentan en la práctica tanto en los elementos de medición como en el proceso mismo aunque, por fortuna con poca

frecuencia y susceptibles de modificarse en forma tal que se comporten muy cercanamente a como lo hace un sistema de 1er. orden.

Un ejemplo típico lo constituye un bulbo de termómetro con su termopozo el cual tiene dos resistencias y dos capacidades, el sistema y su análogo eléctrico se muestran en la fig. 36.

Obsérvese que si se reduce la resistencia  $R_2$  a un valor muy pequeño comparado con  $R_1$  quedaría prácticamente un sistema de 1er. orden con constante de tiempo igual a  $R_1 (C_1 + C_2)$ .

Esta reducción de  $R_2$  puede lograrse llenando de limaduras de hierro o de un fluido conductor el espacio de aire entre bulbo y termopozo.

El caso de un retraso de 2ª orden puede presentarse intensamente en termopares cuya punta no está apoyando firmemente contra el metal del termopozo.

La discusión matemática de los retrasos de 2ª orden está fuera del alcance de esta plática.

Si se desea ampliar, referirse a la Bibliografía.

#### 18.- Retrasos de transmisión de señal.

La transmisión de señales neumáticas puede tener retrasos de consideración si no se toman las debidas precauciones, dichos retrasos son función fundamentalmente de:

- a-) Diámetro interno de las líneas.
- b-) Longitud de las mismas.
- c-) Capacidad volumétrica de inyección y relevo de aire de los instrumentos usados.

Un amplio estudio sobre el asunto podrá encontrarse en la edición de febrero de 1967 de la revista "Instrumentation Technology" bajo el título de:

"How pneumatic tubing size influences controllability". Su autor el Sr. J.D. Warnock.

#### Sistemas de Control de Circuito Múltiple

Se llaman sistemas de control de circuito múltiple a todos aquellos que utilizan dentro de una misma red mas de un transmisor, un controlador o una válvula.

Se usan estos circuitos cuando el algoritmo normal de cualquiera de los controladores ya vistos no es adecuado para obtener, un control aceptable, o bien si se desea obtener un límite, reparto de carga o cualquier efecto especial, el desarrollo del tema ilustrará mejor lo que aquí se trata de resumir.

#### 19.- Control en cascada, fig. 37.

Se entiende por control de cascada cuando la salida de un controlador en vez de actuar un elemento final de control posiciona el set point de un segundo controlador llamado secundario.

Cuando emplearlo.

La configuración de control en cascada se emplea para controlar dentro de límites mas estrechos procesos con constantes de tiempo grandes.

El circuito común y corriente puede actuar únicamente después de que el error se ha presentado, en forma tal que no puede compensar cambios indeseables en la variable manipulada hasta que dichos cambios viajando a través de las resistencias y capacidades del proceso llegan a afectar el elemento de medición de la variable controlada después de un retraso más o menos considerable y que no puede eliminarse pues es una característica del proceso mismo.

El sistema en cascada se aplica con uno de sus dos controladores midiendo y regulando la variable manipulada, en el ejemplo el flujo de vapor.

En esta forma cualquier cambio indeseable en la variable manipulada es detectado y corregido antes de que afecte a la variable principal y al proceso entero.

Esta ventaja puede apreciarse claramente en el diagrama del ejemplo.

El controlador secundario, flujo de vapor, mantiene el suministro requerido por el controlador primario y cualquier desviación de los requerimientos es corregida antes de que afecte a la variable principal.

Otros ejemplos de control en cascada que se pueden mencionar son:

a) Control de temperatura en una torre fraccionadora, el controlador de temperatura (primario) posicionado el punto de control de un controlador de presión de vapor ó, mejor aún de uno de flujo de vapor.

b) Control de temperatura de un reactor de operación intermitente.

El control de temperatura del reactor (primario) posicionará el punto de ajuste del controlador de temperatura de la chaqueta del reactor.

c) Control de temperatura de un calentador a fuego directo. El control de temperatura de salida de producto (primario) posicionará el punto de ajuste de un controlador de flujo de combustible.

## 20.- Control de impulso hacia adelante con retroalimentación FI638.

Se llama control de impulso hacia adelante con retroalimentación cuando la salida del control primario actúa al elemento final de control corregido por un sumando que es proporcional a una constante ajustable a voluntad y a la rapidez de cambio de la variable secundaria.

Cuando emplearlo.

Este arreglo de control multicircuito puede ser de utilidad cuando:

a) Se requiera un control estricto de procesos que tengan un gran retraso por transporte (dead time) o/y por efecto de resistencia capacidad.

b) Tener una mejor estabilidad en procesos en que se tienen dos o más circuitos de control que tienen considerable interacción uno sobre el otro.

En este sistema de multicircuito un sistema sencillo y normal es compensado en forma tal que anticipa un cambio de carga aún antes de que dicho cambio de carga empiece a afectar el proceso.

Considerando el calentador de la ilustración puede observarse que la temperatura del fluido de salida del calentador es regulada modulando la cantidad de combustible al mismo. Si el principal motivo de disturbio a este control de temperatura lo constituye la cantidad de producto alimentado al calentador nótese que dichos cambios de carga no pueden ser detestados

por el sistema sencillo hasta que la perturbación a viajado por todo el calentador y afectado finalmente al transmisor de temperatura, durante todo este retraso el combustible se habrá seguido alimentando al mismo ritmo. Como resultado la temperatura de salida continuará cambiando aún después de que el controlador haya ejercido su acción correctiva.

Sin embargo, al agregar el circuito compensador de impulso hacia adelante el efecto de los cambios de gasto en la alimentación es compensado considerablemente de la manera siguiente:

Un transmisor de flujo siente de inmediato cualquier cambio en la alimentación, la señal de salida del transmisor de flujo es alimentada hacia adelante, es decir en la misma dirección en que el material fluye en el proceso al relevador TY-2. El relevador transmite al elemento final de control la misma señal que recibe del controlador de temperatura aumentada o disminuida de una señal proporcional a la rapidez de cambio (derivada) del flujo de alimentación. En esta forma los cambios de carga debidos a la alimentación son compensados por cambios de combustible al calentador en forma que se anticipan al efecto que tendrían en la temperatura de salida.

## 21.- Control anticipatorio con retroalimentación fig. 39.

Se llama control predictivo hacia adelante con retroalimentación a un sistema que es básicamente un circuito de control abierto que tiene superpuesto o está complementado por un circuito de control cerrado.

Cuando emplearlo.

Este arreglo es muy útil solamente cuando hay una relación predecible entre los cambios de carga y el valor requerido para la variable manipulada (posición de válvula).

Un sistema común de alimentación hacia adelante con retroalimentación lo constituye un sistema de control de nivel de dos elementos para el domo de un generador de vapor como el que se ilustra en la figura.

Un sistema ordinario consistiría de un transmisor de nivel con su controlador correspondiente, con la salida del mismo alimentado a la válvula de control.

Tal sistema sería incapaz de mantener el nivel con la tolerancia requerida y los súbitos cambios de demanda que se presentan en este tipo de sistemas.

El agregar un sistema predictivo hacia adelante soluciona el problema de la manera siguiente:

La salida del controlador de nivel se conecta a un puerto de entrada de un relevador que suma y resta esta señal (según el caso) a la señal de flujo de vapor que a su vez es multiplicada por una constante ajustable a voluntad.

De esta manera al variar el flujo de vapor la válvula tomará una posición proporcional al mismo y si la  $K_v$  a través de la válvula es constante, se tendrá un flujo de agua proporcional al flujo de vapor lo que desde luego es un circuito abierto de control que es posible debido a que la función flujo de agua flujo de vapor es PREDECIBLE o conocida.

El principio aquí es que el circuito abierto actúa simultáneamente a los cambios de carga dando una corrección instantánea en la proporción debida. Por otra parte el sistema de control de circuito cerrado que actúa solamente cuando se produce un error (transmisor y controlador de nivel) simplemente afina el sistema, corrigiendo las imperfecciones inherentes a un circuito abierto de control, teóricamente si la medición de flujo fuera perfecta y la relación flujo de vapor posición de válvula y posición de válvula flujo de agua fueran constantes y perfectas no sería necesario el circuito de control cerrado, en la práctica, sin embargo, esto no es posible y por ello es necesario complementar el sistema con el circuito cerrado de nivel.

Nótese que, para que el ejemplo anterior sea realizable se requiere que:

- 1.- El transmisor de flujo sea lineal con el gasto.
  - 2.- La válvula sea de características lineales.
- 22.- Control anticipatorio con retroalimentación combinada con cascada, fig. 40.

La configuración de control que nos ocupa no es mas que una combinación del número 19, control en cascada y de la No. 21, anticipatorio con retroalimentación.

Cuando emplearlo: Este arreglo puede usarse cuando la parte predecible de un proceso sea su balance de energía o material y esta sea computable y controlable en cascada por un controlador de variable primaria.

Observese que en este sistema se tiene una inmediata respuesta a variaciones en la carga (flujo de vapor) o en la variable manipulada (flujo de agua) cosa que no ocurriría en los sistemas 1 y 3 en forma separada.

En la ilustración de la figura podemos observar como el control en cascada de compensación por cambios en la presión y/o gasto de el agua de alimentación (variable manipulada), así como también por cambios de carga (flujo de vapor).

En este sistema, el controlador secundario no solo recibe su punto de control del primario (cascada) para mantener el nivel al valor deseado, sino que mantiene un balance de material entre el flujo de vapor y el de agua de alimentación.

En esta forma, cuando aumenta el flujo de vapor el flujo de agua debe aumentar de inmediato este balance se obtiene midiendo ambos flujos y restando uno de otro, la señal proporcional a esta diferencia se constituye en la variable medida del controlador secundario.

Cuando el flujo de vapor cambia, el controlador de balance de material opera la válvula de agua de alimentación para mantener la diferencia flujo de vapor menos flujo de agua en cero mucho antes de que el nivel se vea afectado. Por otra parte si el flujo de agua de alimentación variare, debido a cambios en la presión de agua de suministro el controlador de balance de energía operaría de inmediato la válvula de control para mantener la diferencia en cero.

El controlador primario a través de la acción de cascada en el set point del secundario afina el sistema para superar las limitaciones del circuito abierto de alimentación hacia adelante.

Otros ejemplos de éste sistema serían:

- a-) Controles de combustión con relación ajustada por analizador de oxígeno.
- b-) Controles de pH, densidad, consistencia, viscosidad y en general cualquier cualidad de un producto que se obtenga por mezcla y pueda ser continuamente medida y/o analizada y por lo tanto controlada. En cada caso el analizador cambia la relación de dos gastos, uno libre y otro controlado, modificando el controlado.

Cuando el control normal de una variable afecta a otra en forma tal que pudiera producirse una condición antieconómica o peligrosa a la segunda variable se le hace operar a un controlador que solo toma el mando sobre el elemento final de control cuando dicha variable se acerca a su límite pre-establecido representado en este caso por el set point del controlador de límite.

Cuando aplicarlo.

La definición de su funcionamiento dada anteriormente indica con claridad cuando aplicarla.

En el ejemplo, bajo condiciones normales la presión de descarga, corriente abajo de la bomba es la variable que modula la válvula. Sin embargo, cuando la presión corriente abajo de la bomba desciende, indicando una rotura de la línea o una descompostura de la bomba booster anterior, si, en estas condiciones se permitiese que la presión de descarga modulara la válvula ocurriría que esta abriría totalmente en un intento de restablecer la presión a su valor normal, con lo que resultarían vaporizaciones en la bomba y en última instancia el que la misma se quemara.

Para evitar lo anterior se utilizó el sistema selector del ejemplo, las salidas de ambos controladores de presión (succión y descarga) se alimentan a un selector de baja presión (la válvula abre con aire) el dicho selector paulatinamente y sin saltos (bumps) conecta a la válvula la salida mas baja a la válvula de control.

El set point del controlador de presión en la succión de la bomba es ajustado a la mínima presión a que la misma pueda operar sin daño. En esta forma, en condiciones normales, la presión de succión estará por arriba de este límite y la salida del controlador respectivo, siendo de acción directa, estará al máximo, de esta manera el controlador de presión de descarga tendrá la menor de ambas salidas y el selector enviará a esta última al elemento final de control.

Sin embargo, en cuanto la presión de succión esté ligeramente inferior al límite segura la salida del controlador respectivo será menor que la del controlador de presión de descarga y suavemente el relevador selector de mínima, conmutará el mando de la válvula al controlador de presión de succión en esta forma nunca se excederán los límites de una presión de descarga muy alta o una presión de succión muy baja.

Cuando el control de una variable afecta a otra en forma tal que se produzca una condición peligrosa o antieconómica se hace un arreglo como el ilustrado en que el controlador que limita el valor de una de las variables dá su salida como su ministro al controlador de la variable que se controla normalmente si la condición peligrosa no se alcanza.

Cuando aplicarlo.

En las mismas condiciones que se establecen arriba.

Funcionamiento:

Supóngase el arreglo de la ilustración y además:

- 1.- La válvula de combustible abre con aire.
- 2.- El flujo de combustible debe ser constante siempre y cuando la temperatura del techo no sobrepase un límite seguro en cuyo caso debe restringirse el paso de combustible para no rebasar dicho límite.
- 3.- El controlador de flujo y el de temperatura son ambos de acción inversa.
- 4.- El control de flujo es de 2 modos % +  $\int$  (integral).
- 5.- El control de temperatura límite es únicamente %.

Considérese que la temperatura del techo se encuentra muy por debajo del límite, por lo tanto la salida de TIC-6 será máxima y el controlador FIC-6 operará normalmente manteniendo el flujo de combustible pre-establecido.

Supongase ahora que la temperatura del techo se acerca al límite entrando en la banda proporcional de TIC-6 este disminuirá de inmediato su salida con una rapidez que dependerá de la posición de la banda proporcional (reajuste manual) y de el valor de la banda en % (o sea la ganancia), si se ajusta TIC-6 en forma tal que al alcanzarse la temperatura límite su salida sea mínima entonces el controlador FIC-6 no podrá dar presión de aire suficiente para abrir la válvula de combustible puesto que no la recibe por su suministro.

Entre los dos extremos descritos de TIC-6 con máxima y mínima existirá una zona de temperatura en que halla salidas intermedias el ancho de esta zona dependerá de la ganancia de TIC-6 (A mayor ganancia la zona será mas angosta) y de la posición de la banda proporcional dada según el instrumento que se use

por el set point o por la combinación del set point y el reajuste manual.

Nótese que este procedimiento es aplicable solamente a control es neumáticos y todos los anteriores son aplicables tanto a neumáticos como a electrónicos.

#### EJERCICIO

Al proceso ilustrado en el arreglo 23 aplíquese la instrumentación del arreglo 24 y viceversa.

#### 25.- Control selector de distribución de flujo, fig. 43.

En este caso, los puntos de ajuste de dos o más controladores son posicionados en paralelo por un controlador primario llamado maestro.

Este sistema mantendrá una distribución de carga (o flujo) pre determinada de antemano y, en el ejemplo mantendrá al mismo tiempo al mínimo posible la pérdida de presión ocasionada por las válvulas de control.

La ilustración muestra una aplicación elaborada de este sistema de control.

Tradicionalmente, no se había usado control en la distribución de aire a las toberas de un horno alto, éstas simplemente se conectaban a un múltiple de distribución con tuberías y el flujo de aire se establecía en cada una según las condiciones del horno y en forma desordenada.

Si la mezcla de coque cal y mineral de fierro se comenzará a empacar en algún punto el flujo de aire en esta región disminuiría debido a la mayor resistencia al flujo.

Inversamente si se forman canales en la carga el flujo de aire tendería a aumentar en esa zona a expensas de las demás.

Esta desigual distribución del flujo de aire a las toberas resulta en una operación errática del horno y sí, uno de estos canales se empieza a desarrollar sobre el recubrimiento de ladrillo refractario del horno resultará que se disminuirá la vida del mismo por erosión y falla prematura.

El sistema de control de distribución de aire funciona como se describe a continuación:

Cada tobera tiene un sistema completo de medición y control -

de flujo de aire, consistiendo, cada sistema de, tubo venturi, transmisor, indicador controlador y válvula de mariposa.

Cada controlador recibe como set point la misma señal, la cual proviene del control maestro, en esta forma todos los flujos de aire en las toberas serán iguales.

Naturalmente la válvula de mariposa mas abierta se encontrará en la tobera con la mayor resistencia al gasto.

El propósito de los relevadores selectores es determinar la posición de la(s) válvula(s) mas abierta(s) y enviar esta señal como variable al controlador maestro el cual, si tiene su punto de ajuste manualmente posicionado al máximo permisible de apertura de las válvulas, mantendrá, mediante este sistema a una de las válvulas abierta al máximo y a todas las demás a menos del máximo y a todos los sistemas con el mismo flujo de aire es decir, se tendrá el máximo flujo de aire, igual para todas las toberas, cuyo máximo estará dado por la tobera mas compactada (con mayor resistencia al gasto).

26.- Control selector en el suministro a sistemas con carga dividida, fig. 44.

El sistema que se discute es útil cuando un proceso que llamaremos primario le suministra material, o energía a otros procesos secundarios a través de válvulas de control operadas por controladores independientes.

El propósito del sistema es hacer que el proceso primario opere a la mínima capacidad posible que satisfaga la demanda de los procesos secundarios. Lo anterior se garantiza sí, cuando menos uno de los controladores secundarios ordena a su válvula estar a máxima apertura.

La configuración de control tiene por objeto satisfacer las demandas de los procesos secundarios con un mínimo de pérdida de energía en las válvulas de control de los mismos.

Este sistema es usual en grandes compresores en donde los costos de operación aumentan considerablemente con la presión de descarga.

Los puntos de ajuste de los 2 controladores de flujo son ajustados en forma independiente según las necesidades de sus respectivos procesos, aunque solo se ilustran 2 loops secundarios pueden ser "n" sin que el criterio de control se altere.

Cada ramal deberá satisfacer un gasto diferente pero, el sis-

tema selector de señales informará al controlador primario cual válvula se encuentra mas abierta y el controlador primario ajustará el obturador de entrada de aire al compresor en forma tal que la válvula mas abierta lo este totalmente, garantizando en esta forma que la demanda de todos los procesos secundarios se satisface con todas las válvulas lo mas abiertas que sea posible.

En esta manera se garantiza también que el compresor opera a la mínima presión de descarga que satisface la demanda y por lo tanto que opera con el mínimo gasto de energía.

Ejercicio: ¿Cuáles pueden ser los procesos secundarios?

27.- Control de relación fijado manualmente, fig. 45.

En este sistema de circuito múltiple la variable secundaria se controla en forma tal que mantenga una relación constante con la variable primaria.

La aplicación de este sistema de control se encuentra principalmente en aquellos procesos en que a un fluido se le debe dosificar otro, en forma tal que la mezcla tenga composición constante.

En estos casos, lo mas común es el tener uno de los fluidos variable según necesidades del proceso y, el otro disponible en forma irrestringida, por lo que el gasto de éste último - deberá seguir las variaciones del primero.

En el ejemplo se muestra un sistema usado en las refinerías para dosificar a la producción de gasolina el antidetonante (tetraetilo de plomo).

El flujo de gasolina es la variable primaria no controlada - proveniente del sistema de refinación y cracking.

El tetraetilo de plomo será entonces la variable secundaria - esclava y para cualquier variación en el flujo de gasolina se tendrá una variación proporcional en el flujo de tetraetilo - de plomo, en forma tal que la cantidad de antidetonante por litro de gasolina permanecerá constante.

La unidad de relación es con frecuencia un componente separado, aunque en instrumentos de tamaño convencional puede ser integral al controlador secundario, lo que nunca ocurre con instrumentos miniatura.

La señal del transmisor de flujo primario es multiplicada por un factor que se ajusta manualmente en la unidad de relación. La salida de la unidad de relación se vuelve entonces al set point del controlador secundario el cual modula la válvula de la variable secundaria en forma que se sigan exactamente las demandas de la variable primaria.

PROBLEMAS:

- 1.- En el ejemplo anterior se tiene que el flujo normal de gasolina es de 750 lt/min., el máximo de proceso es de 900 lt/mín.

La dosificación normal de tetraetilo de plomo será según el tipo de gasolina manejado entre 1.4 y 1.6 cm<sup>3</sup>/litro - de gasolina.

Se pregunta:

- a-) ¿Qué rango se escogerá para el medidor de flujo de gasolina?
- b-) ¿Qué rango se escogerá para el medidor de flujo de tetraetilo de plomo?
- c-) Con los rangos escogidos qué ajuste deberá tener el relay de relación para dosificar 1.4 cm<sup>3</sup>/lt. de gasolina y qué ajuste deberá tener para dosificar 1.6 cm<sup>3</sup>/lt.

- 2.- Suponiendo instrumentos sin cero suprimido y sabiendo que el span del instrumento primario es de "S<sub>1</sub>" unidades de volumen "a" por unidad de tiempo y el del segundo "S<sub>2</sub>" unidades de volumen "b" por unidad de tiempo, ¿Cuál será el ajuste del relevador de relación "A" para tener una relación "r" de gastos expresada en "b"/"a" unidades de volumen de flujo secundario por unidad de volumen de flujo primario.

Expresado en otra forma, expresar  $A = f(S_1, S_2, r)$ .

- 3.- Como obtener la función anterior si la base de tiempo de S<sub>1</sub> es distinta de la de S<sub>2</sub> como por ejemplo unidades de tiempo "c" para S<sub>1</sub> y "d" para S<sub>2</sub>.

Comprobar los resultados de 2 y 3 con el problema de 1.

- 20.- Control digital de relación y cantidad total, fig. 46.

Cuando un problema de mezcla como el anterior es muy crítico y debe llevarse a cabo con tolerancias muy pequeñas se puede resolver operando con las integrales de los flujos en vez de con los flujos instantáneos, esto hace que entre mas grande sea el lapso de tiempo y el volumen de una mezcla dada el análisis de la mezcla será tanto mas exacto.

Ejemplo:

En la industria refresquera el mezclar el agua con la esencia que imparte el sabor al refresco es un problema crítico.

Una mezcla pobre en esencia puede ocasionar devoluciones o -baja en las ventas del refresco.

Una mezcla rica en esencia, aparte de que también la rechaza el público aumenta el costo considerablemente pues la esencia es un componente de costo muy elevado. La configuración de control típica usada es como se ilustra:

La válvula auto-operada FCV-9 mantiene un gasto sensiblemente constante de agua azucarada a alrededor de 250 lt/min. la proporción de esencia es de alrededor de 4 cm<sup>3</sup>/lt. y por lo tanto el gasto normal de esencia es de 1000 cm<sup>3</sup>/min.

El transmisor de flujo FT-9.1 es del tipo de turbina de 1½" - de diámetro el cual dá 106 pulsos por litro, el transmisor de flujo de jarabe FT-9.2 es del mismo tipo, de ½" con orificio de 0.063" que dá 12.7 pulsos por cm<sup>3</sup> de jarabe por lo tanto:

Si el divisor FY-9.1 envía un pulso por cada 106 recibidos cada pulso de salida representará un litro de jarabe y 4 cm<sup>3</sup> de demanda de esencia.

En análoga manera el divisor FY-9.2 enviará un pulso por cada 50.8 (12.7 X 4) lo cual hará que cada pulso represente 4 cm<sup>3</sup> de esencia que ha pasado a mezclarse con el jarabe.

En esta forma cada pulso que entra al VT-9 representa 4 cm<sup>3</sup> de demanda en un caso y de demanda satisfecha en otro.

El transmisor VT-9 es de tal naturaleza que transmite una señal de 4-20 m.a. proporcional a los pulsos en exceso o en defecto, es decir a 12 m.a. no hay pulsos ni en exceso, ni en defecto y si hacemos que transmita 4 m.a. con 125 pulsos de demanda de esencia (equivalentes a ½ Hr de operación en condiciones normales) en exceso sobre los pulsos de demanda satisfecha, y que transmita 20 m.a. con 125 pulsos de paso de esencia en exceso sobre los pulsos de demanda, se tendrá que la -

la salida de VT-9 será análoga y lineal con  $-500 - 0 + 500$  es decir de  $500 \text{ cm}^3$  en defecto a  $500 \text{ cm}^3$  en exceso de esencia.

La señal de VT-9 se alimentará al indicador controlador de volumen en exceso o defecto el cual por supuesto tendrá su set point en cero y modulará la válvula de esencia.

En esta forma el control se hará sobre el volumen de error integrado, pudiendo obtenerse precisiones imposibles de lograr en un mezclado con sistemas de control que operen sobre los flujos instantáneos.

El poner alarmas y/o interlocks por alto error integrado - en exceso o defecto es opcional. ¿Cómo se alteraría la relación en este sistema?

29.- Control de relación entre variables de distintas dimensiones fig. 47.

En los ejemplos vistos hasta aquí, las dos variables relacionadas tienen siempre las mismas dimensiones (en los ejemplos flujo) en ocasiones es necesario tener un control de relación entre dos variables de distinta índole como presión y temperatura, presión y gasto, etc.

Un buen ejemplo de este caso lo constituyen algunos compresores centrífugos en los cuales cuando el flujo es muy bajo o la presión de descarga es muy alta tienden a vibrar de manera peligrosa y es necesario protegerlas para que esto no ocurra.

Observese en la gráfica que la línea de separación de las zonas es una curva que podemos considerar  $F = f(p)$ .

En el sistema de control el generador de funciones PY-9 reproduce dicha curva con la señal del transmisor de presión y le fija el set point al controlador de flujo.

Dado que se trata de que dicho set point sea un límite única mente y no de que el sistema opere sobre dicha curva el controlador FIC-9 no tendrá mas que acción proporcional.

Este tipo de control debía llamarse de manera mas propia control de función y no de relación.

30.- Control de relación ajustada automáticamente, fig. 48.

Este arreglo de control se usa normalmente cuando la varia-

ble controlada principal depende de la relación de otras dos variables.

En el ejemplo la relación aire combustible alimentada a la caldera es reajustada por un controlador de % de oxígeno en los gases de combustión, manteniéndose en esta forma el exceso de aire constante y por lo tanto la combustión mas eficiente en todo momento.

PREGUNTAS:

¿Qué ocurre si se tiene un gran exceso de aire?

¿Qué ocurre si no se proporciona aire suficiente para la combustión?

EJERCICIO:

En generadores de vapor muy grandes, el % de exceso de aire, para tener una combustión lo mas segura y eficiente a todas cargas, no debe mantenerse constante sino como una función de la carga.

Dibujar el diagrama de proceso para resolver el problema y explicar el funcionamiento del arreglo propuesto.:

31.- Doble control, fig. 49.

Cuando una variable puede controlarse con 2 fuentes de material o energía y dicha variable tiene un límite crítico se pueden usar dos controladores el principal actuando sobre la fuente principal de materia o energía y el de límite sobre la fuente secundaria o complementaria.

En el ejemplo que se ilustra, en el cual se debe controlar y limitar la temperatura en un reactor de oxidación de metanol, el controlador de límite reduce rápidamente la concentración de alcohol si la temperatura se eleva rápidamente. El controlador principal debe ser % + ( el de límite solo % ¿Por qué?

32.- Control con rango dividido, fig. 50.

El control en rango dividido se usa cuando se puede controlar la variable con dos variables manipuladas ya sea por que el uso de una sea preferencial sobre la otra, como en el ejemplo, o bien que el proceso, según su estado requiera una u otra -

variable manipulada para mantener la variable en control. Por ejemplo un reactor que requiere enfriamiento y calentamiento a la vez.

En el ejemplo el nivel del deareador debe de mantenerse constante usando con preferencia el agua condensada caliente ya que es un producto mas puro y contiene mas energía que la fuente alternativa de agua fría desmineralizada.

Conforme el nivel del deareador empieza a descender, deberá alimentarse agua caliente del tanque de condensados. El uso de agua condensada caliente evita choques térmicos en el deareador y disminuye el consumo de vapor en el mismo.

Sin embargo, si la demanda de agua fuera muy grande y el agua caliente insuficiente deberá mantenerse el nivel con agua fría ya que el mantener el nivel es el propósito primario del sistema y las demás consideraciones de tipo secundario.

En caso de falla de aire deberá cerrarse la válvula de agua caliente y abrirse la de agua fría con objeto de:

- a-) Tener siempre agua suficiente en el deareador.
- b-) Evitar sobrecalentamientos en el mismo.
- c-) Evitar que si el agua caliente y condensada es excesiva, en esta circunstancia, se tire por el derrame del deareador.

#### EJERCICIOS.

- 1.- Trazar curva de operación de presión de salida del controlador vs. % de apertura de cada una de las válvulas. Analizar el sistema en operación normal y en falla de aire.
- 2.- Como sería la instrumentación de un reactor de polimerización que requiere calentamiento con agua caliente para iniciar la reacción, y una vez esta en marcha y, por ser exotérmica requiere enfriamiento con agua fría.

La condición segura en falla es el abrir toda el agua fría lo que detiene la reacción.

NOTESE que en el ejemplo del reactor los dos agentes de control se usan por NECESIDAD Y NO POR PREFERENCIA a diferencia del ejemplo anterior.

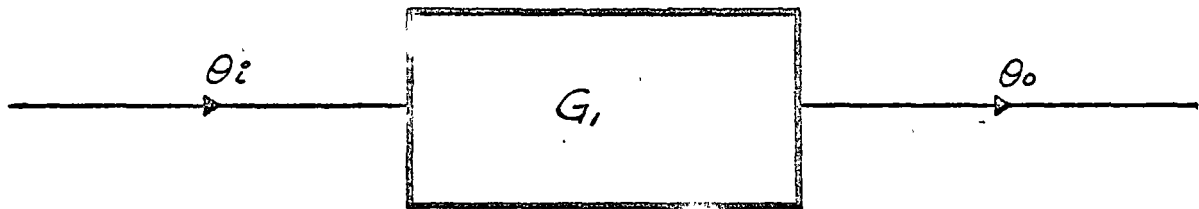


FIG. No. 1 SIMPLE CONTROL UNIT.

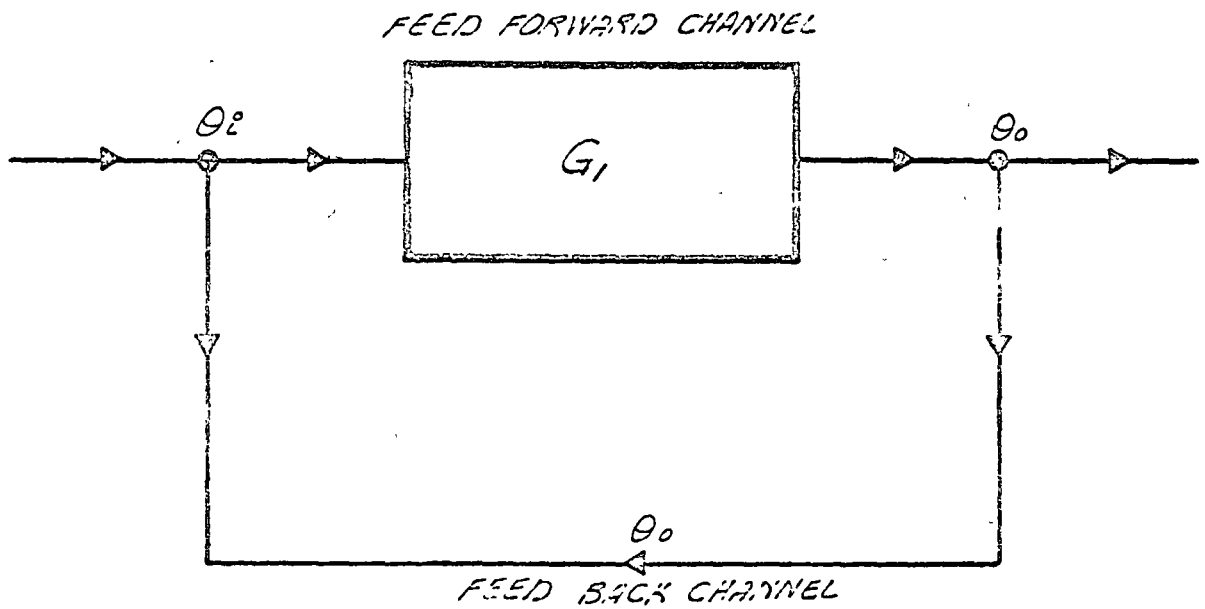


FIG. No. 2 SIMPLE FEEDBACK LOOP

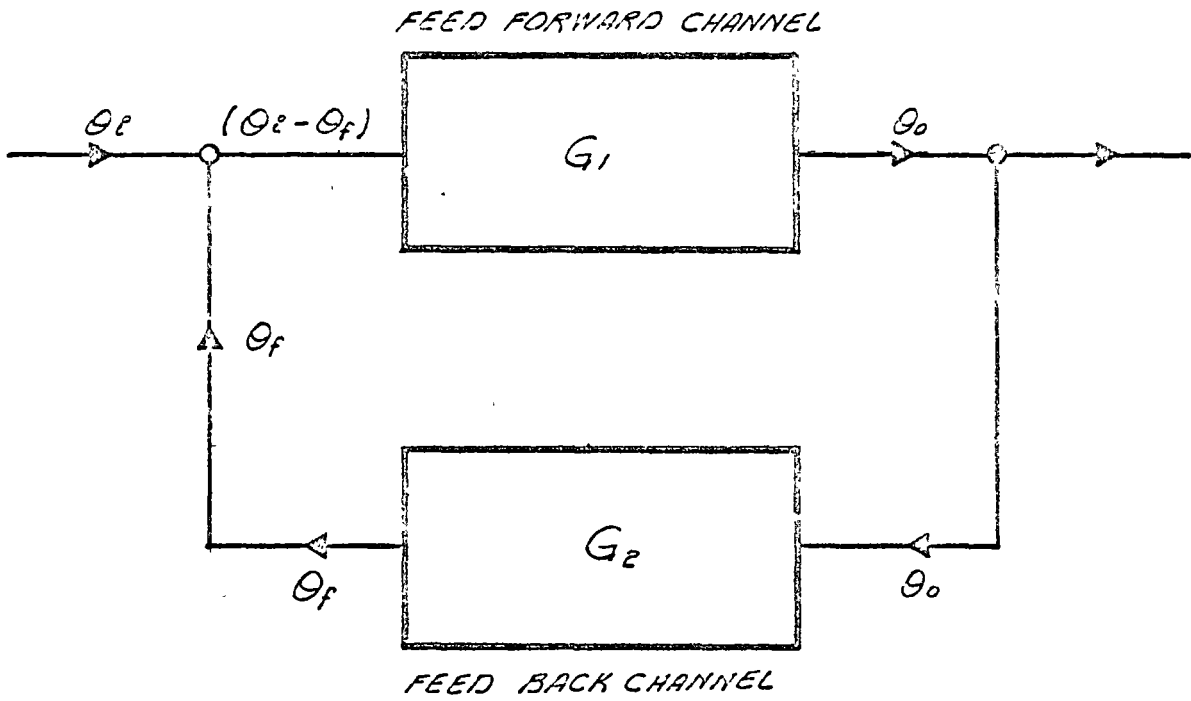


FIG. No. 3 SIMPLE FEEDBACK LOOP WITH FEEDBACK UNIT.

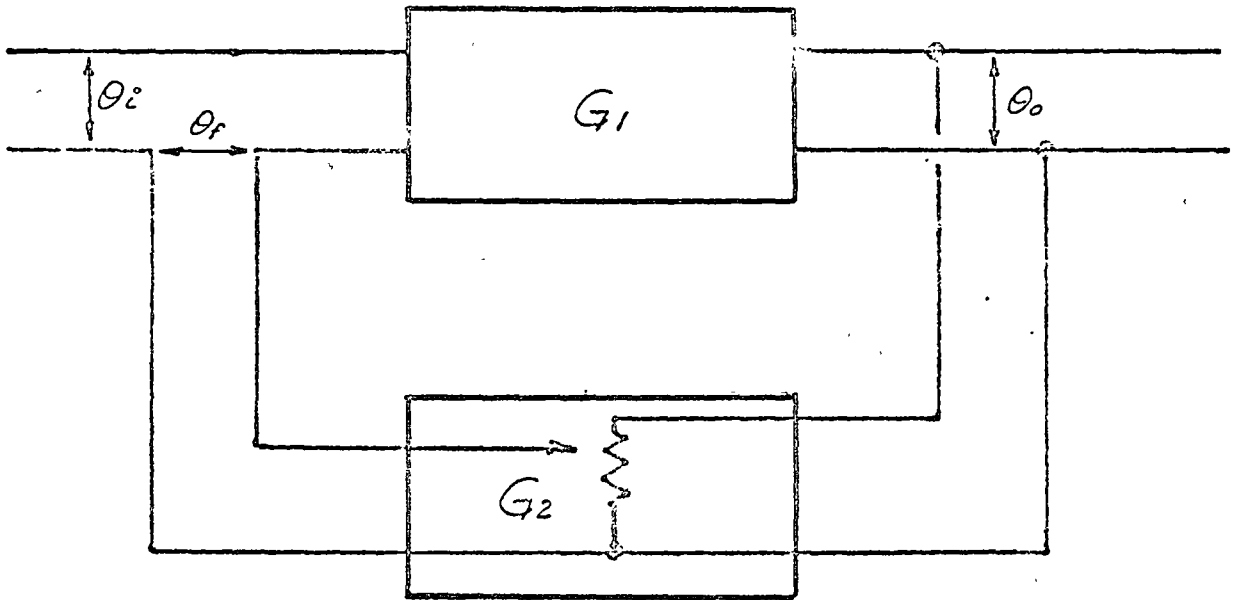


FIG. No. 4 SIMPLE FEEDBACK LOOP WITH POTENTIOMETER AS FEEDBACK ELEMENT.

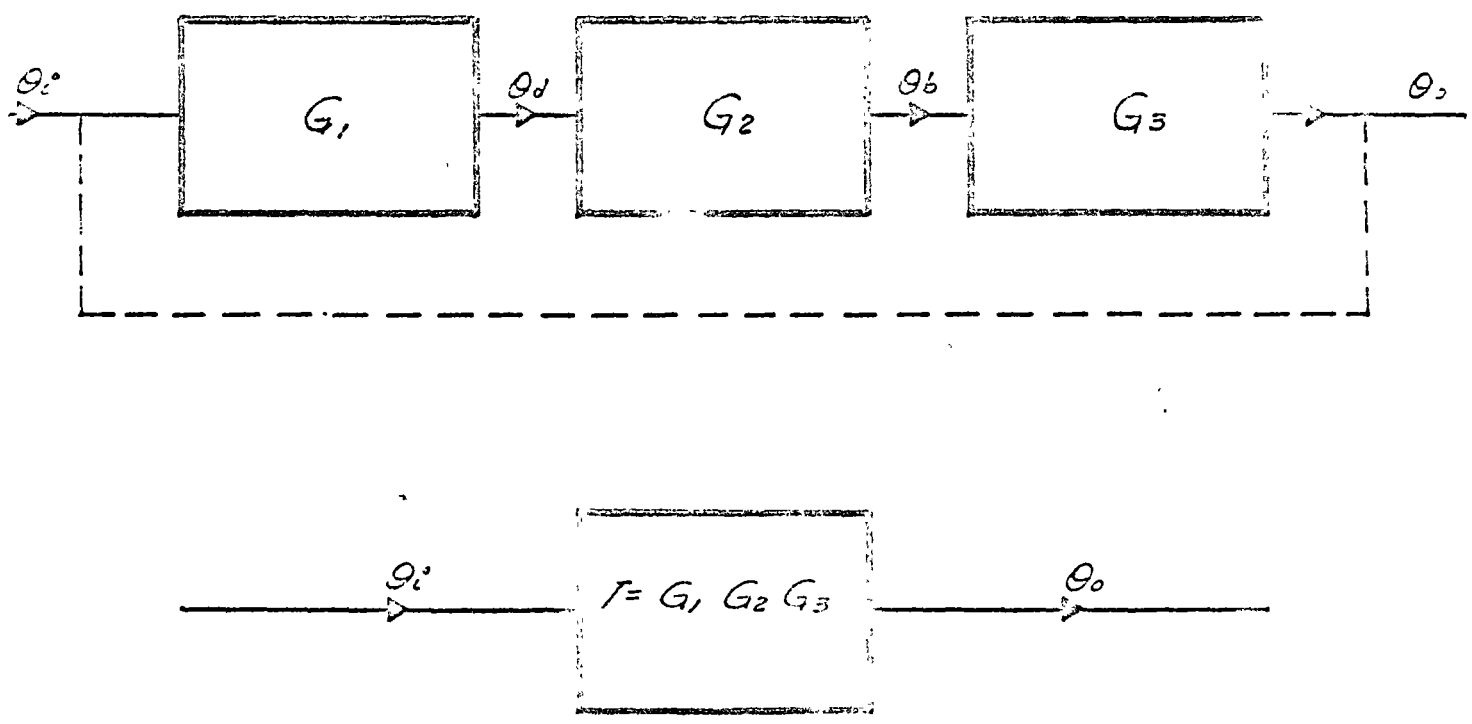


FIG. No. 5 CONTROL UNITS IN SERIES

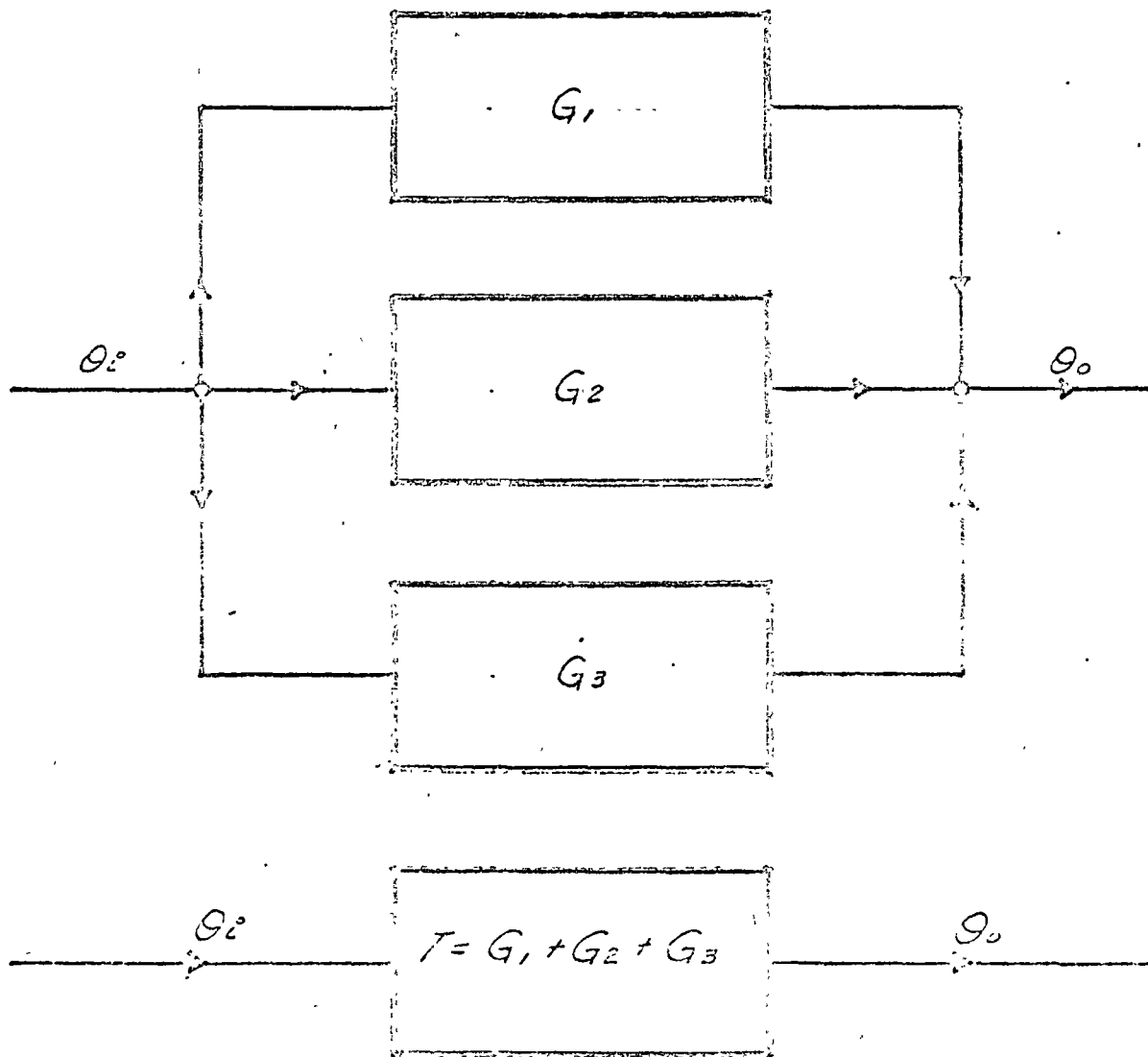


FIG. No. 6 CONTROL UNITS IN PARALLEL

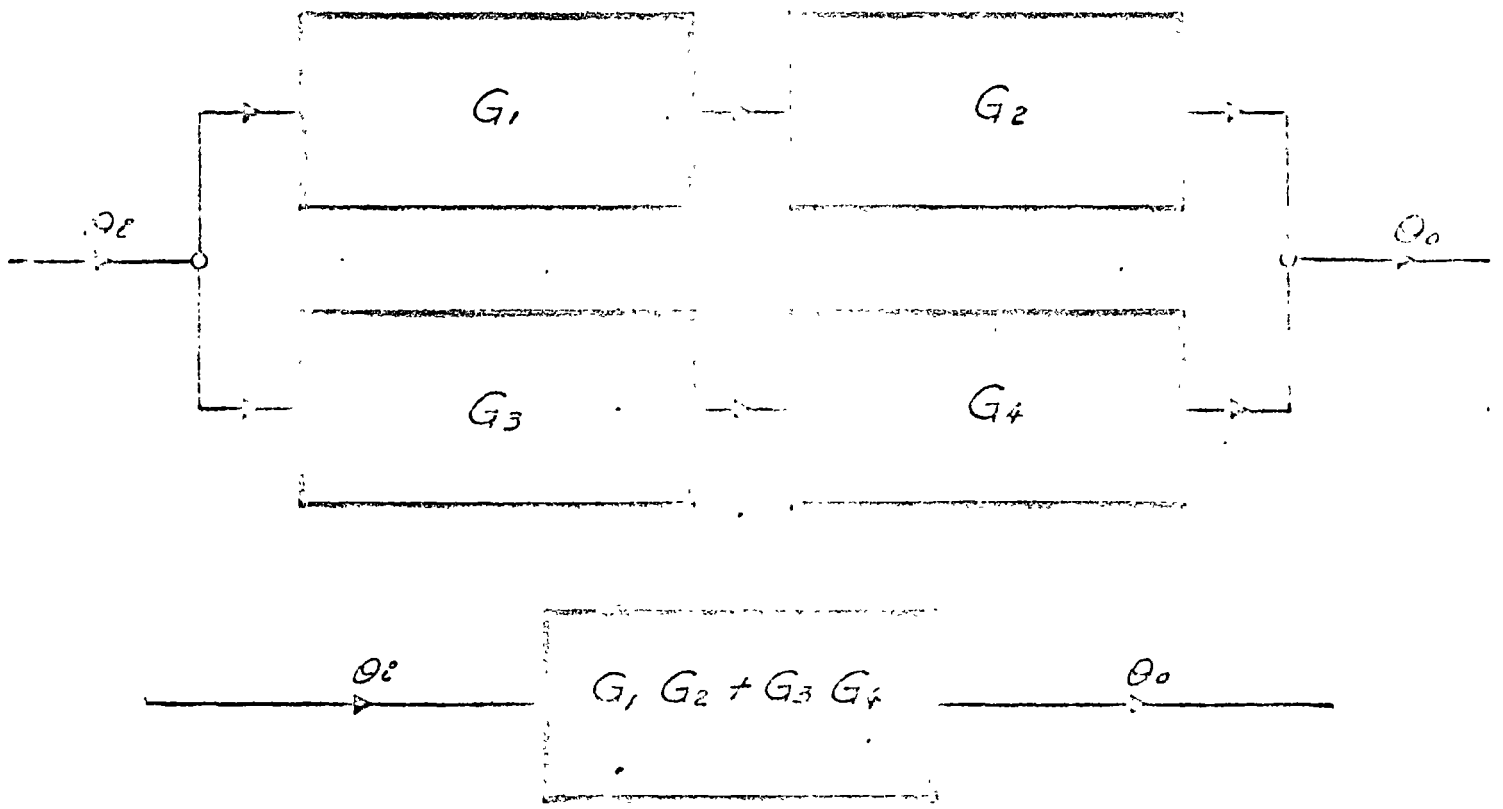


FIG. No. 7 CONTROL UNITS IN SERIES-PARALLEL ARRANGEMENT.

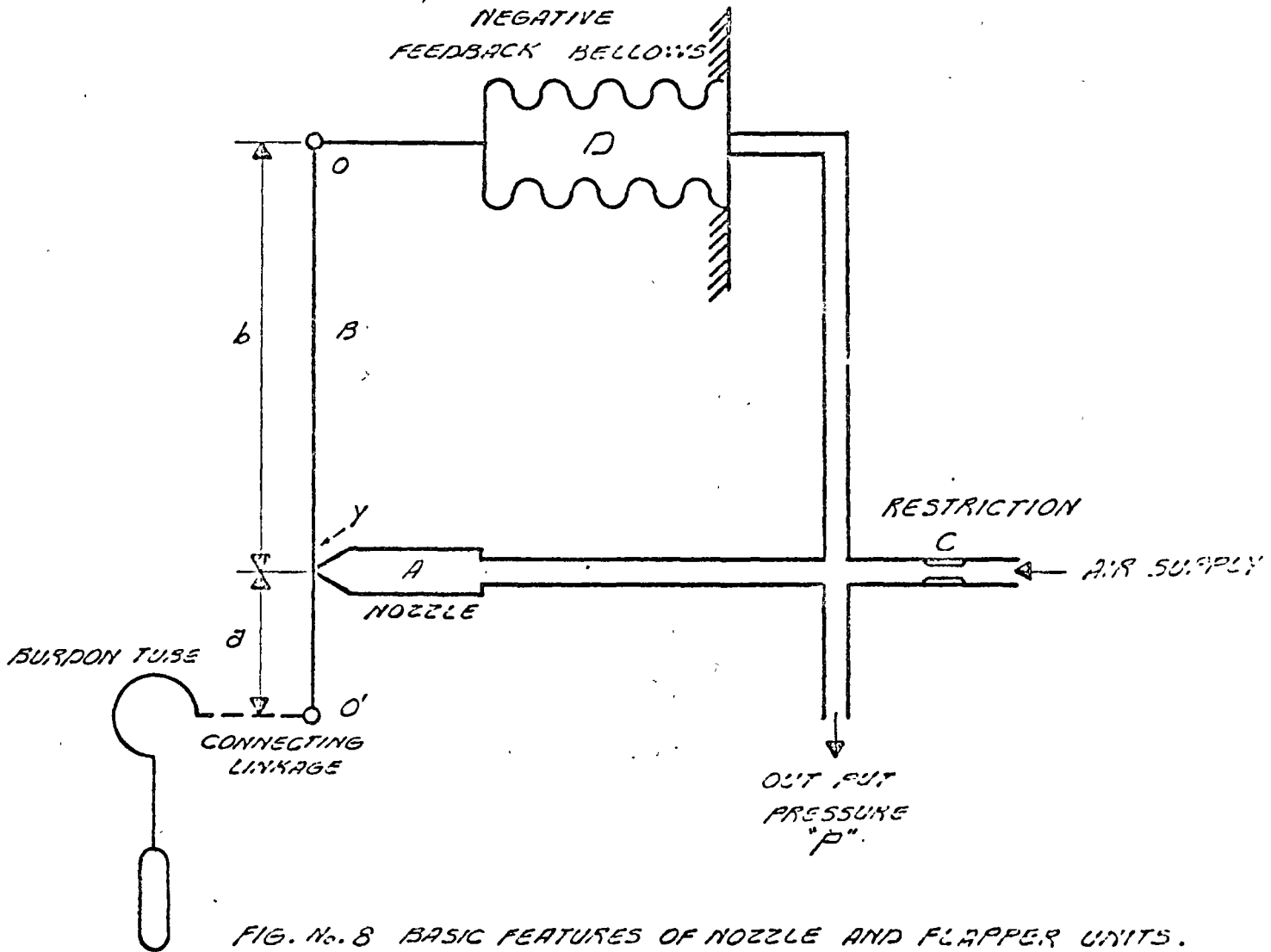


FIG. No. 8 BASIC FEATURES OF NOZZLE AND FLAPPER UNITS.

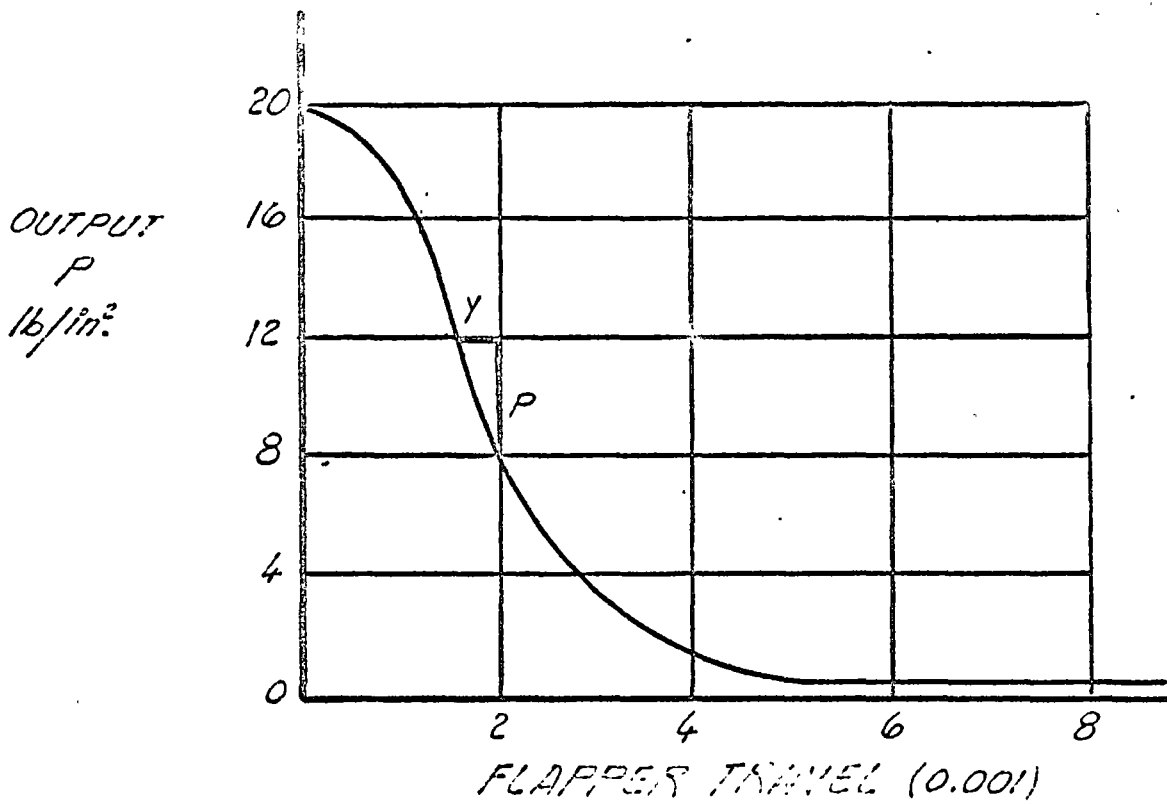


FIG. No 9 RELATION BETWEEN FLAPPER MOVEMENT AND PRESSURE OUTPUT IN A NOZZLE AND FLAPPER UNIT. THE TOTAL FLAPPER MOVEMENT IS 0.001 IN

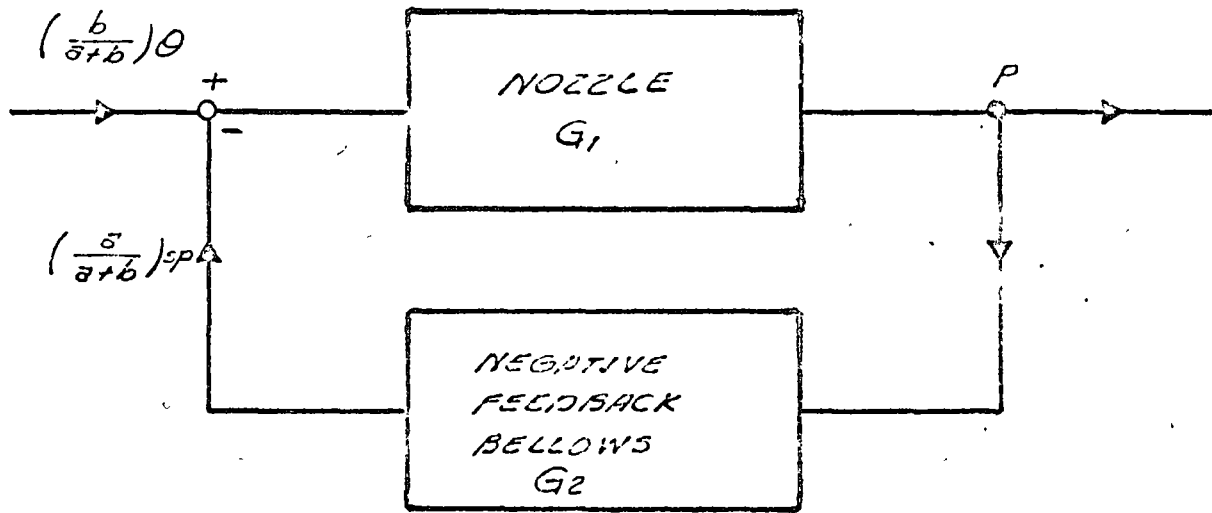


FIG. No. 10 BLOCK DIAGRAM NOZZLE AND FLAPPER UNIT.

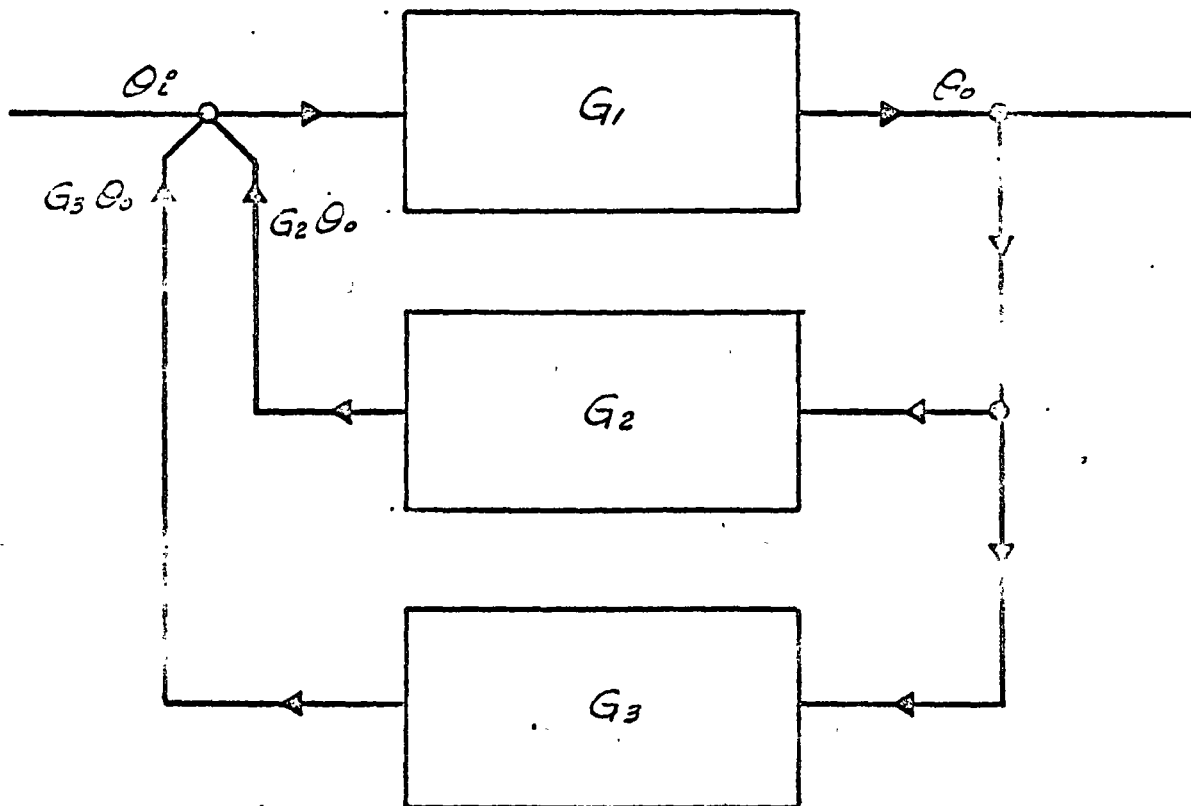


FIG. No. 11 BLOCK DIAGRAM OF SYSTEM WITH NEGATIVE AND POSITIVE FEEDBACK.

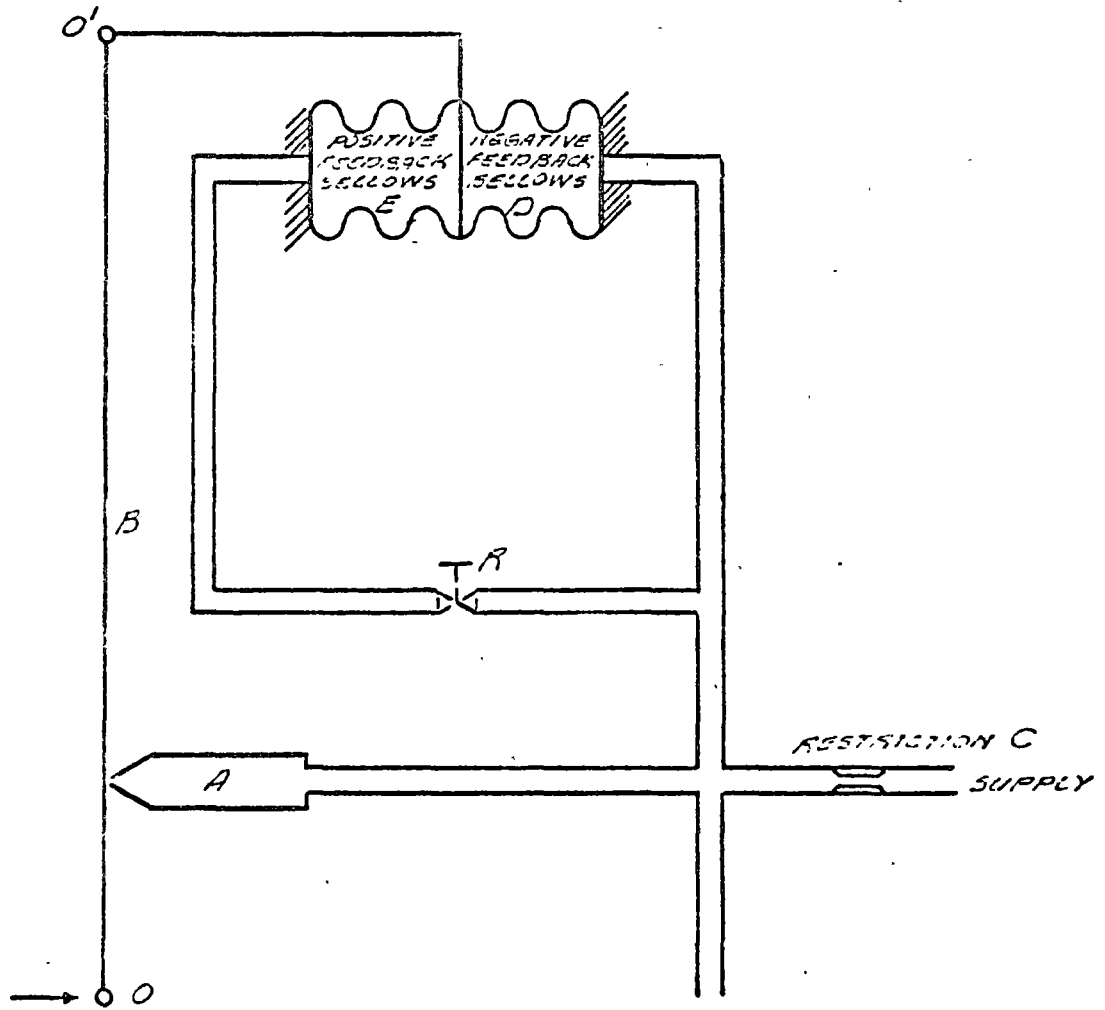


FIG. No. 12 POSITIVE FEEDBACK IN A SIMPLE CONTROL UNIT.

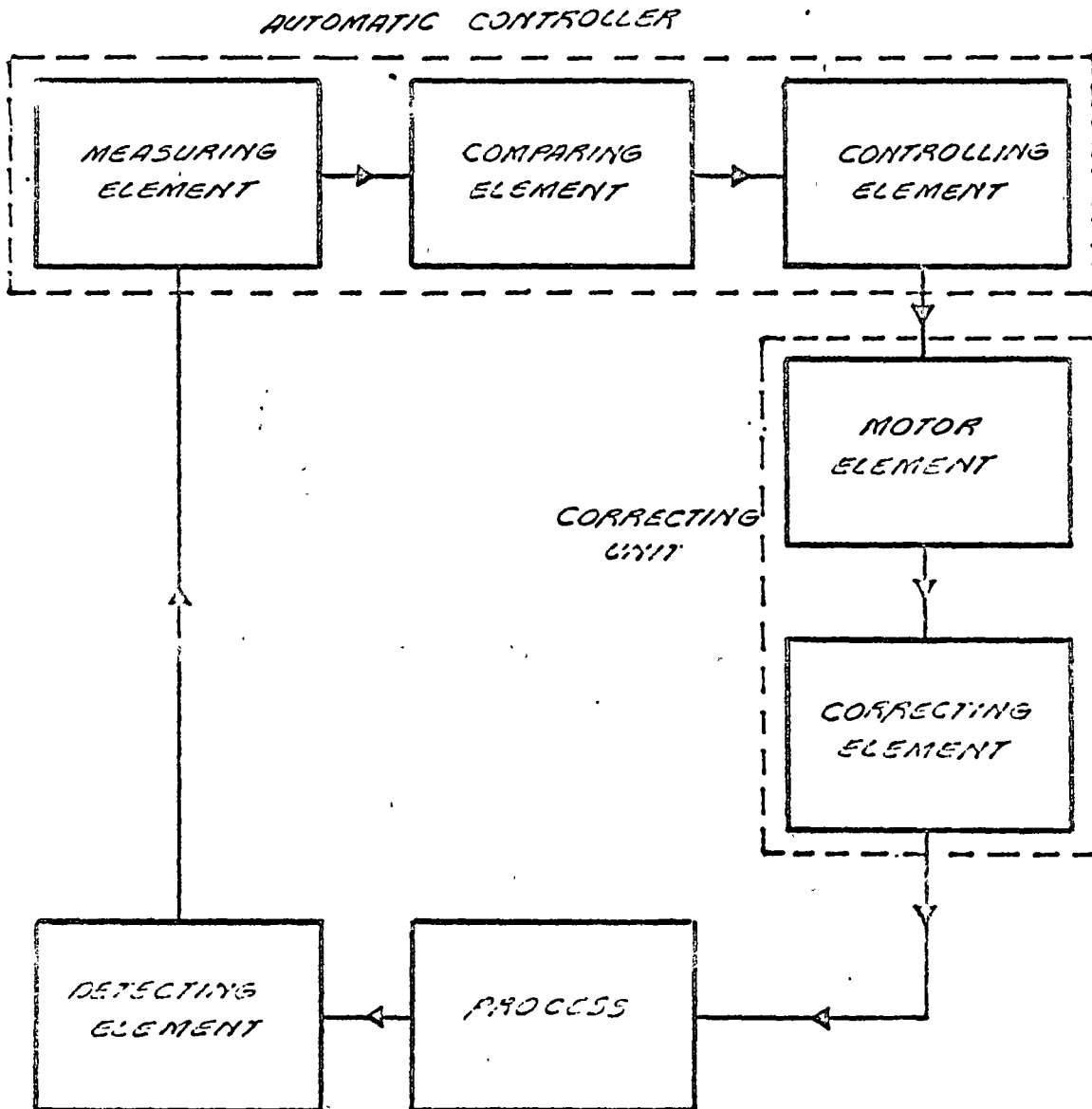


FIG. 11. 13 AUTOMATIC PROCESS CONTROL LOOP.

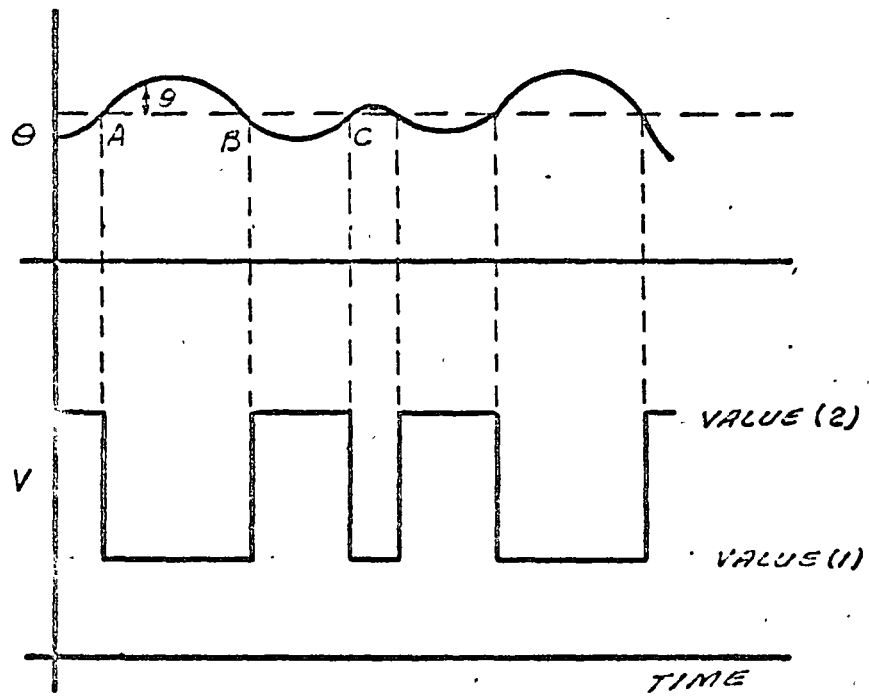
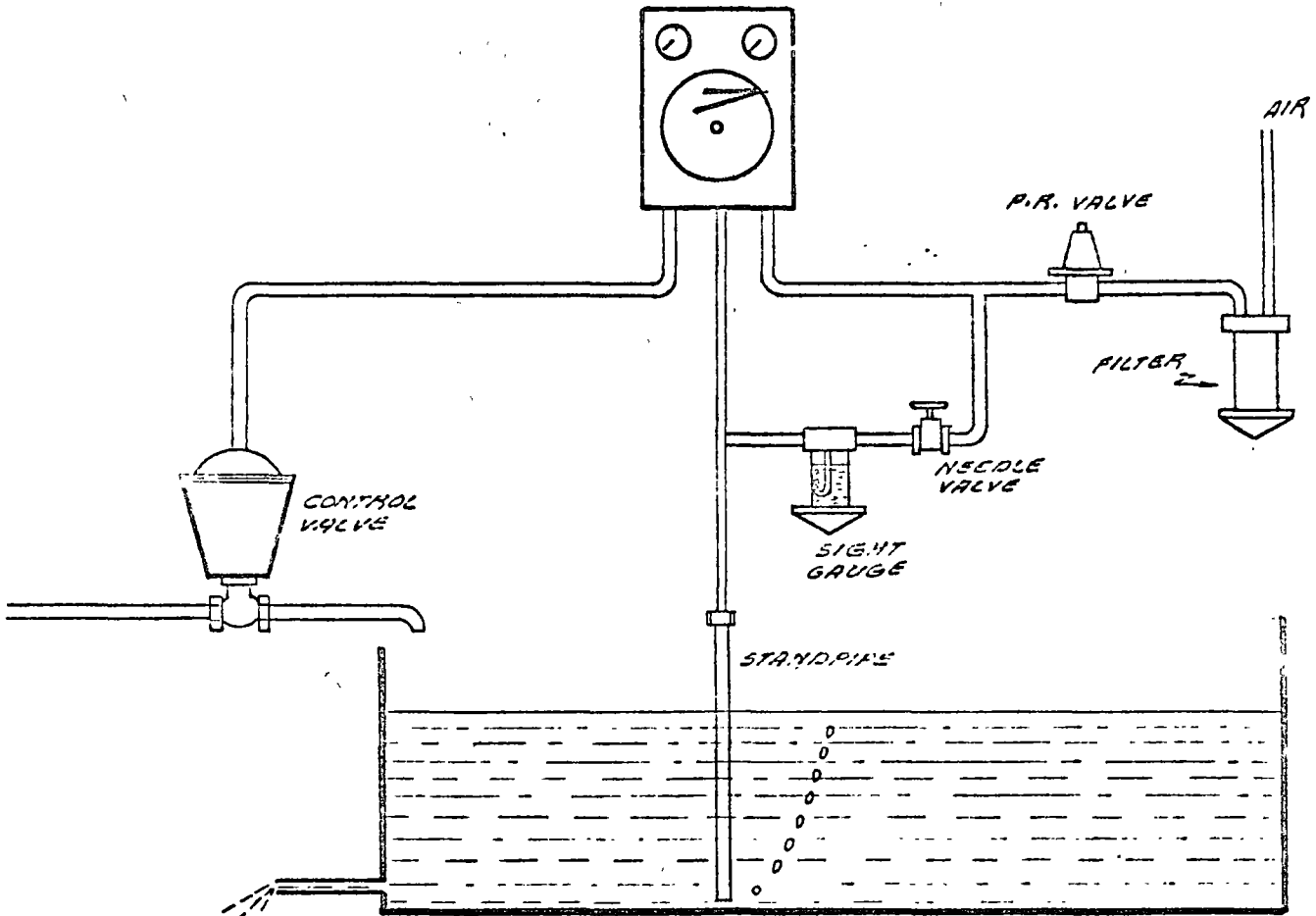
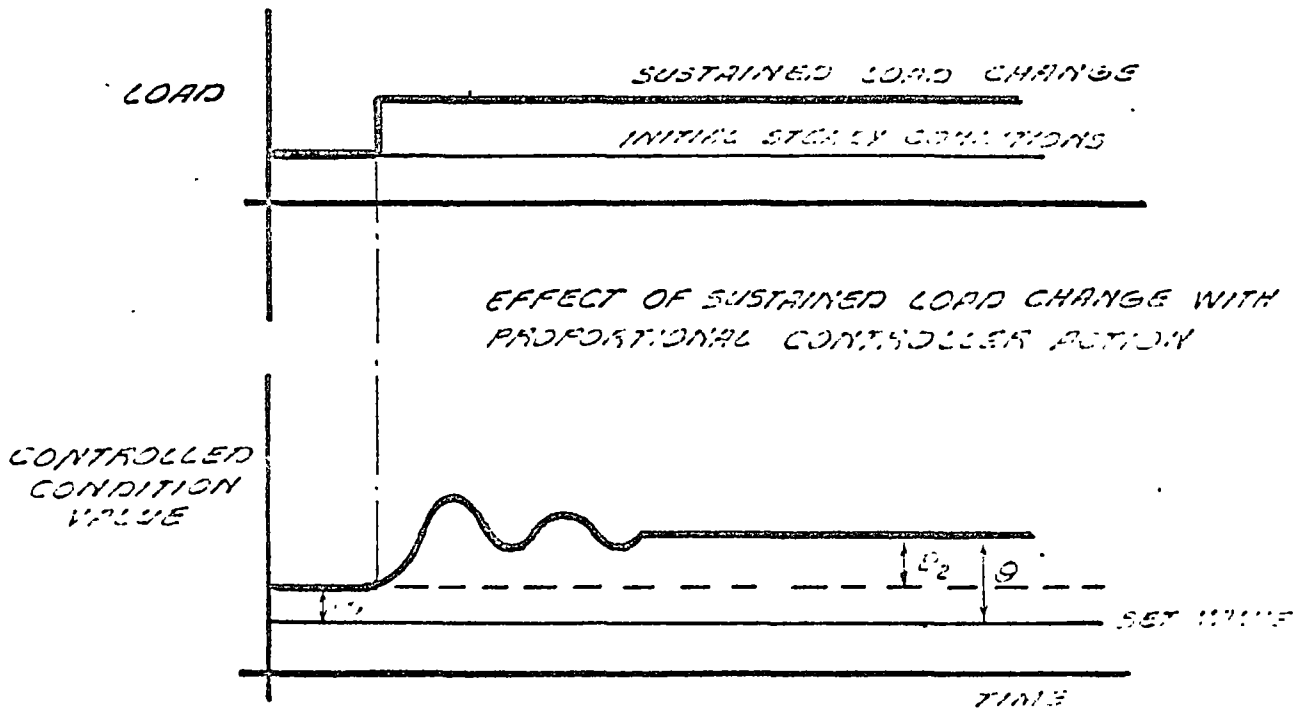


FIG. No. 14 TWO-STEP CONTROLLER ACTION.

FIG. No. 15



SIMPLE AUTOMATIC CONTROL SCHEME - LIQUID LEVEL CONTROL



EFFECT OF SUSTAINED LOAD CHANGE WITH PROPORTIONAL CONTROLLER ACTION

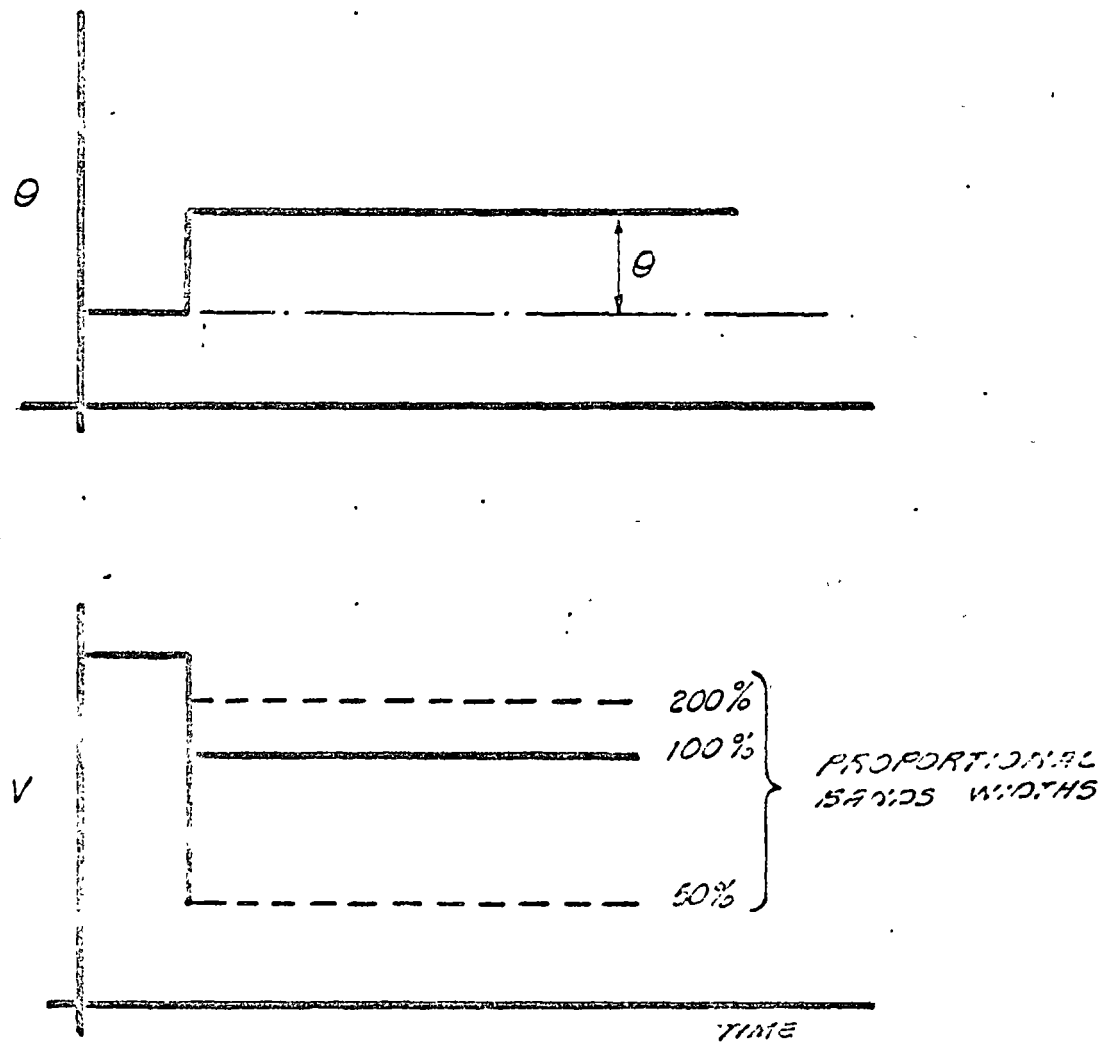


FIG. No. 13 EFFECT OF CHANGE IN PROPORTIONAL BAND ON CONTROLLER OUTPUT SIGNAL FOR THE SAME DEVIATION.

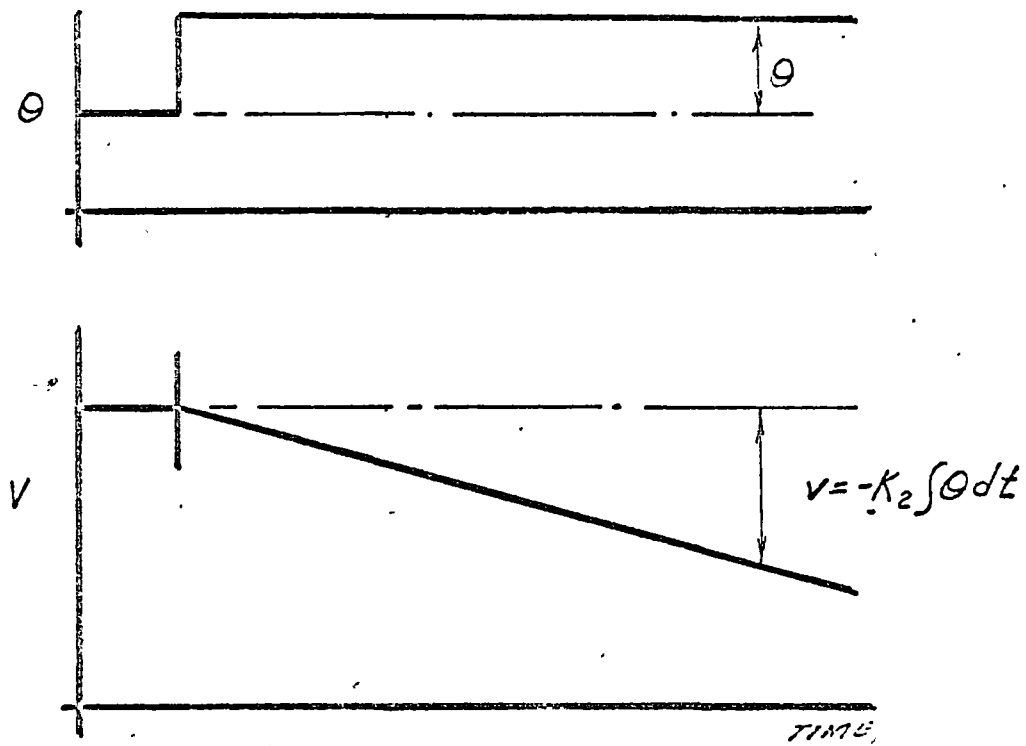


FIG. No. 17 INTEGRATOR'S CONTROLLER'S ACTION. THIS IS SHOWN WITHOUT PROPORTIONAL CONTROLLER ACTION.

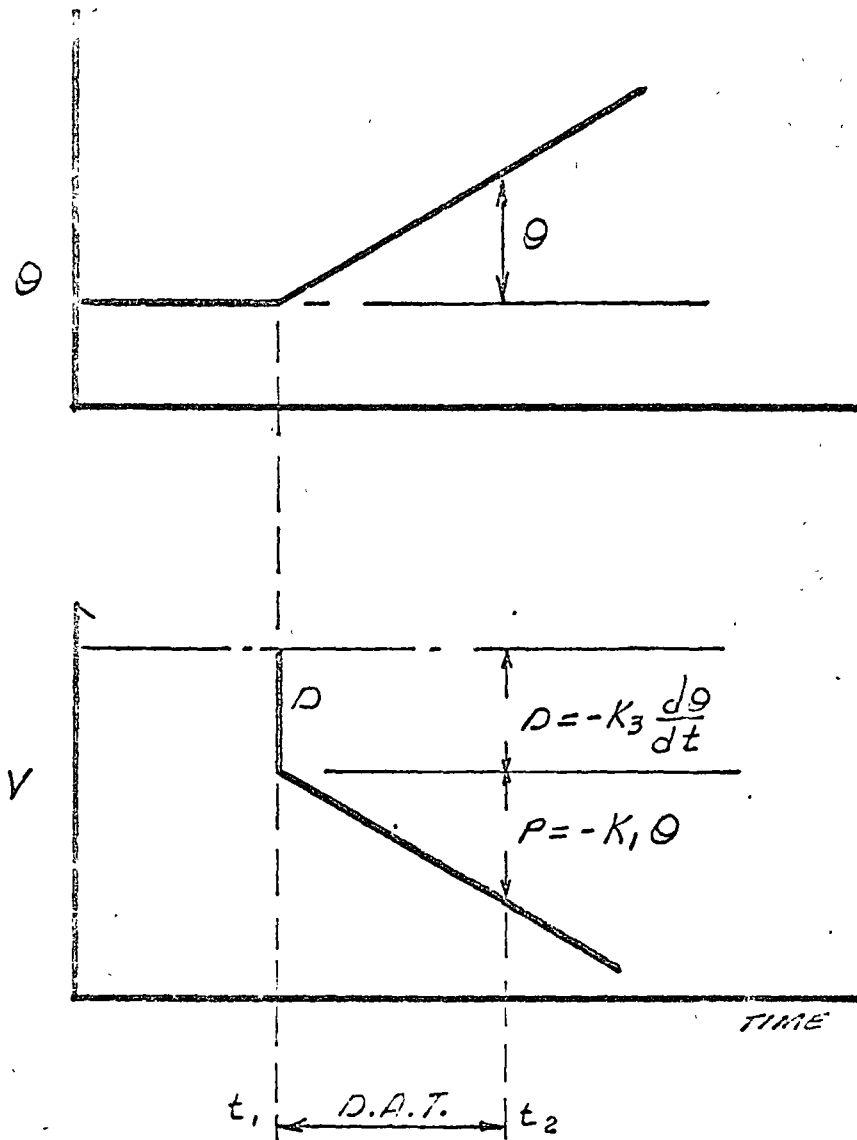


FIG. No. 18 DERIVATIVE CONTROLLER ACTION D.A.T. IS DERIVATIVE ACTION TIME. D IS THE IMMEDIATE CHANGE IN SIGNAL DUE TO DERIVATIVE ACTION. P IS THE CHANGE IN SIGNAL VALUE DUE TO PROPORTIONAL ACTION.

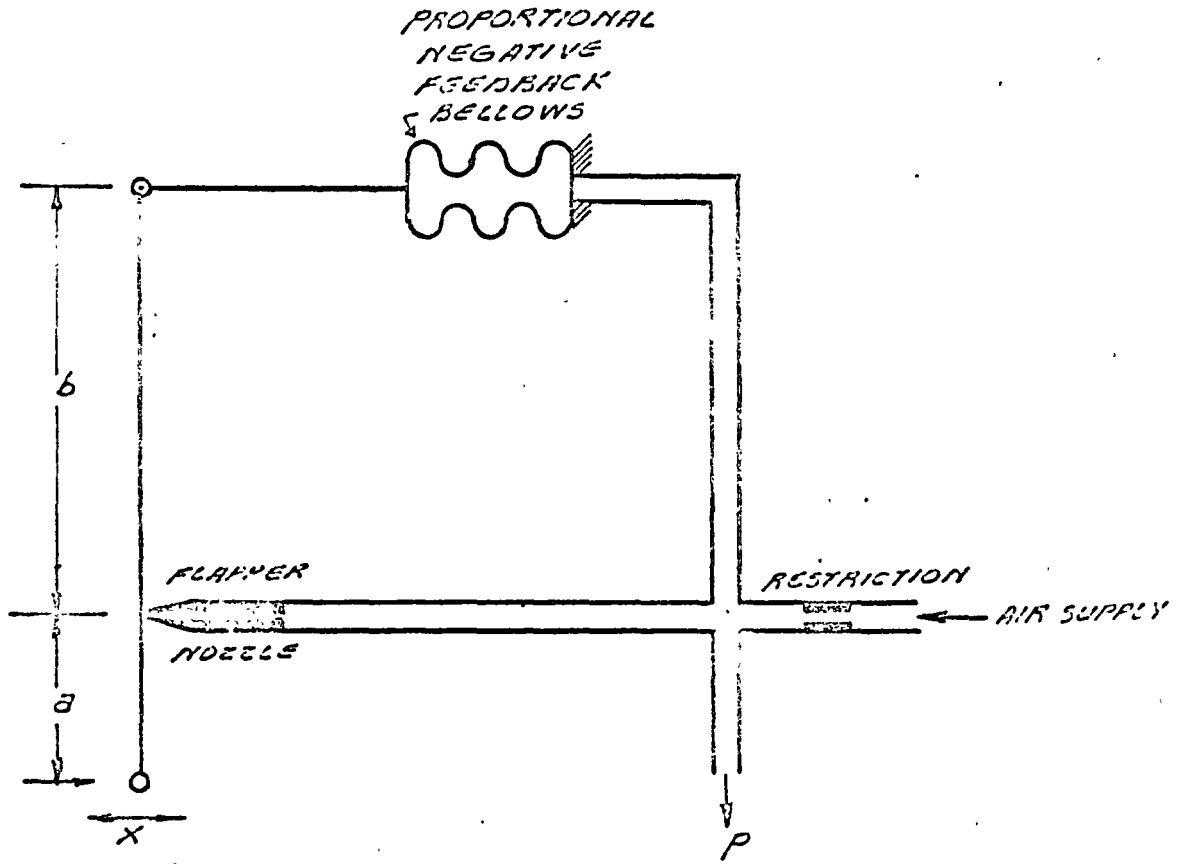


FIG. No. 19 PROPORTIONAL CONTROLLER UNIT UTILIZING NOZZLE AND FLAPPER UNIT.

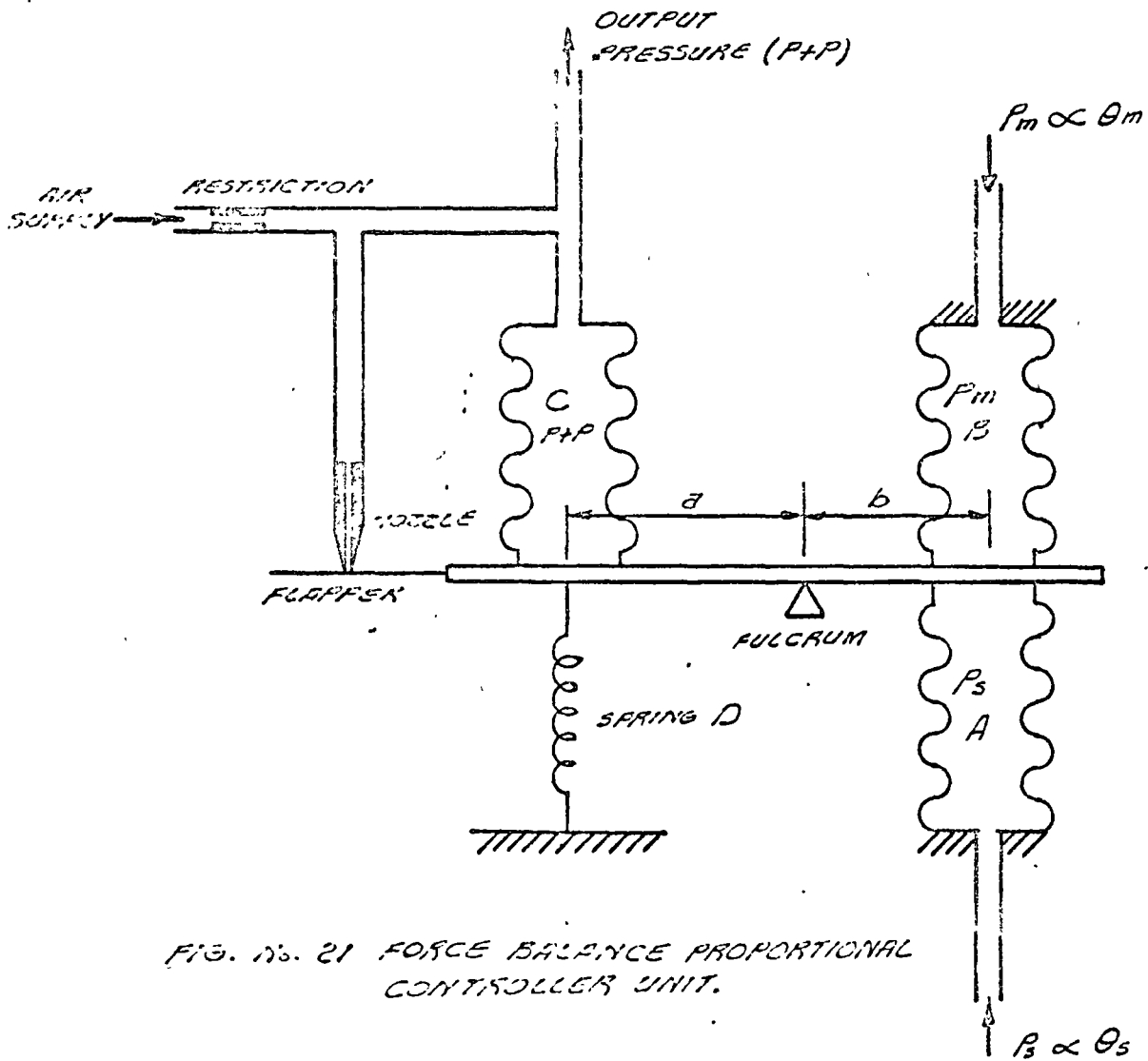


FIG. No. 22 "STACK" PROPORTIONAL CONTROLLER UNIT.

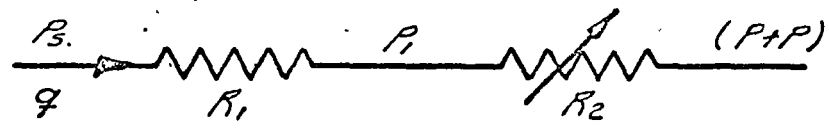
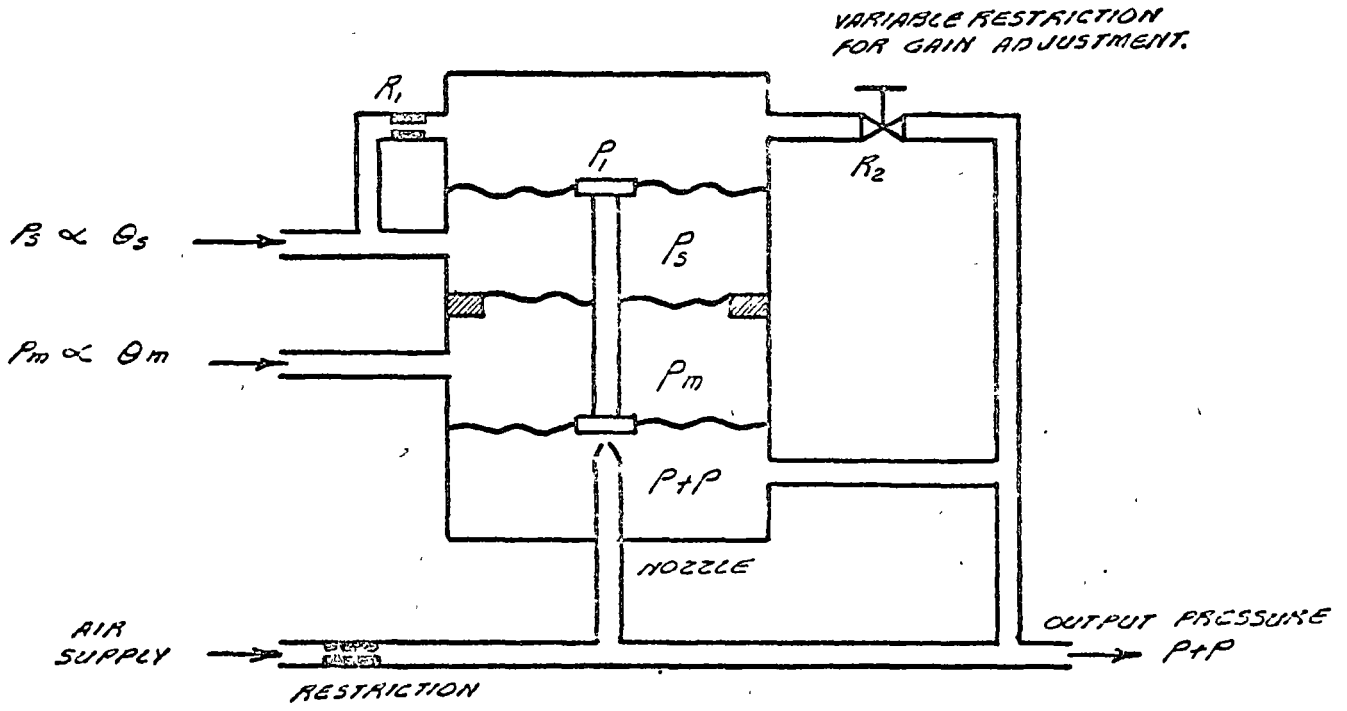


FIG. No. 23 PNEUMATIC PRESSURE DIVIDER.

FIG. No. 24 PROPORTIONAL PLUS INTEGRAL  
CONTROLLER UNIT

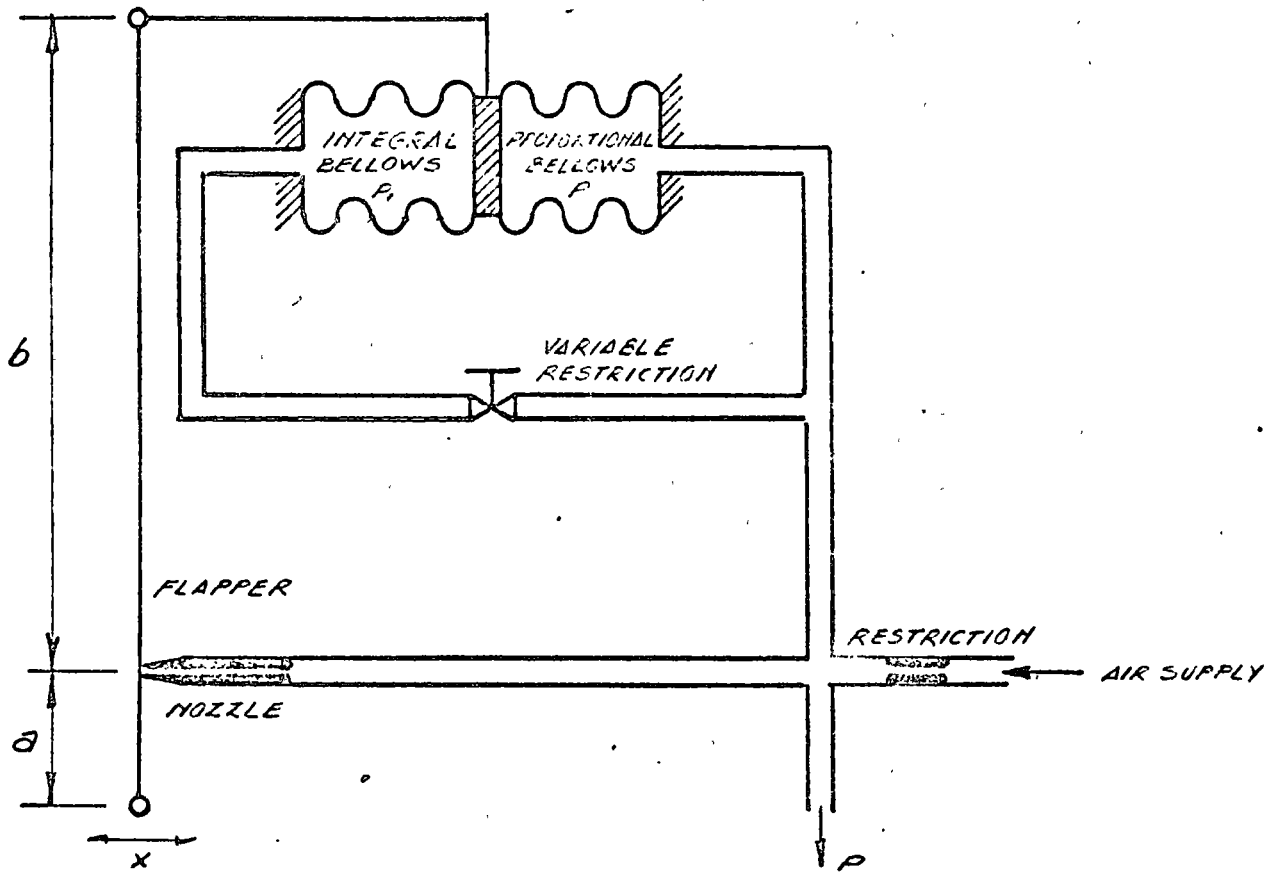


FIG. No. 25 PNEUMATIC RESISTANCE-CAPACITANCE NETWORK

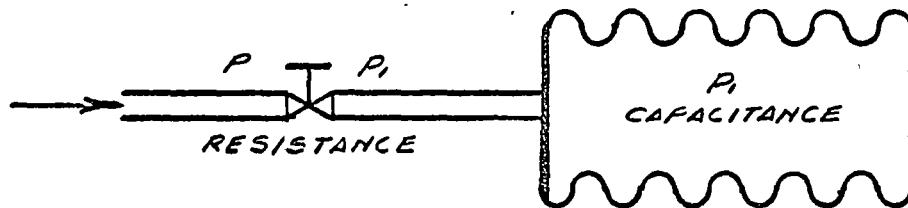
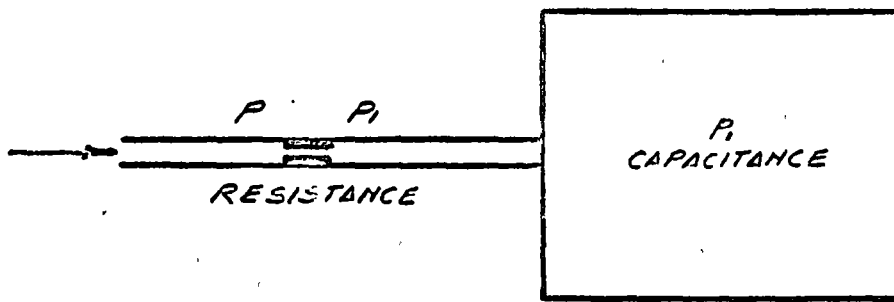


FIG. No. 26 INTEGRAL ACTION TIME

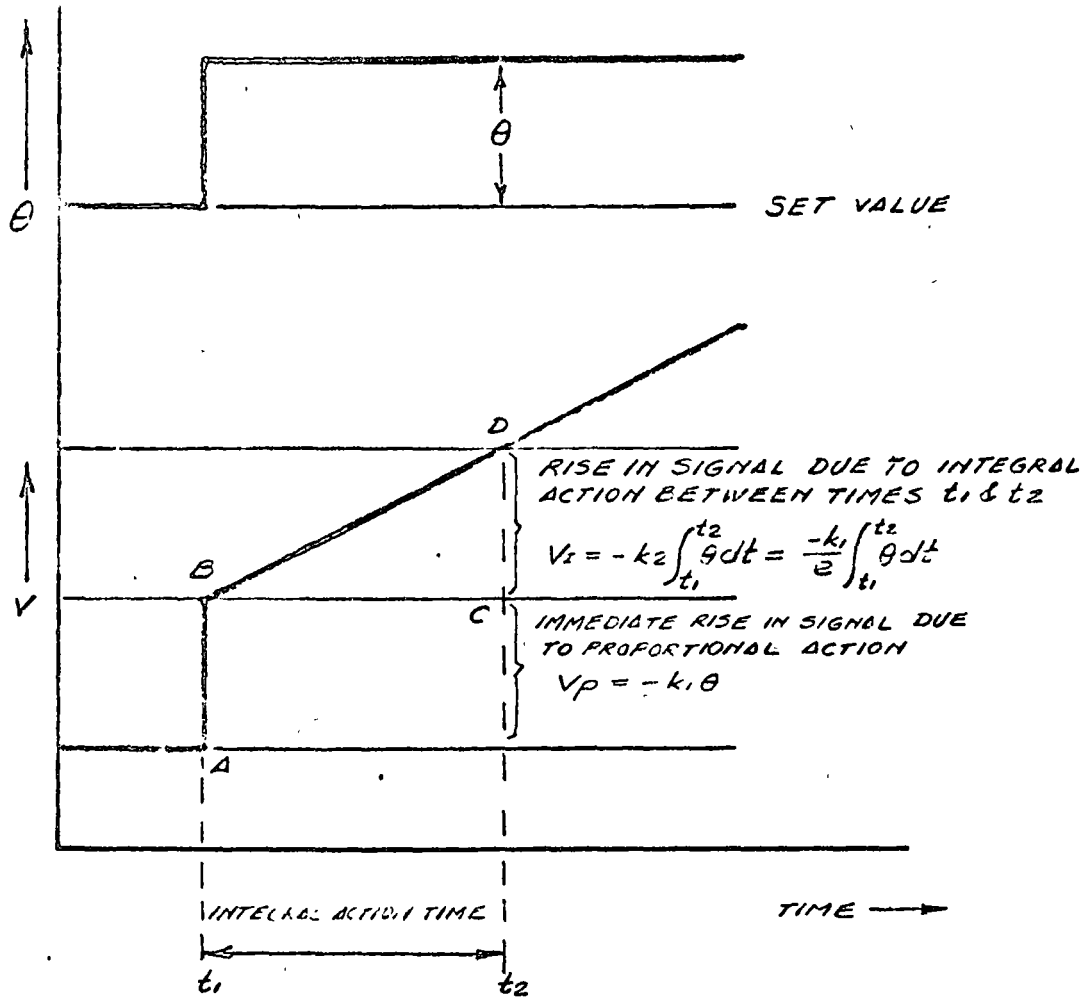


FIG. No. 27. PROPORTIONAL PLUS DERIVATIVE  
CONTROLLER UNIT

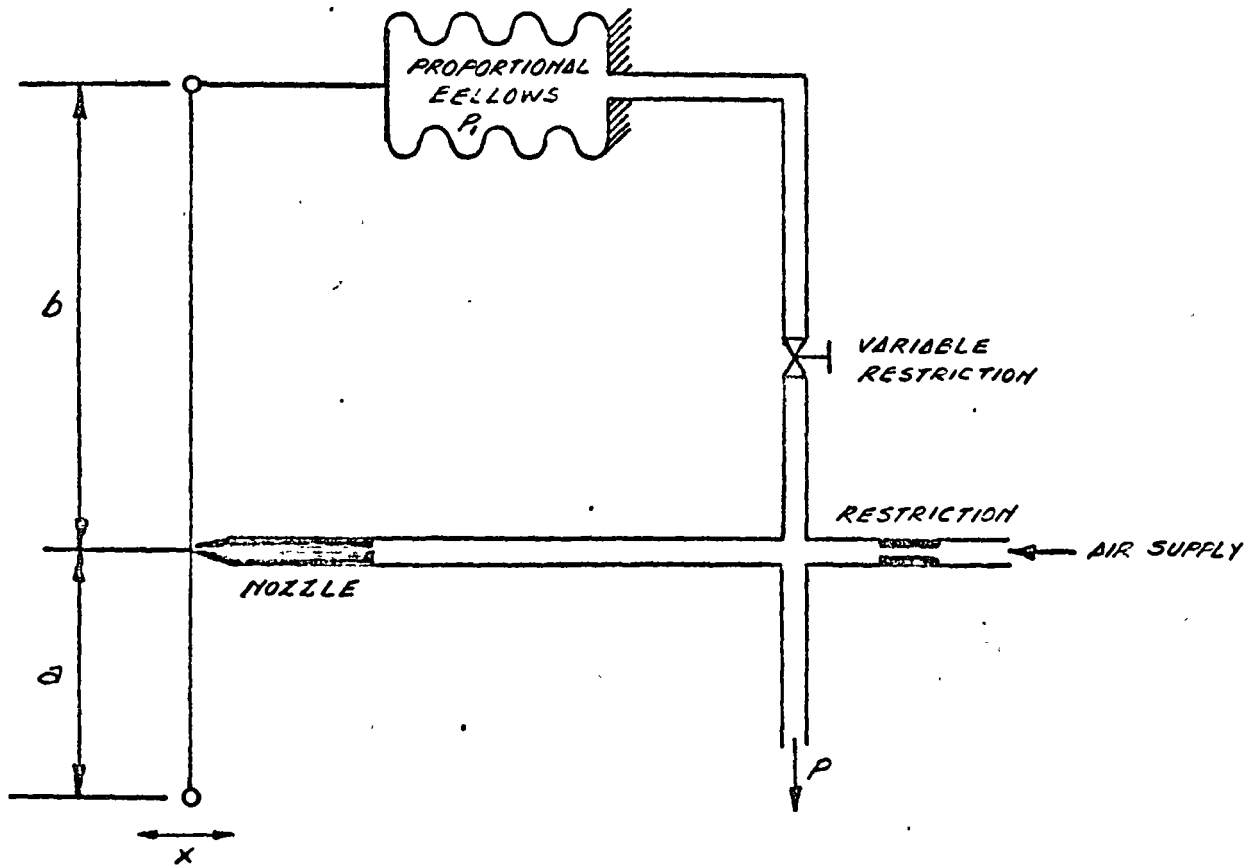


FIG. No. 28 DERIVATIVE ACTION TIME

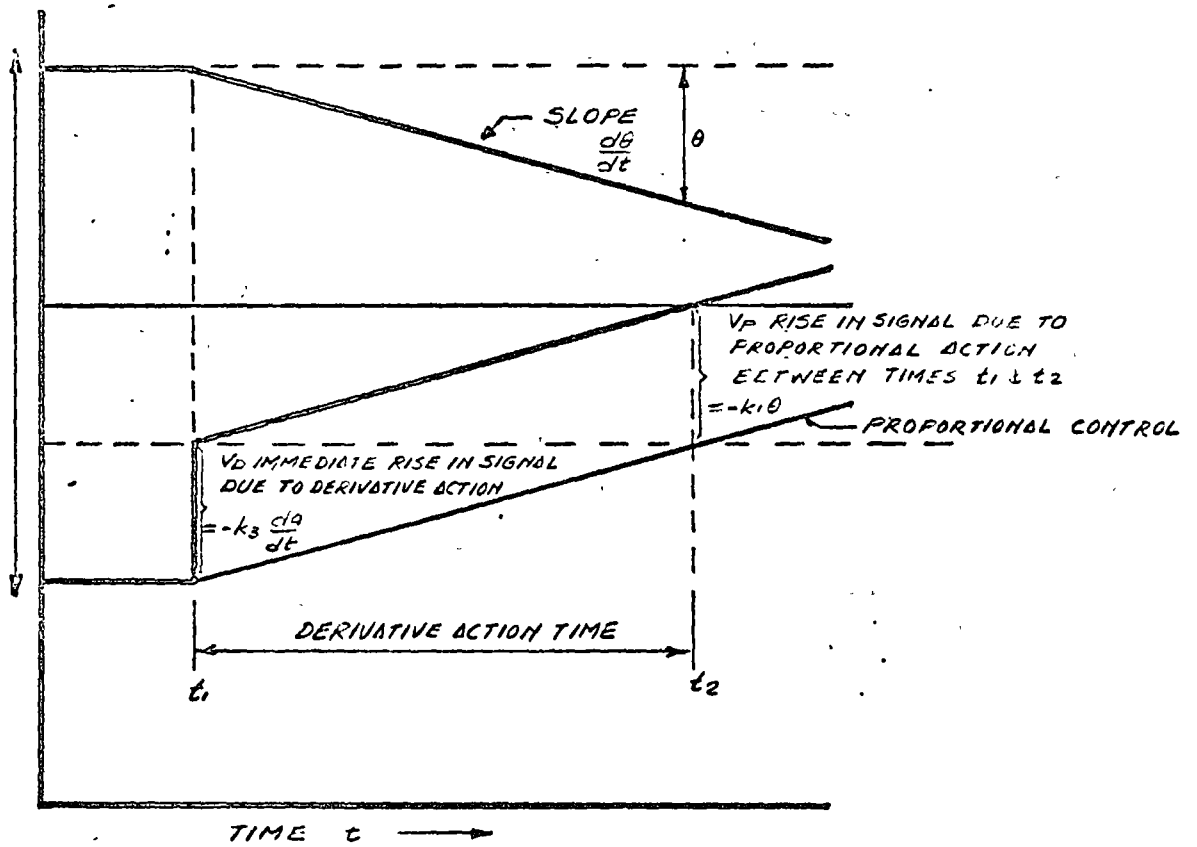


FIG. No. 29 PROPORTIONAL PLUS INTEGRAL PLUS DERIVATIVE CONTROLLER UNIT

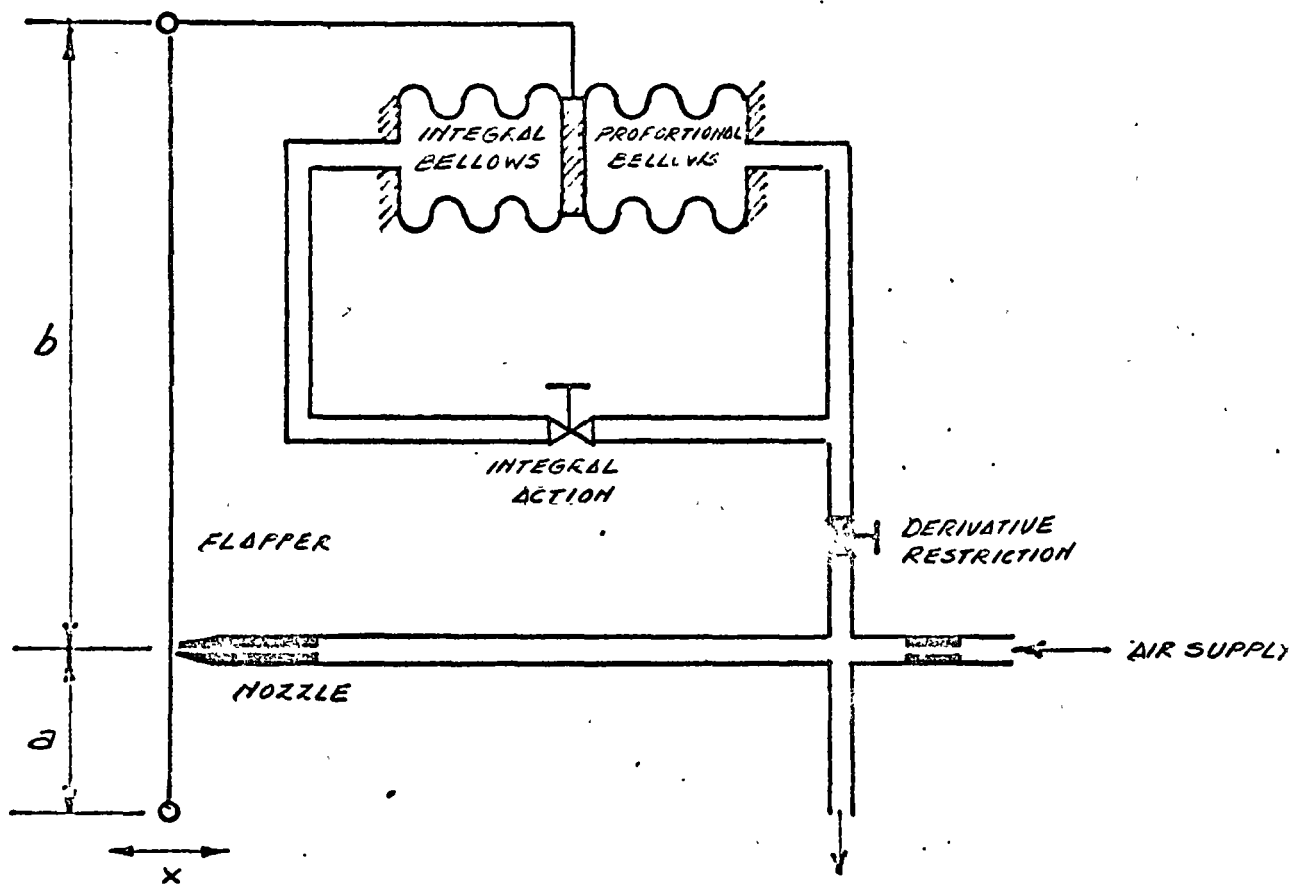


FIG. No. 30 DISTANCE-VELOCITY LAGS IN A CONTROL LOOP

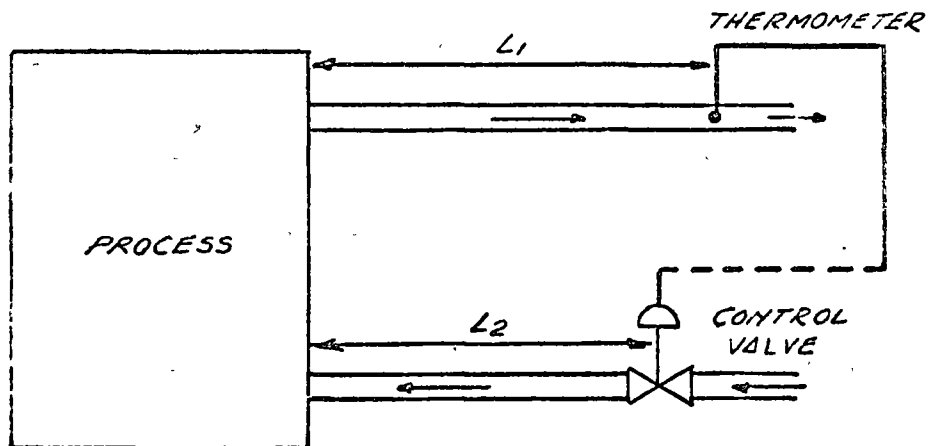


FIG. No. 31 A MERCURY-IN-STEEL BULB AS A FIRST ORDER SYSTEM

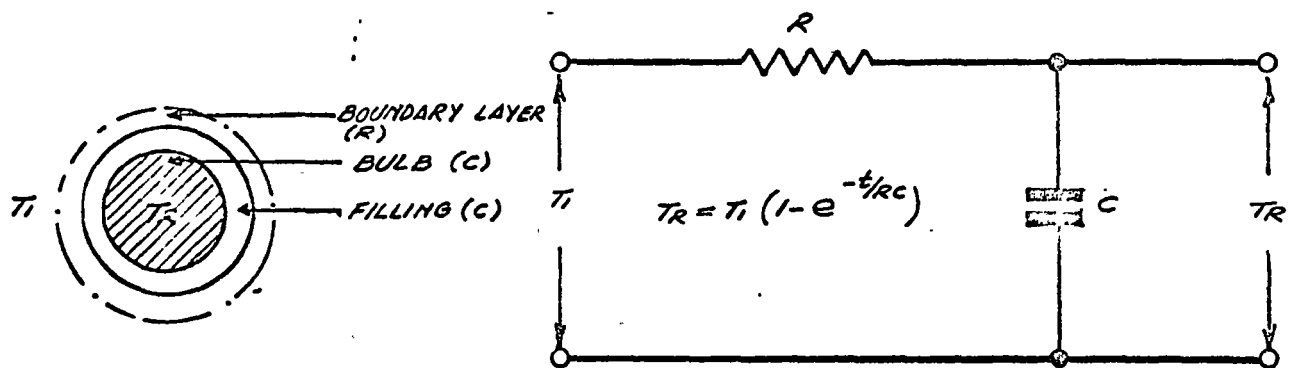


FIG. No. 32 RESPONSE TO A STEP CHANGE

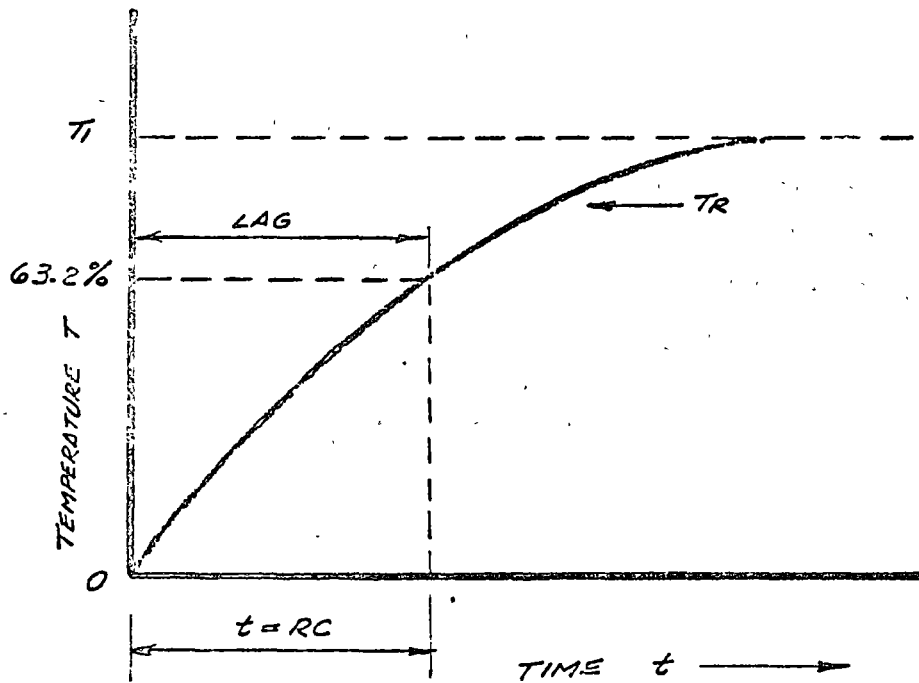


FIG. No. 33 RESPONSE TO A CONSTANT RATE OR RAMP CHANGE

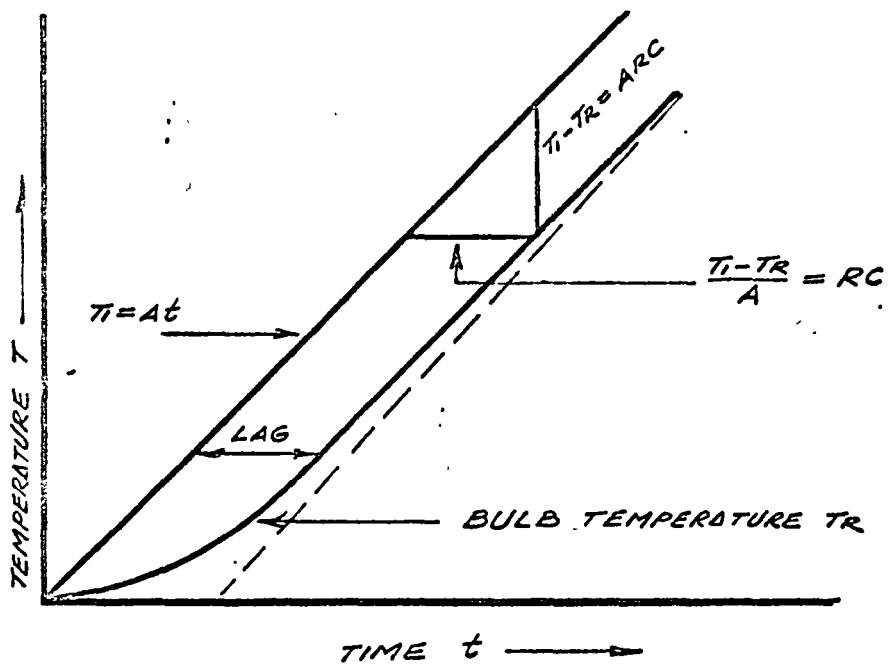


FIG. No. 34 RESPONSE TO A SINUSOIDAL CHANGE

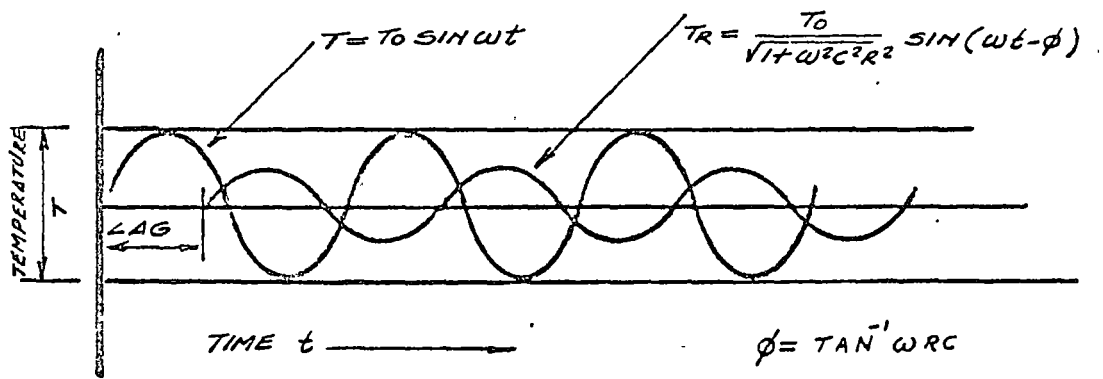


FIG. No. 35 (a) & (b) SIMPLE FIRST ORDER PROCESSES WITH PUMP AND RESTRICTION IN OUTFLOW LINE

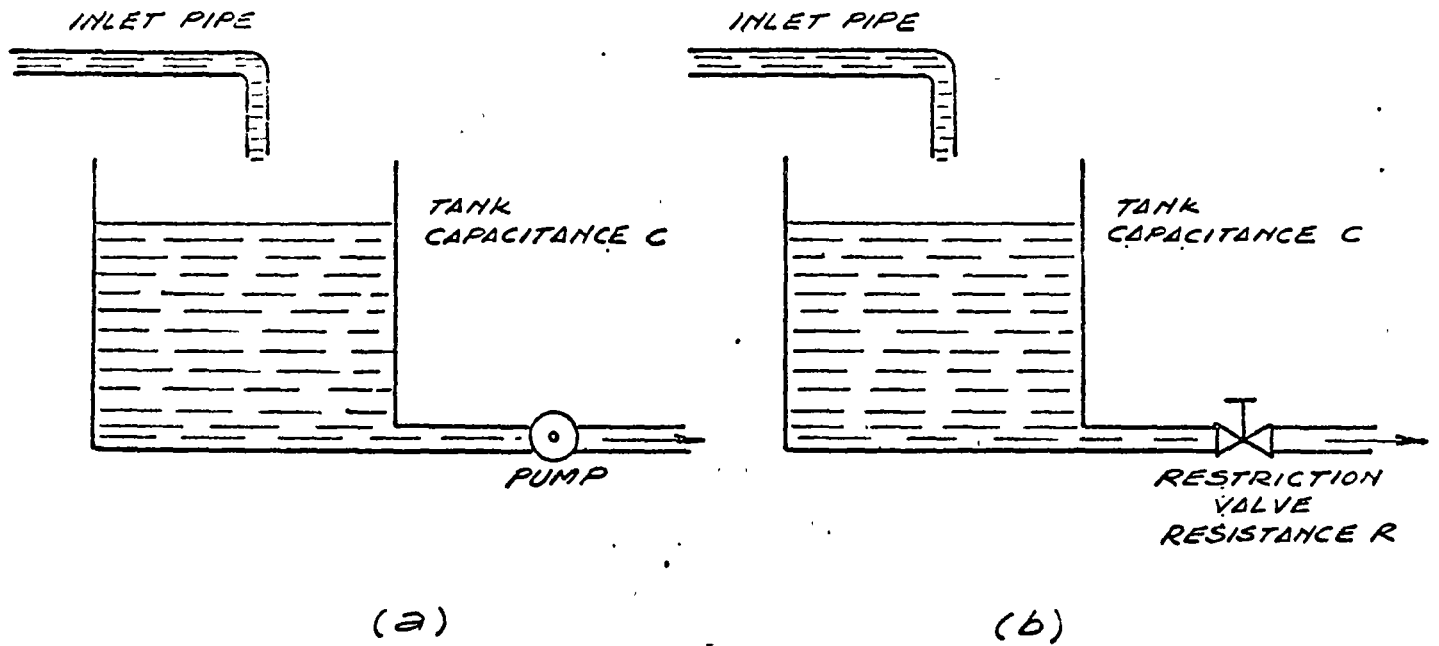
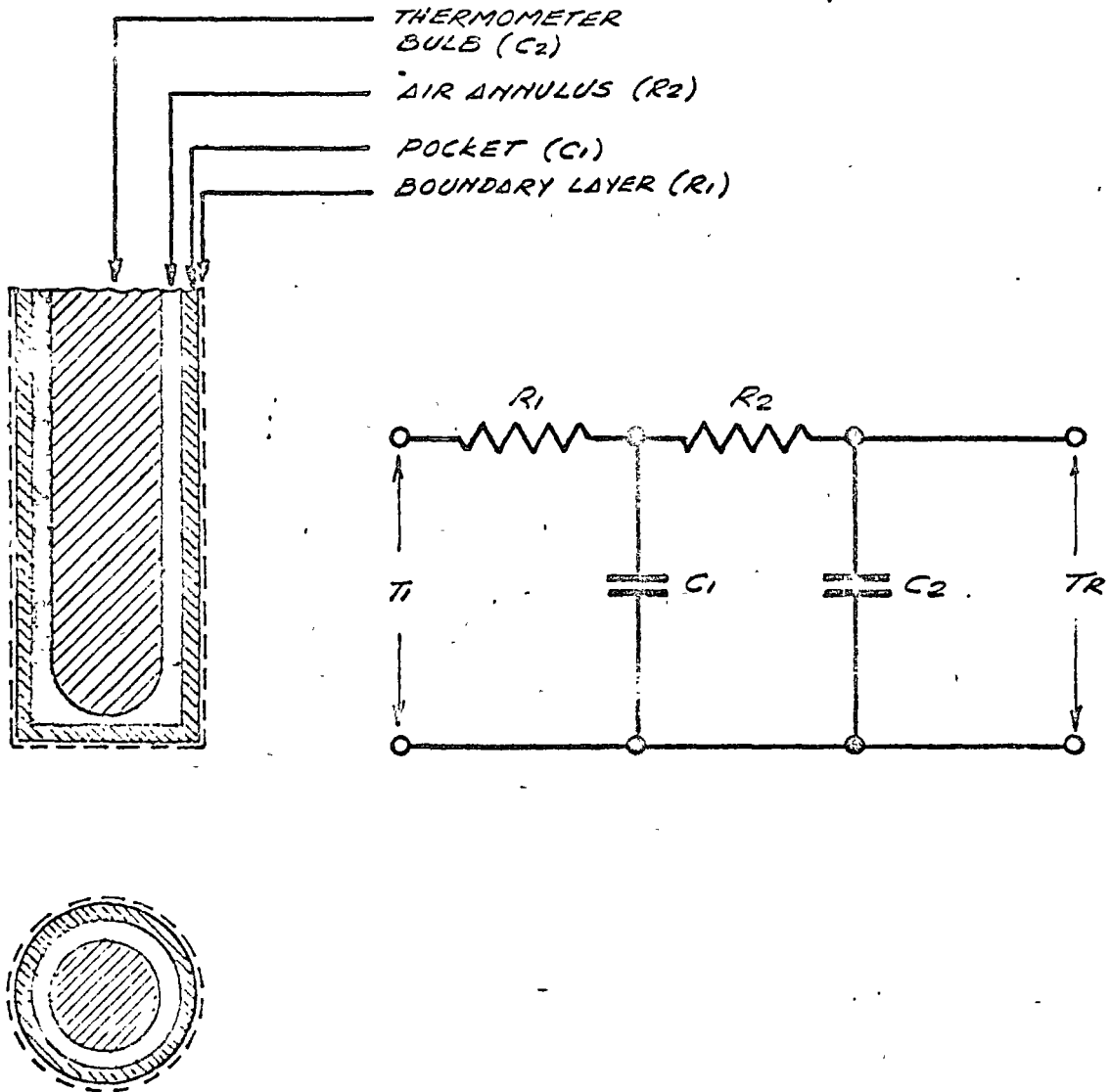


FIG. No. 36 A MERCURY-IN-STEEL BULB WITH POCKET AS A SECOND ORDER SYSTEM





IMPULSE FEEDFORWARD WITH FEEDBACK

DIAGRAMA DE BLOQUES

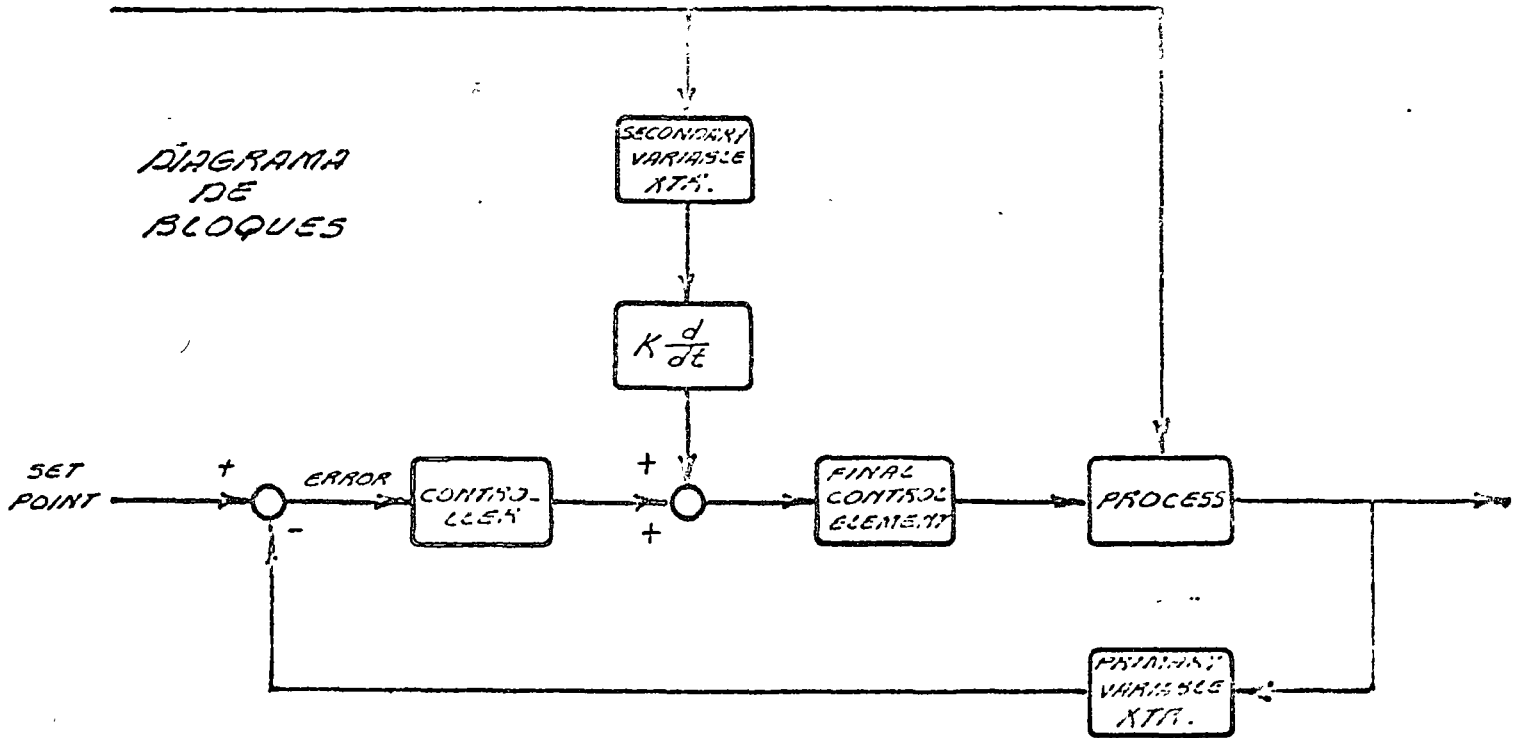


FIG. No. 38

OIL HEATER TEMP. CONTROL

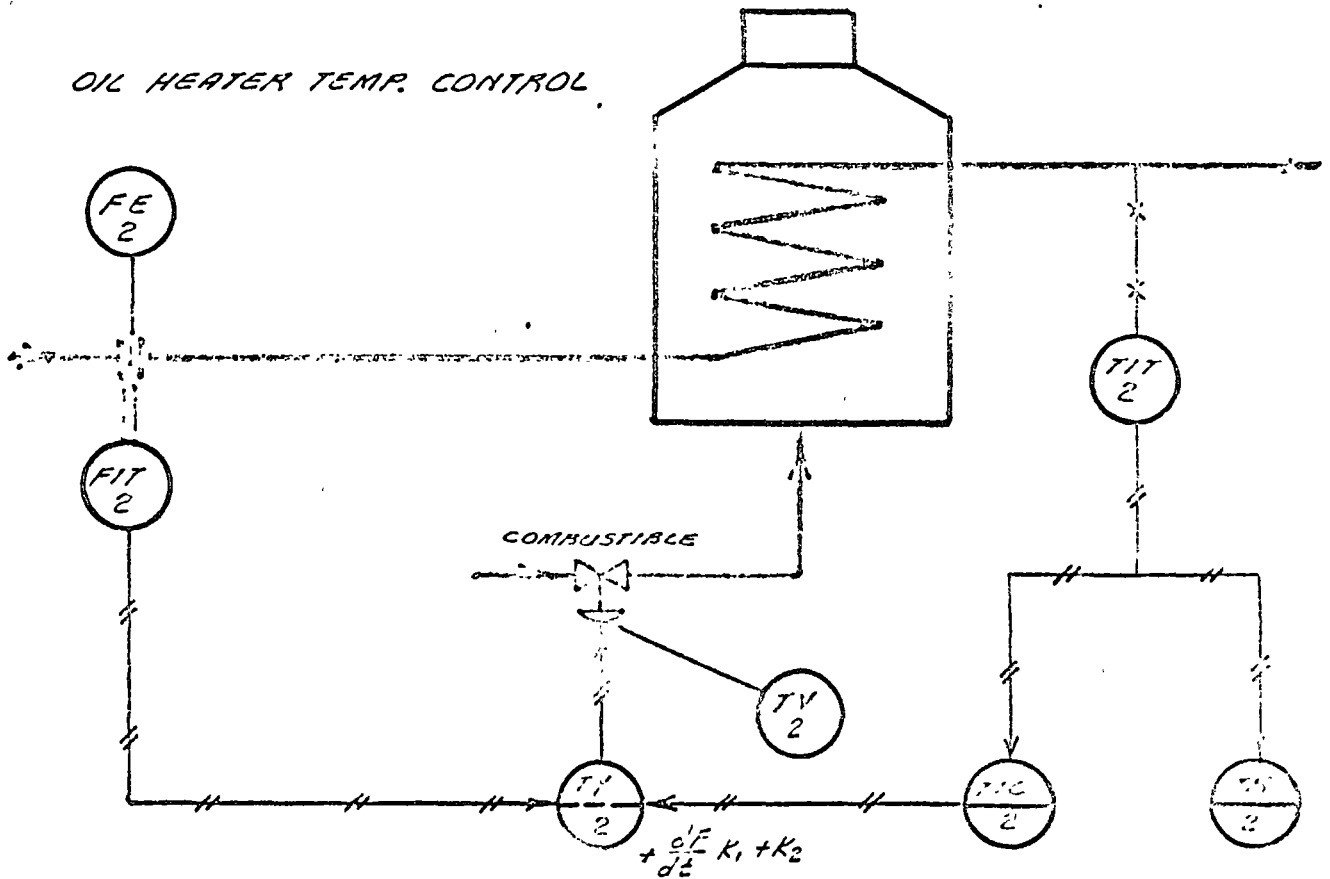


DIAGRAMA DE PROCESO

PREDICTIVE FEEDFORWARD WITH FEEDBACK

DIAGRAMA DE BLOQUES

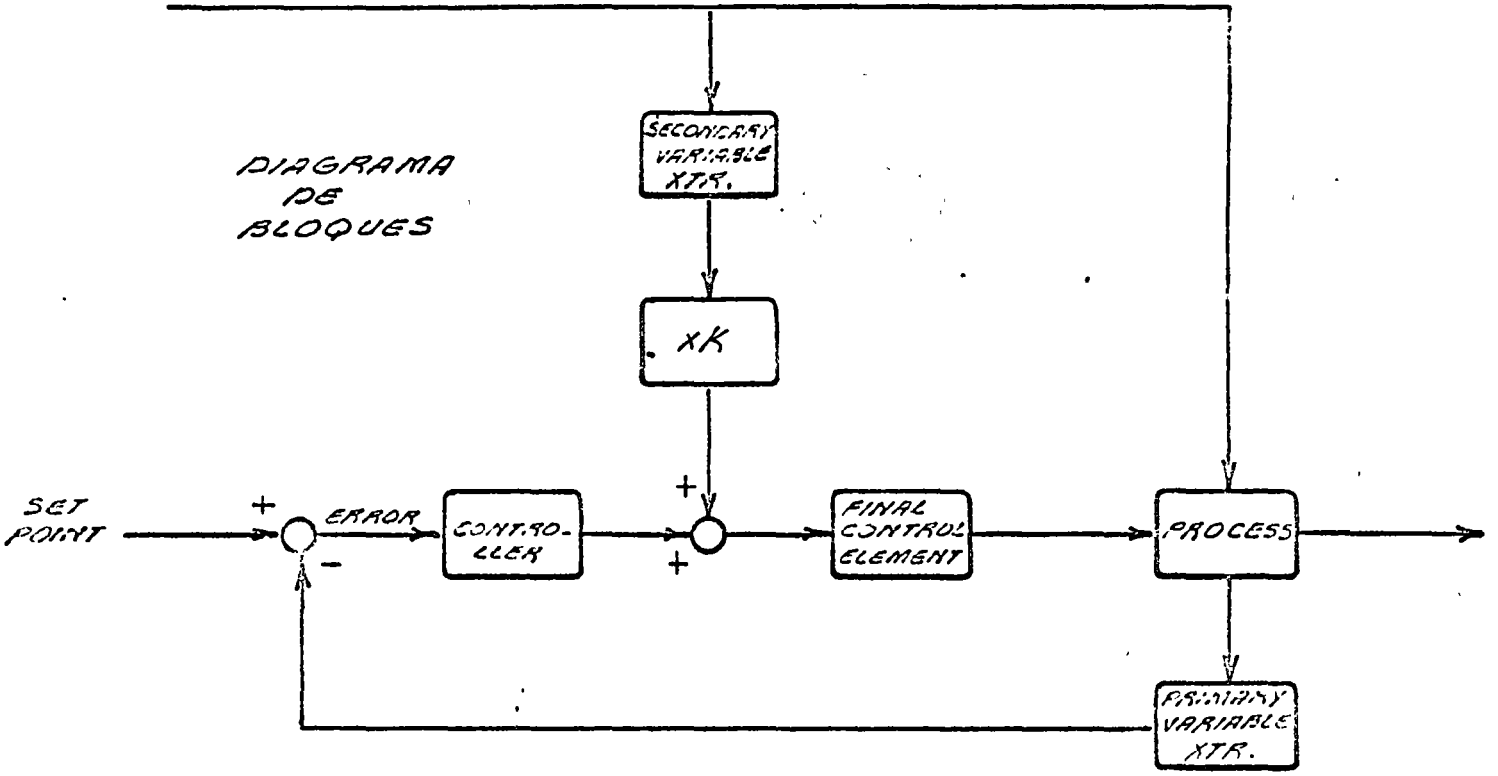
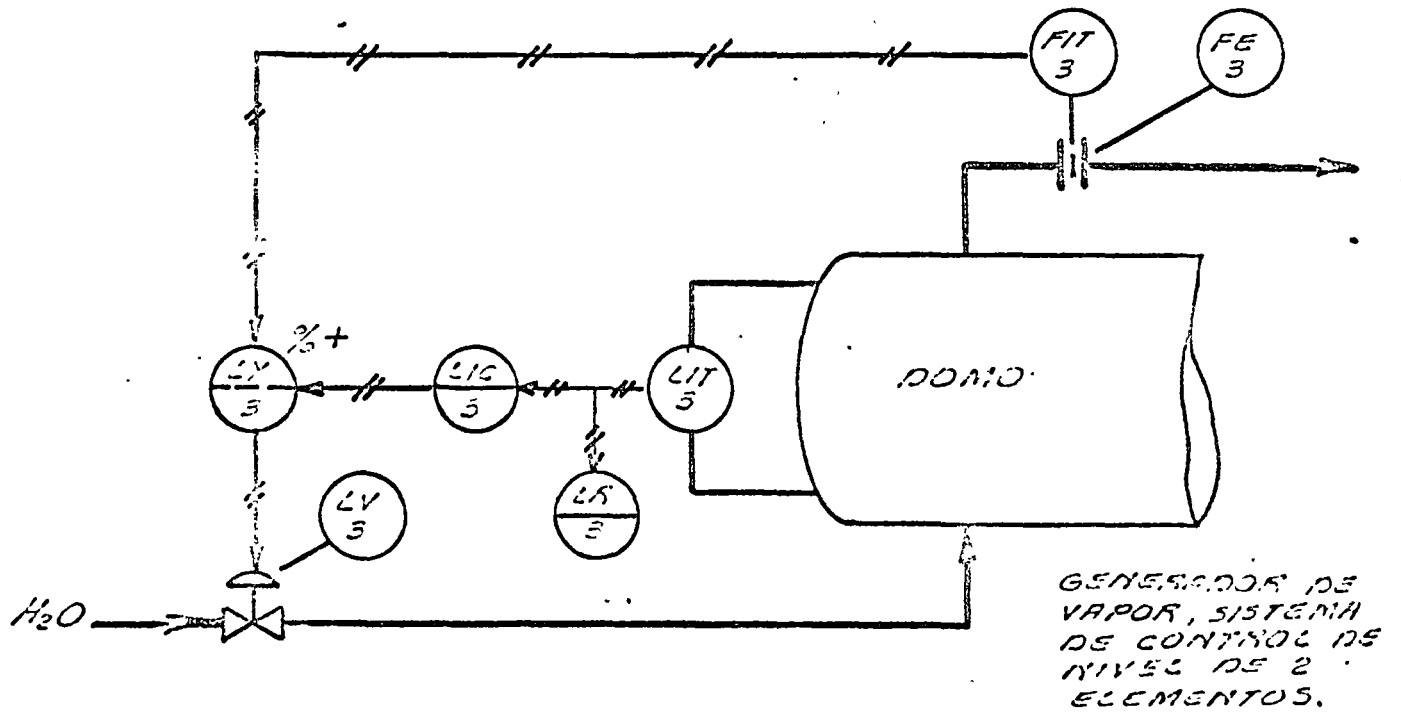


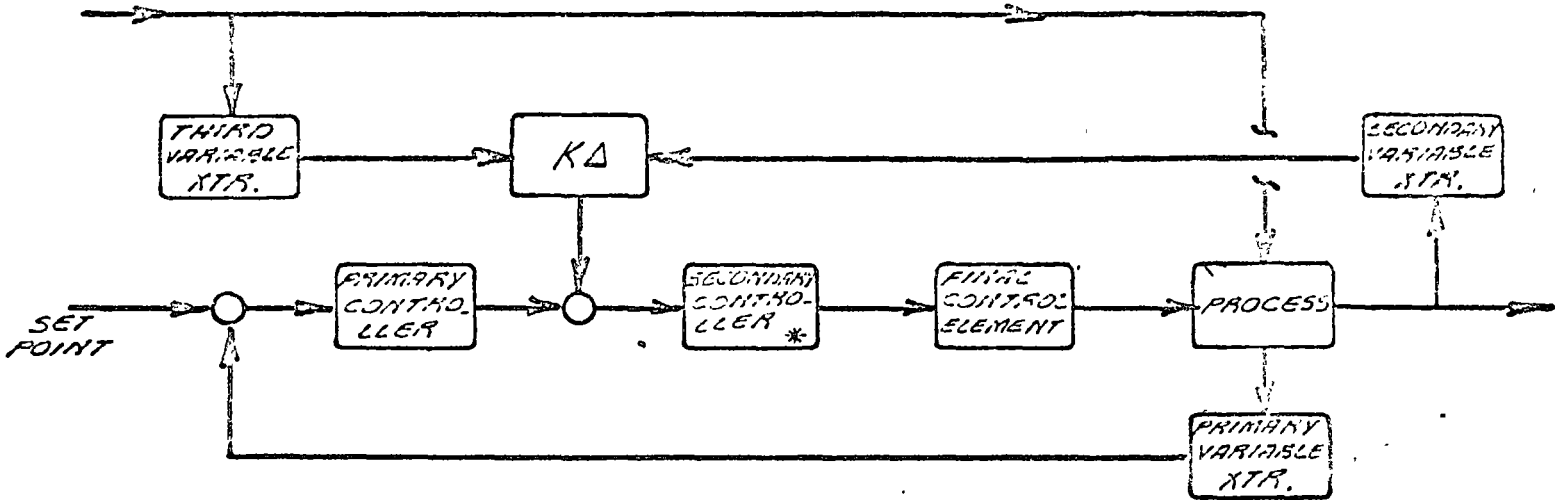
FIG. No. 39



GENERADOR DE VAPOR, SISTEMA DE CONTROL DE NIVELES DE 2 ELEMENTOS.

DIAGRAMA DE PROCESO

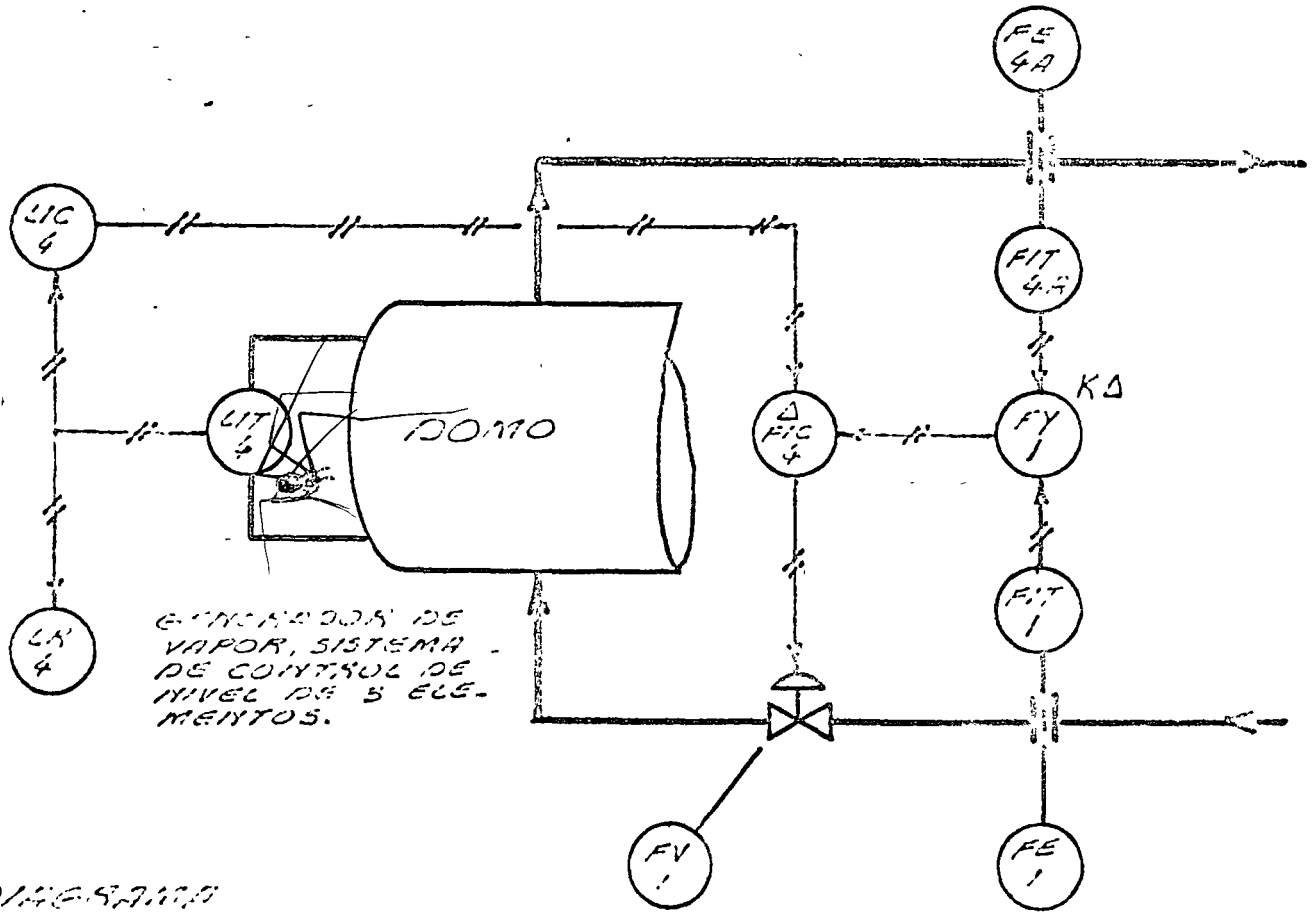
CASCADE WITH RATIO PREDICTIVE FEEDFORWARD.



\* HEAT, ENERGY OR MATERIAL BALANCE CONTROLLER

DIAGRAMA DE BLOQUES

FIG. No. 40



ENTRADA DE VAPOR, SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL DE 5 ELEMENTOS.

DIAGRAMA DE PROCESO

VERRIDE CONTROL THROUGH SELECTOR

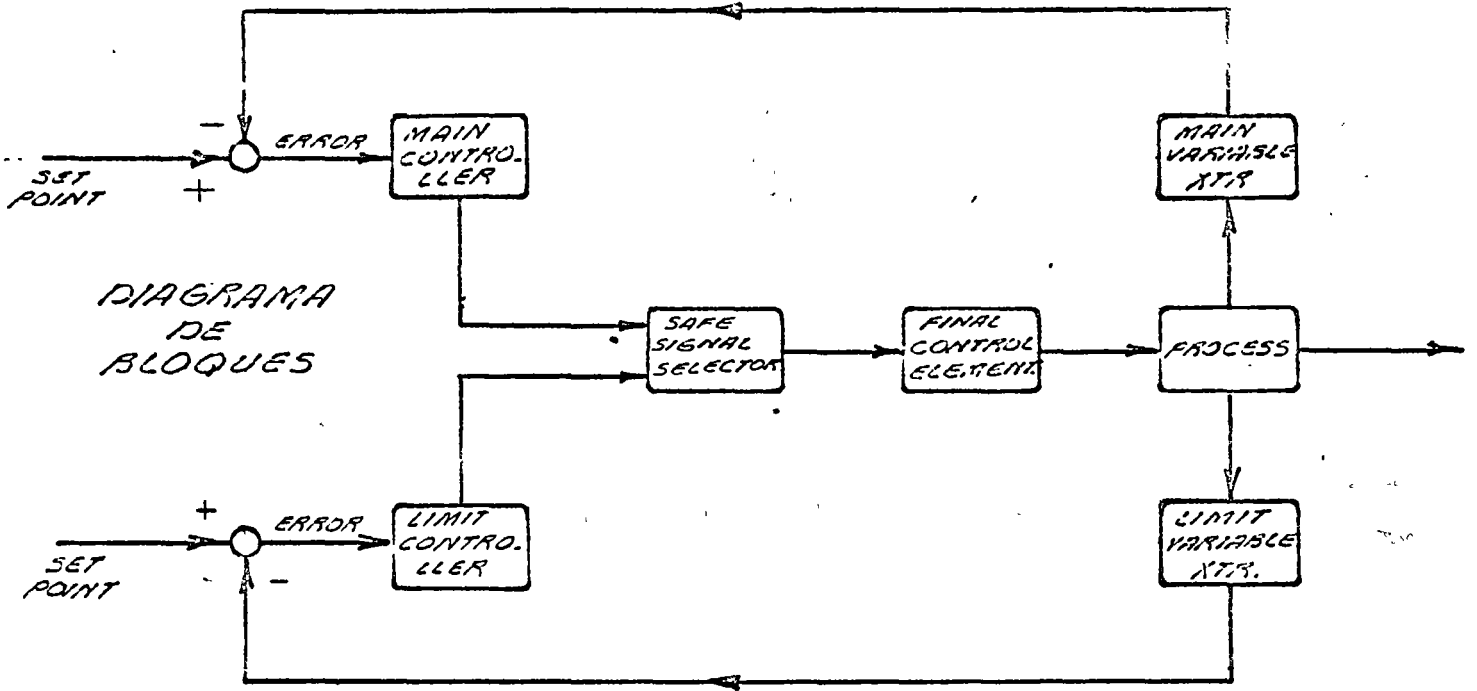


DIAGRAMA DE BLOQUES

FIG. No. 41

OIL PIPELINE BOOSTER PUMP CONTROL

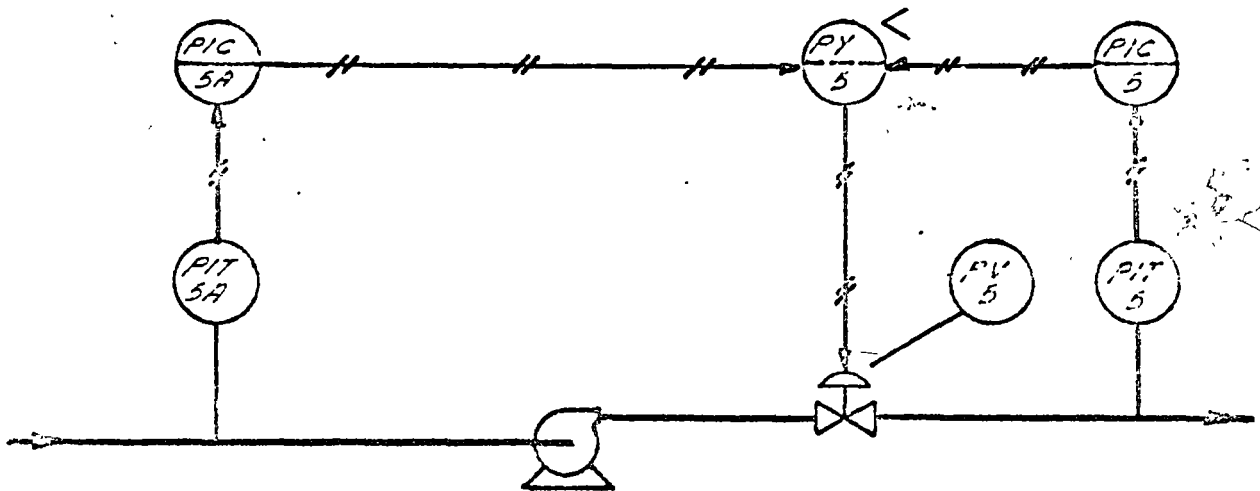


DIAGRAMA DE PROCESO

OVERRIDE CONTROL THROUGH SUPPLY

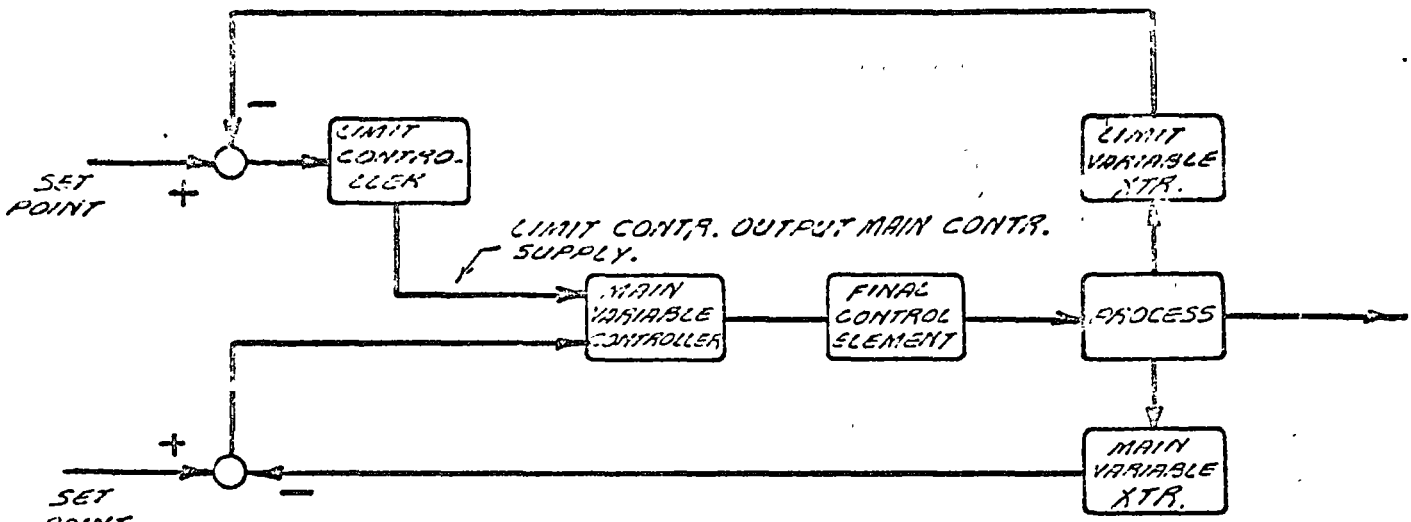
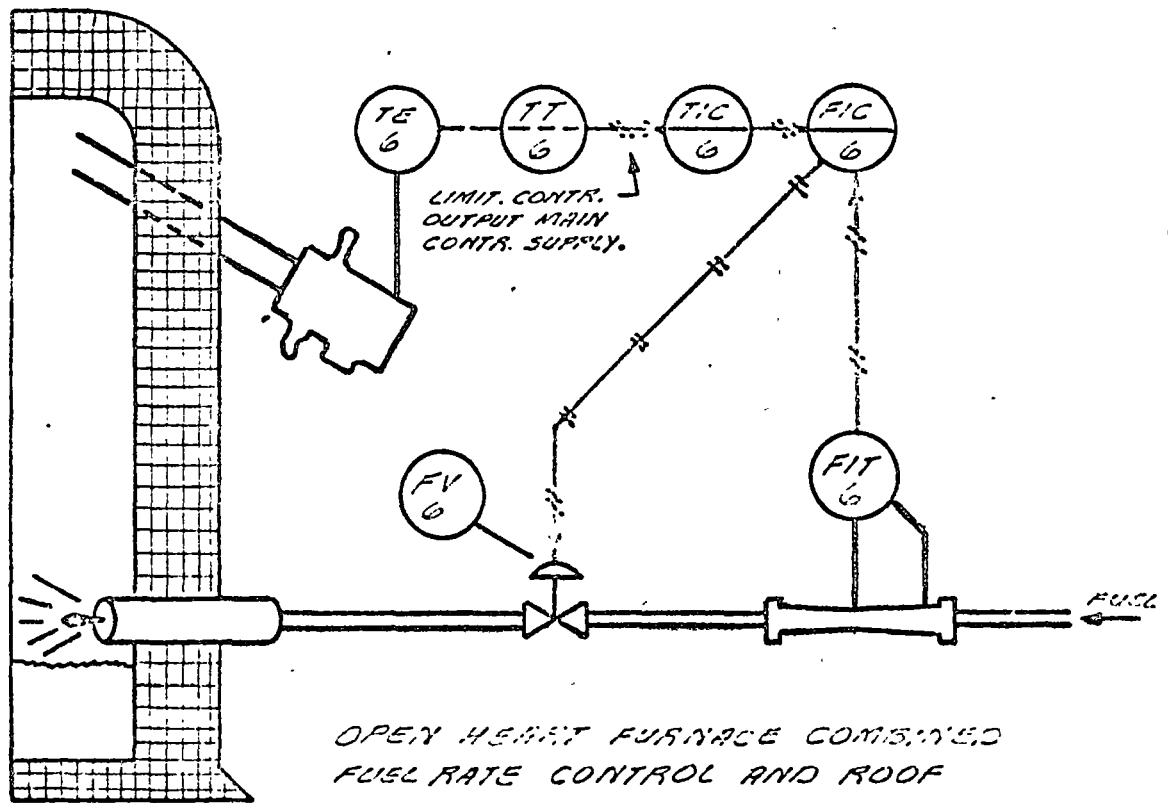


DIAGRAMA DE BLOQUES

FIG. No. 42



OPEN HEARTH FURNACE COMBINED FUEL RATE CONTROL AND ROOF TEMPERATURE LIMIT.

DIAGRAMA DE PROCESO.

FLOW DISTRIBUTION  
SELECTOR CONTROL

DIAGRAMA  
DE  
BLOQUES

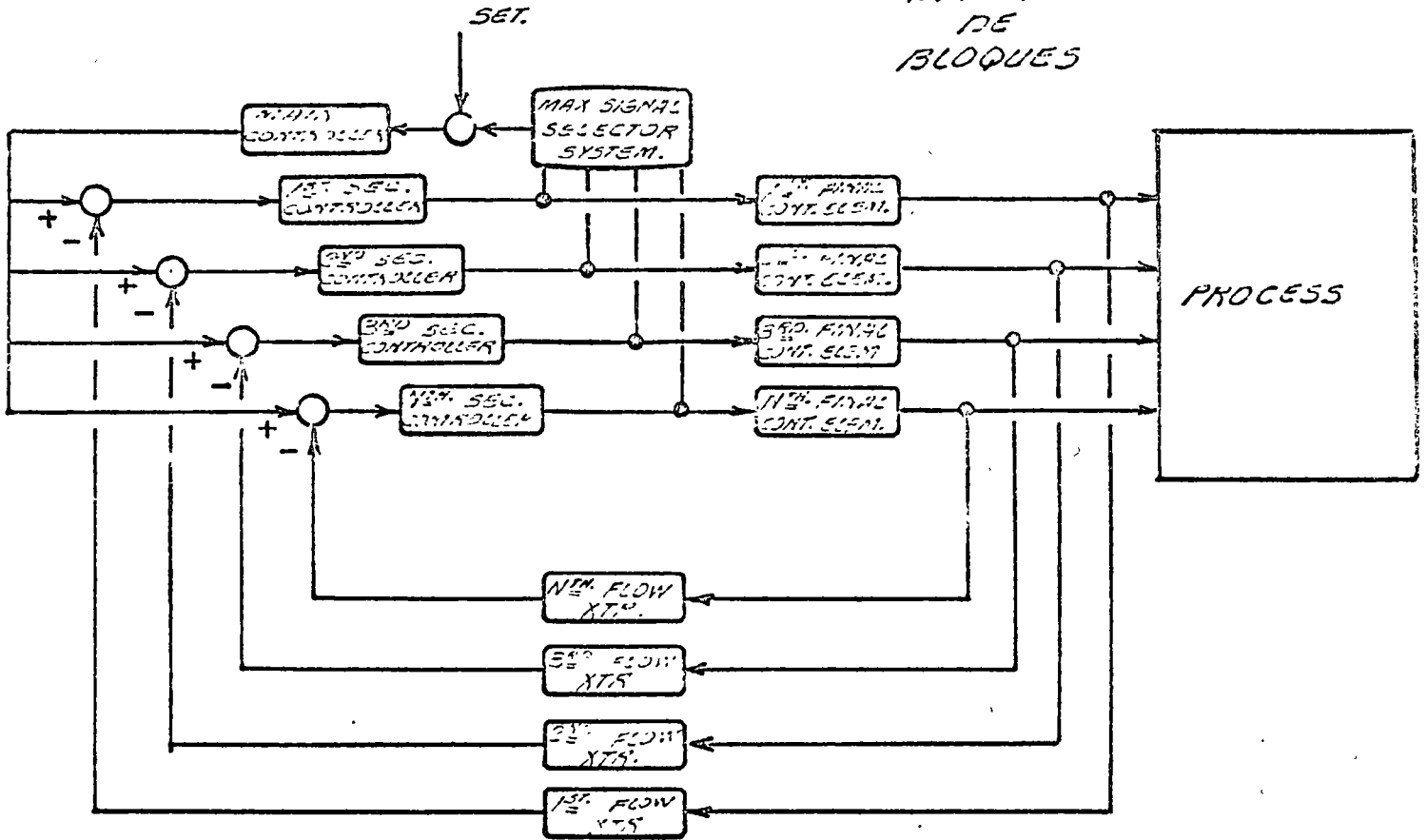


FIG. No. 4.3

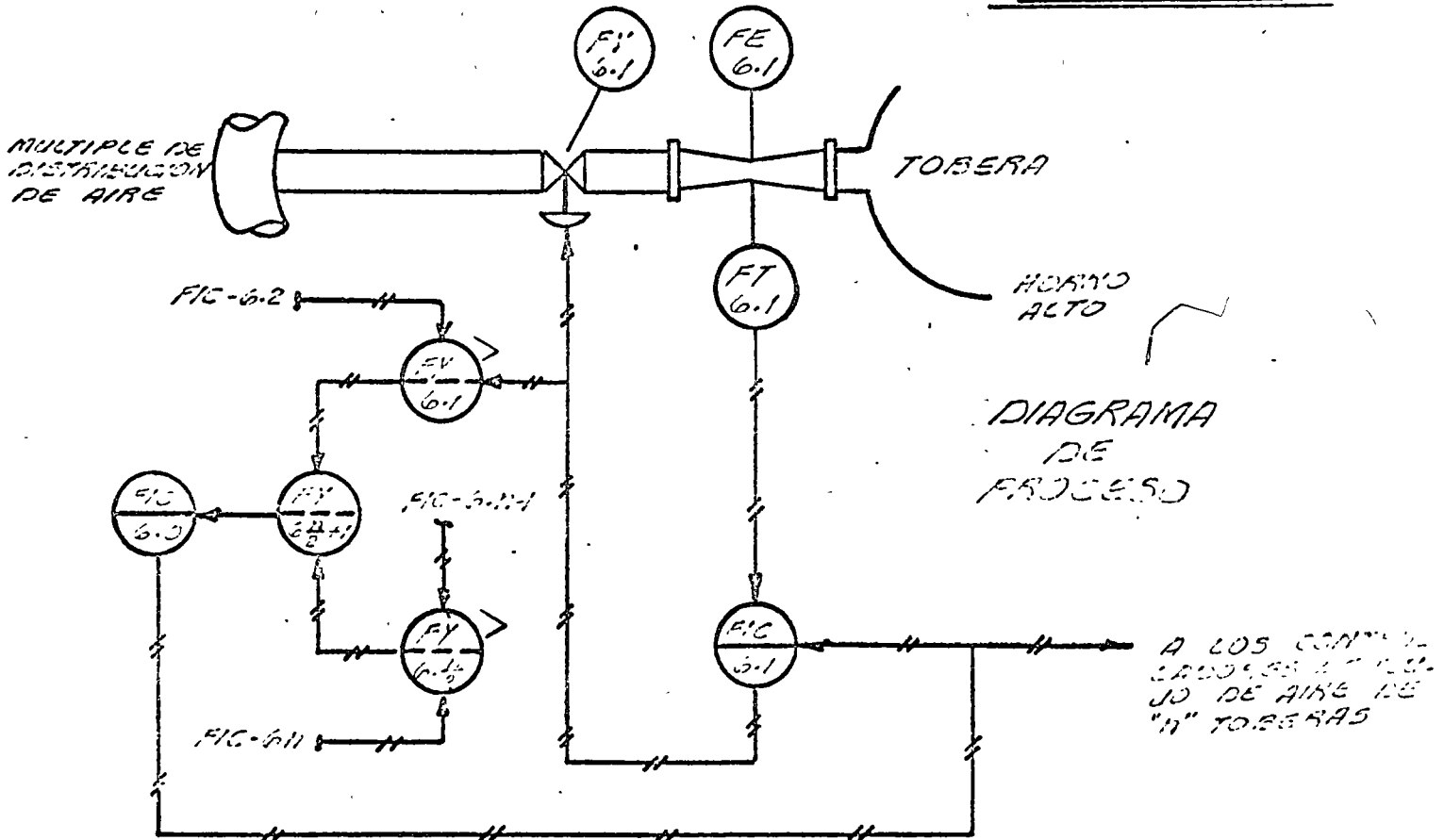


DIAGRAMA  
DE  
PROCESO

A LOS CONTROLADORES DE AIRE DE "N" TOBERAS

SELECTOR SPLIT LOAD SUPPLY CONTROL

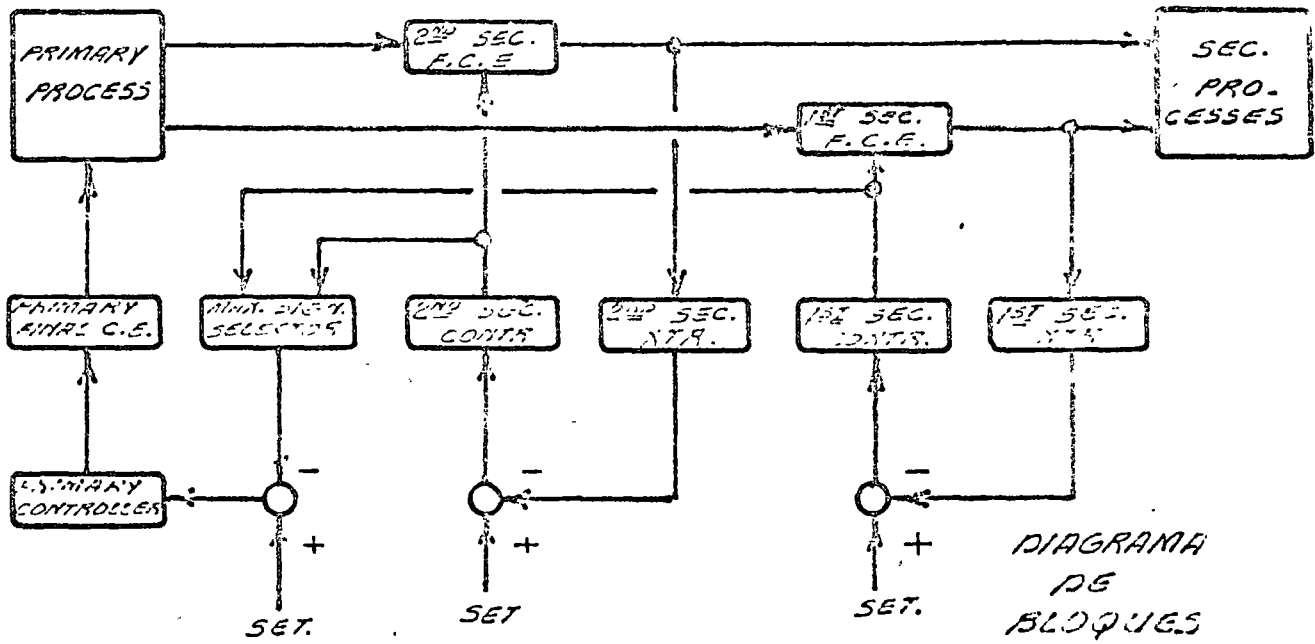
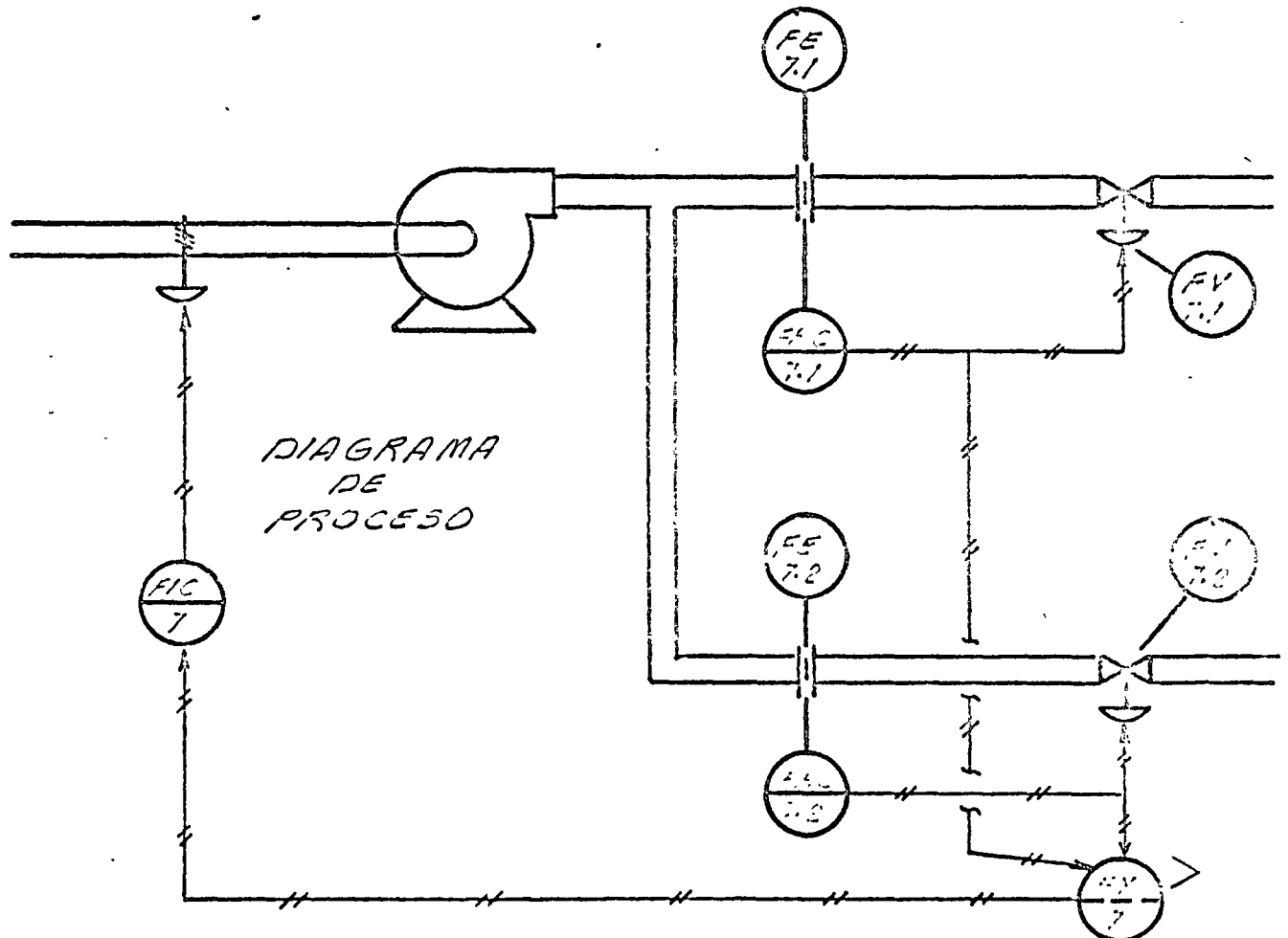


FIG. No. 44



MANUAL SET RATIO CONTROL

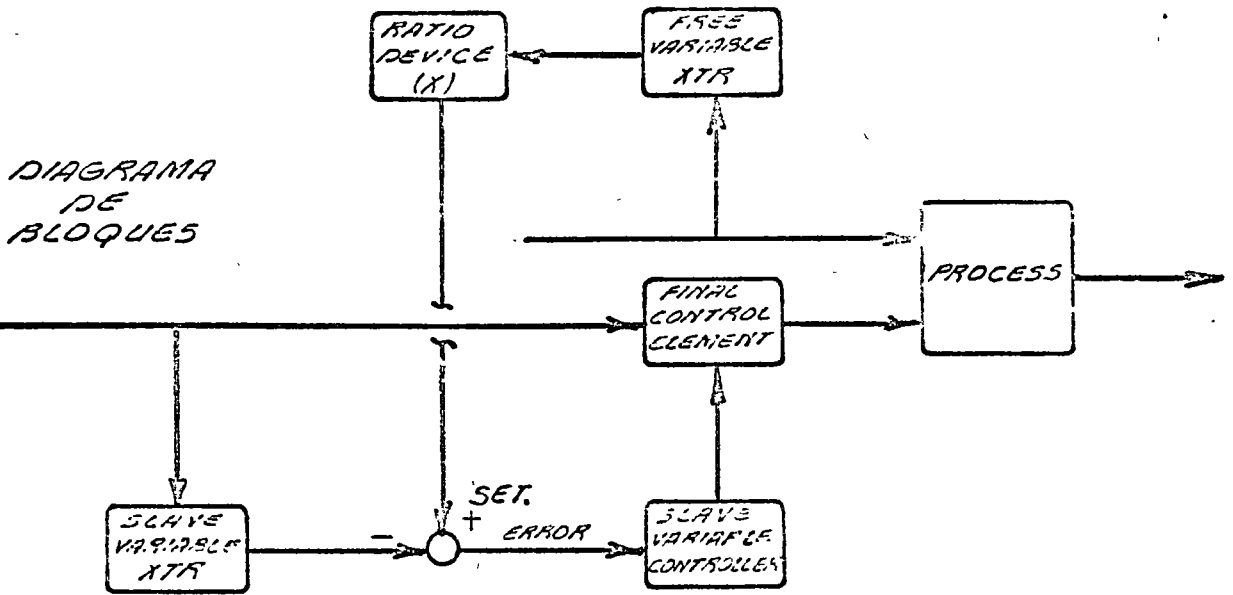


FIG. No. 45

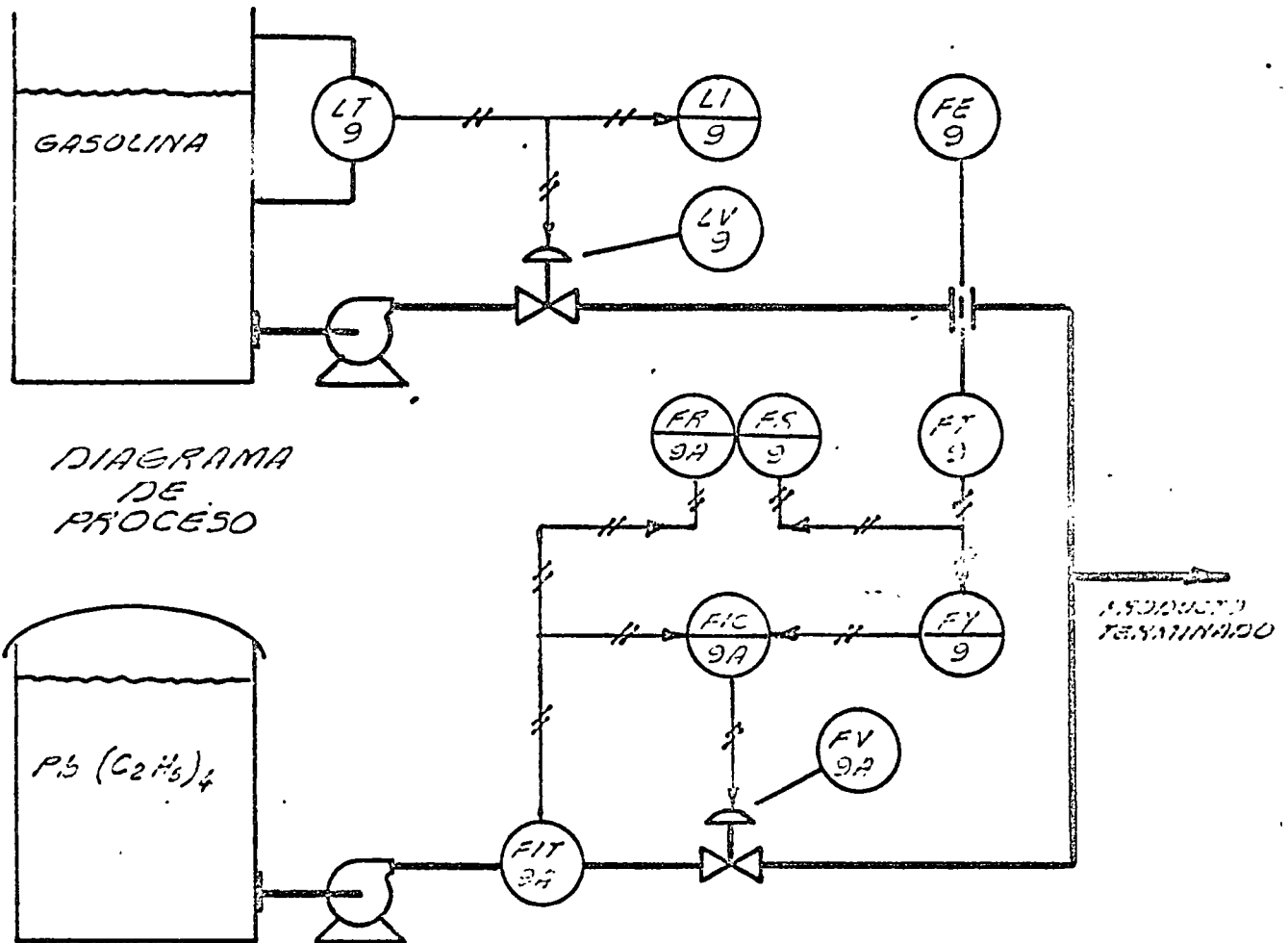
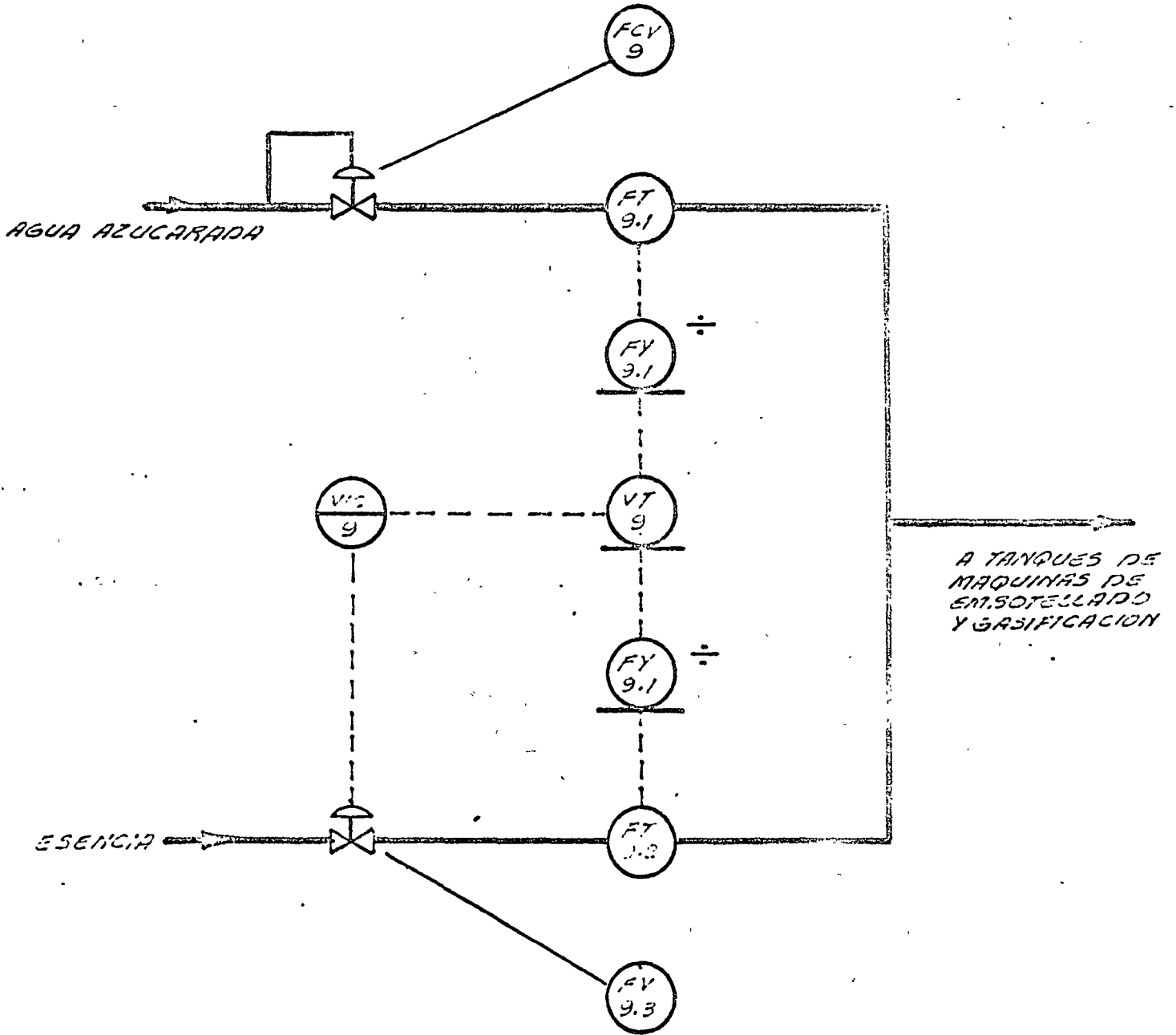
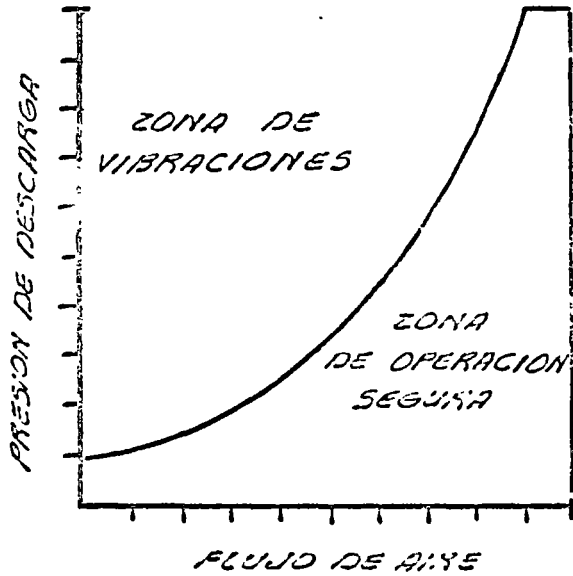


FIG. No. 46





EN LA GRAFICA DE LA IZQUIERDA SE MUESTRAN LAS ZONAS EN QUE PRESION DE DESCARGA Y FLUJO PRODUCEN VIBRACIONES Y LA ZONA DE OPERACION SEGURA.

UN ARREGLO DE CONTROL COMO EL QUE SE MUESTRA ABAJO IMPEDIRA QUE EL SISTEMA ENTRE EN LA ZONA DE VIBRACIONES.

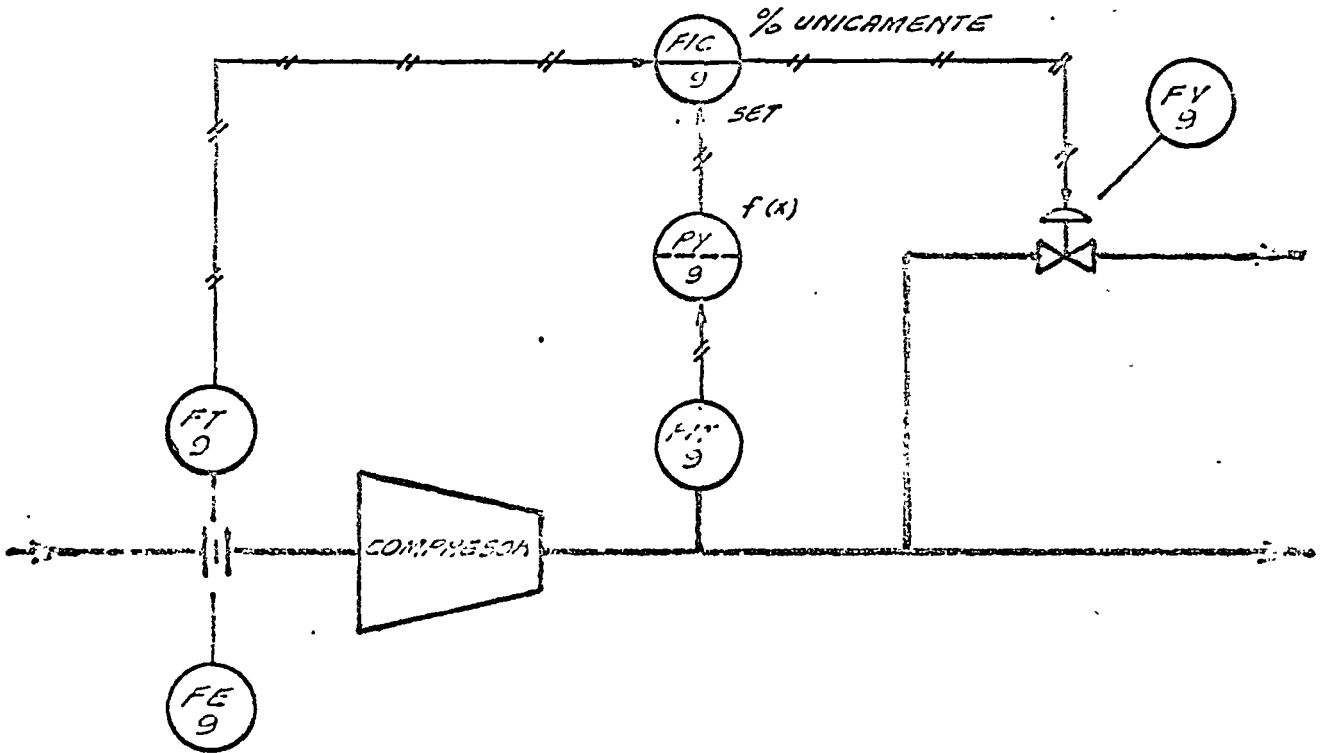


FIG. No. 47

AUTOMATIC SET RATIO CONTROL

DIAGRAMA DE BLOQUES

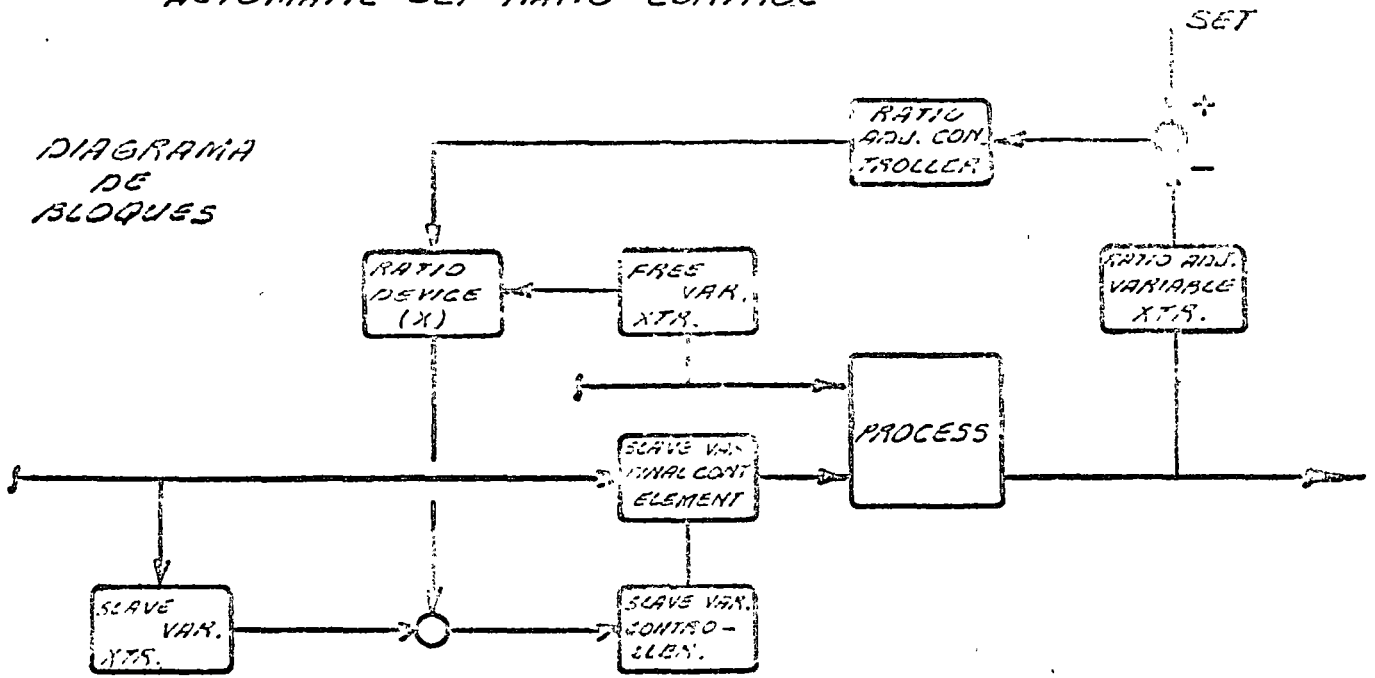


FIG. No. 48

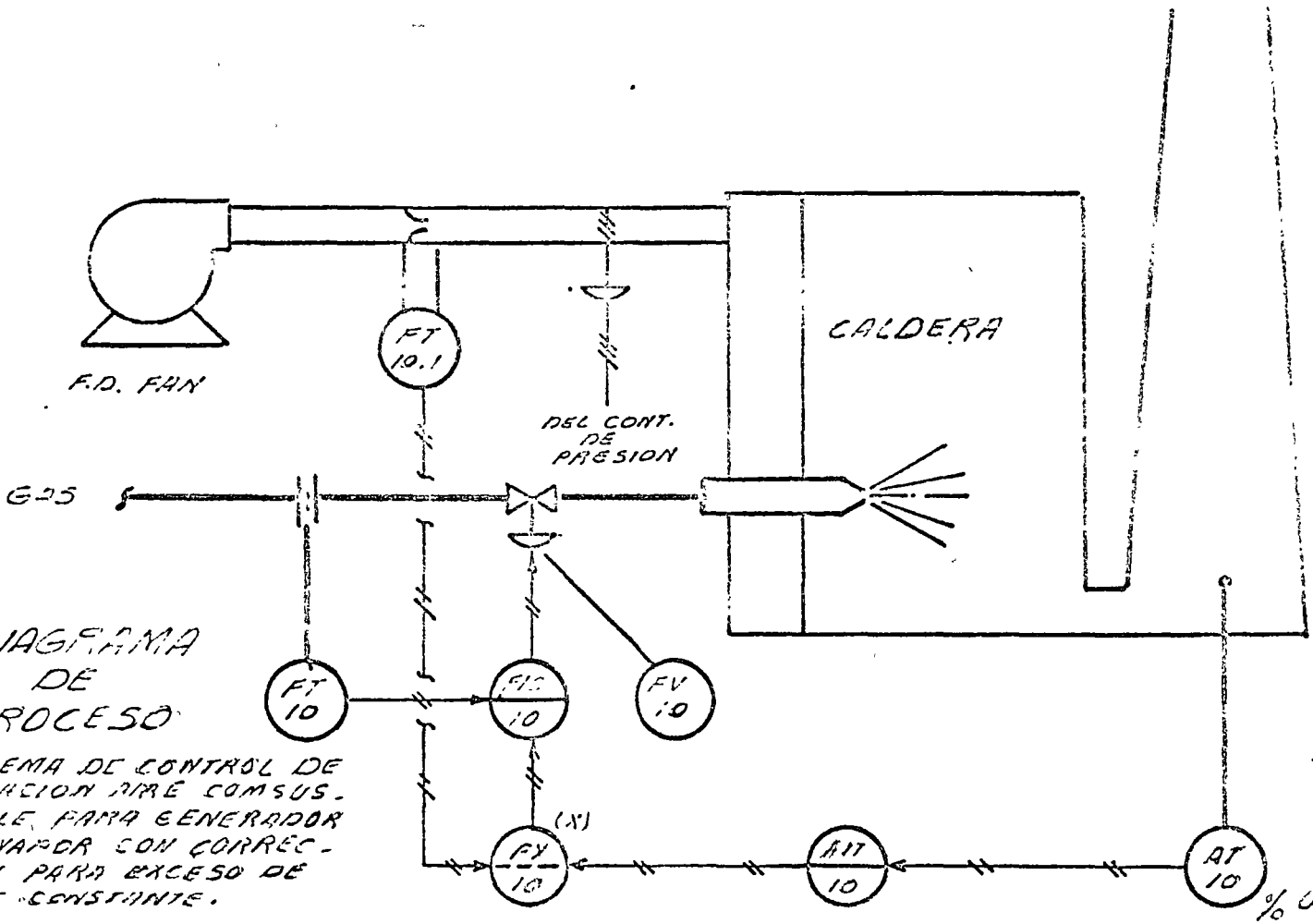


DIAGRAMA DE PROCESO

SISTEMA DE CONTROL DE RELACION AIRE COMSUSTIBLE PARA GENERADOR DE VAPOR CON CORRECCION PARA EXCESO DE AIRE CONSTANTE.

DOUBLE CONTROL

DIAGRAMA DE BLOQUES

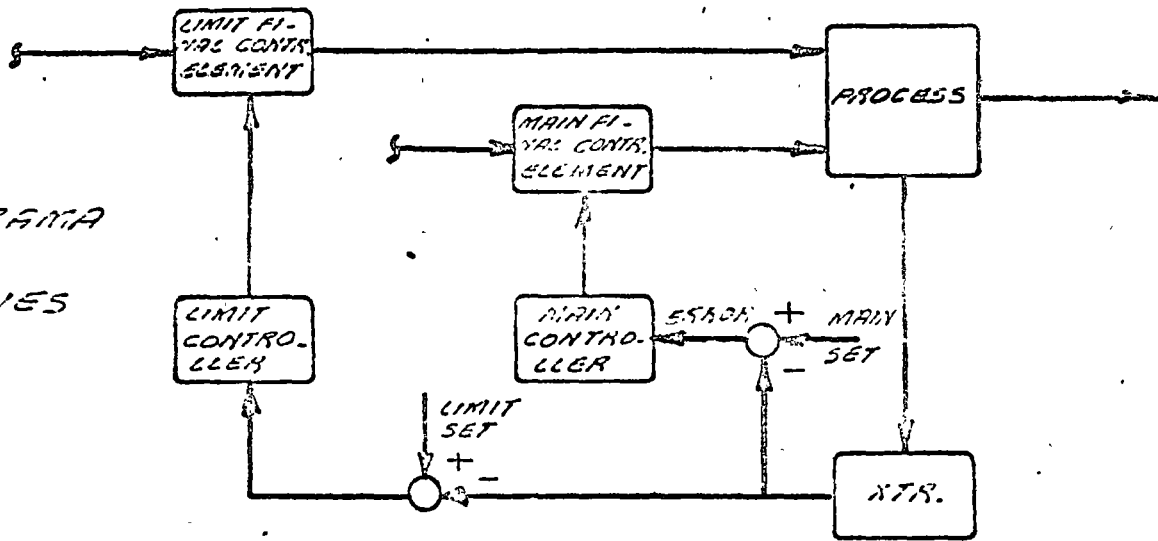
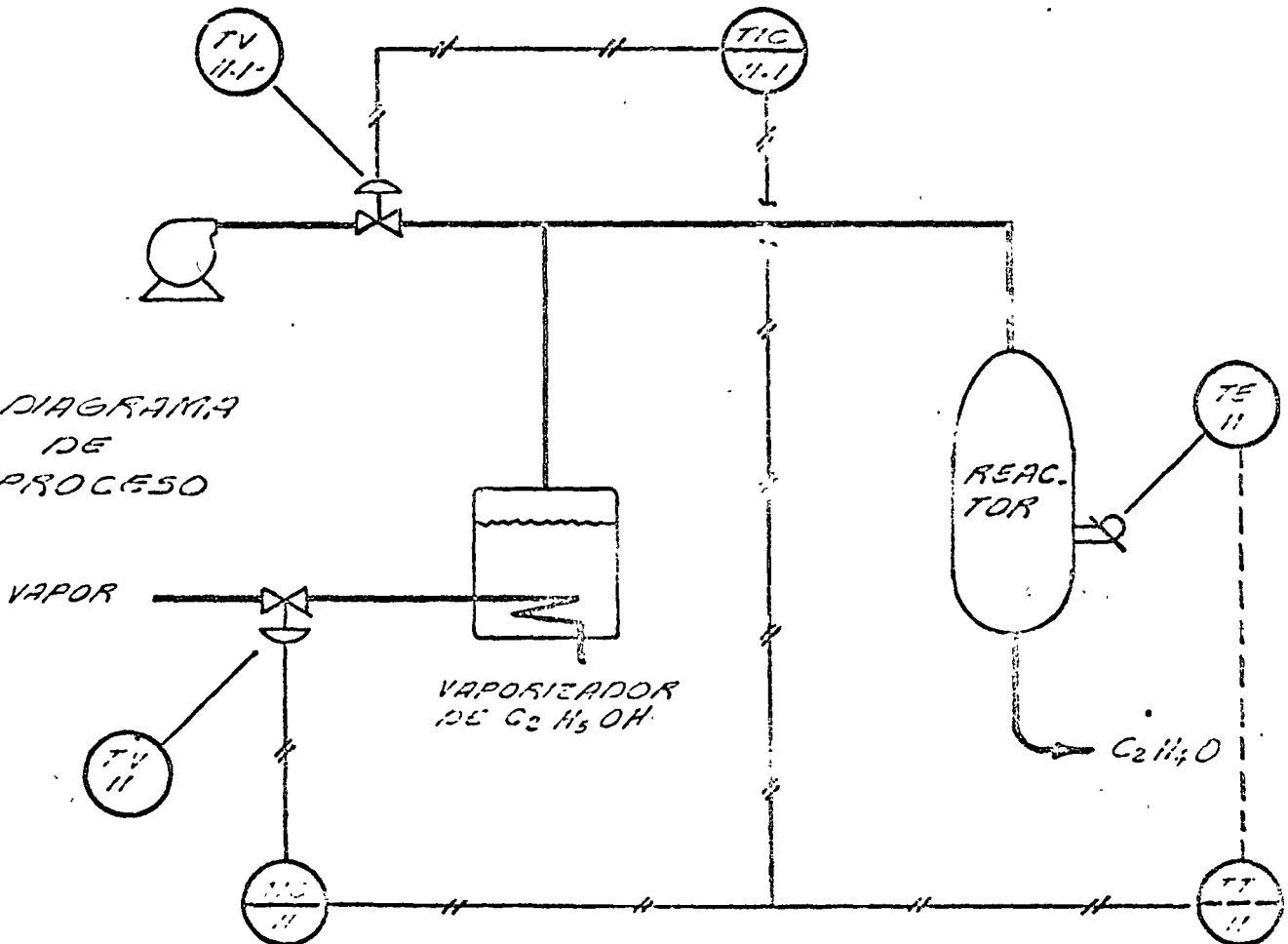


FIG. No. 49

DIAGRAMA DE PROCESO



### SPLIT RANGE CONTROL

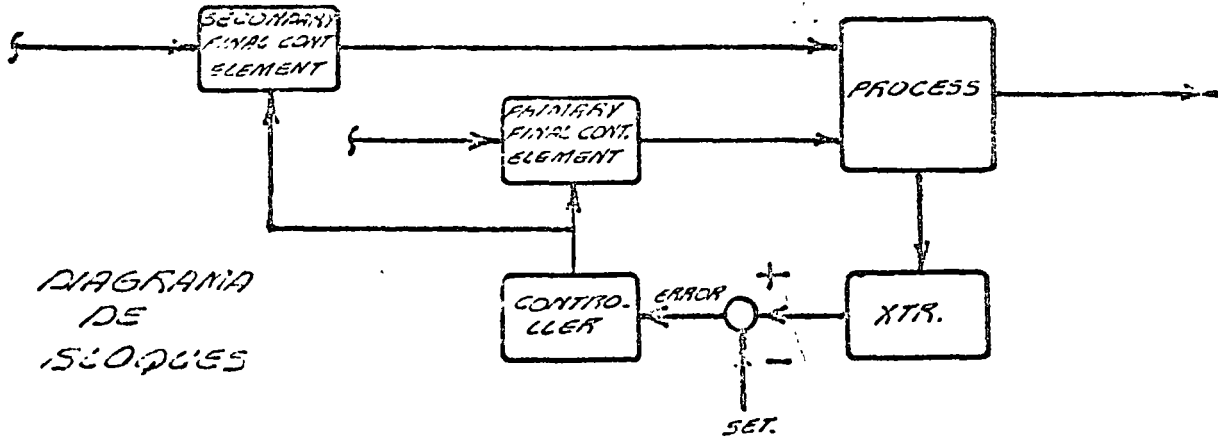


DIAGRAMA  
DE  
ISOCOPLES

FIG. No. 50

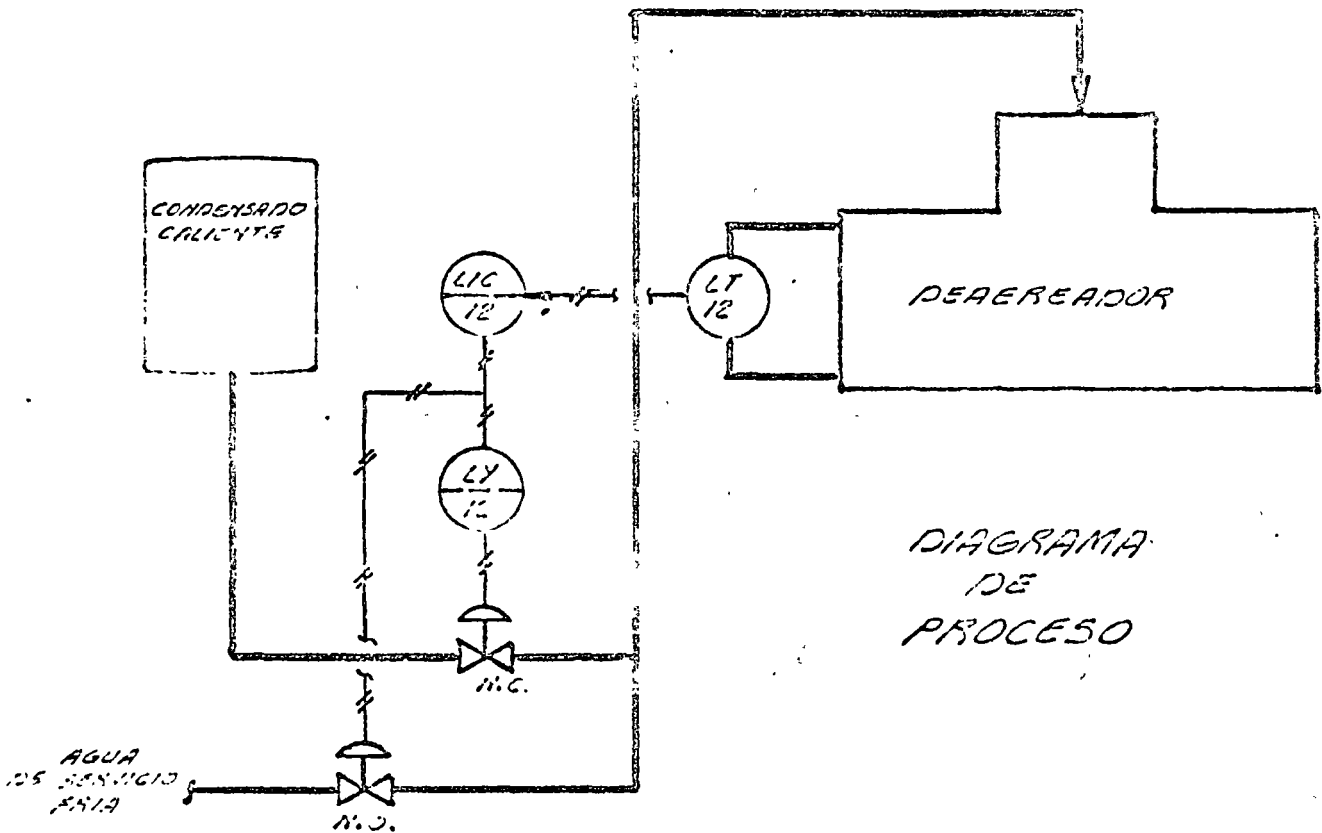


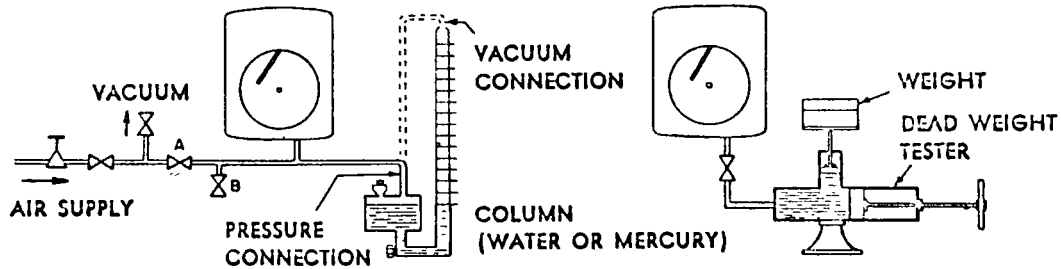
DIAGRAMA  
DE  
PROCESO

**— CALIBRATION AND REPLACEMENT OF PRESSURE ELEMENTS —  
MODEL 40 INSTRUMENTS**

**Calibration Apparatus**

RANGES UP TO 4 PSI — WATER COLUMN  
RANGES 4 TO 30 PSI — MERCURY COLUMN

RANGES 30 PSI AND UP

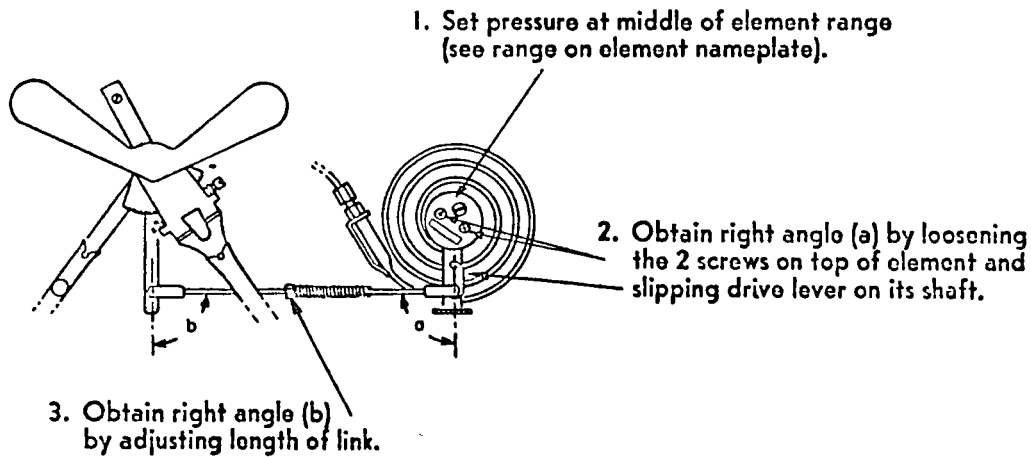


Lock in desired pressure or vacuum with valve A. Pressure can be reduced by bleeding valve B. An accurate test gauge may be used in place of column.

Increase pressure with crank until pressure supports an accurately known weight. An accurate test gauge may be used with hydraulic pump in a similar setup.

**Squaring Up of Linkage for Complete Calibration**

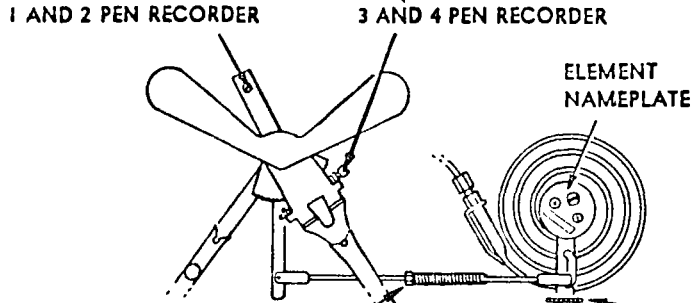
If parts have been replaced, or for some other reason a complete recalibration is necessary, square up the linkage before the actual calibration.



### Calibration Procedure

Before calibrating, make sure that the pen friction is not excessive, and that there is no excess friction or dead space elsewhere. See Instruction 1-435.

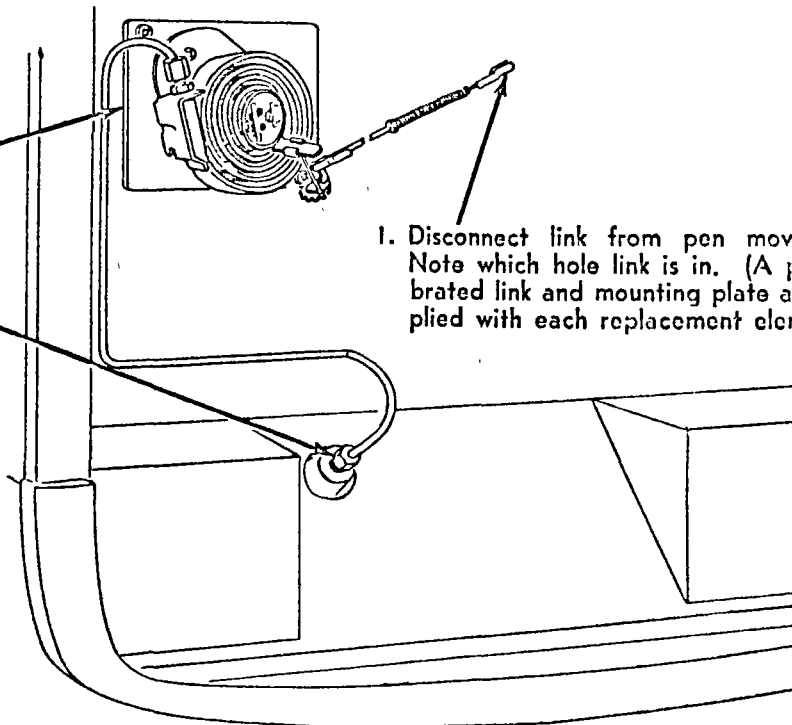
1. Set pressure at minimum value (see range on element nameplate).
2. If pen does not read correctly, use Zero adjustment to reposition pen.



5. Set pressure at mid-range. If pen is not at midscale, adjust length of link to move pen about 5 times amount of error in direction of error. (Subsequent refinement in settings of adjustments will bring instrument into calibration.)
  6. Repeat steps 1 through 5 until all readings of pen are correct.
  4. Repeat steps 1, 2, and 3 until both readings of pen are correct.
- Set pressure at maximum value. If pen does not read correctly, use Multiplication adjustment to position pen about halfway toward the correct reading.

### To Replace Measuring Element

2. Trace outline of mounting plate to indicate location for replacement. Remove the 2 mounting screws.
3. Break tubing connection and remove assembly.
4. After replacing element assembly, check calibration.
1. Disconnect link from pen movement. Note which hole link is in. (A precalibrated link and mounting plate are supplied with each replacement element).

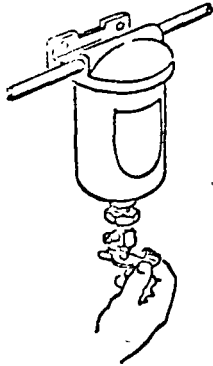


— SERVICING —

MODELS 13A, 13HA, AND 15A d/p CELL TRANSMITTERS

NOTE: The illustrations show the Model 13A d/p Cell Transmitter; Models 13HA and 15A are similar.

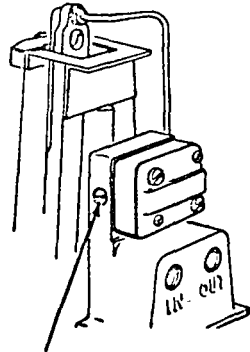
Supply Air Filter



Blow filter out at least once a day.

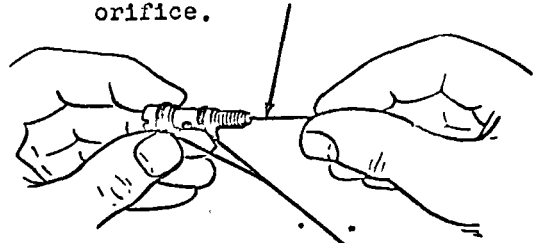
To Clean Reducing Tube

A plugged reducing tube will cause low output pressure.



Unscrew reducing tube from casting.

Clean by inserting a 0.007" dia wire (or Foxboro cleaning wire, Part 42527) through orifice.

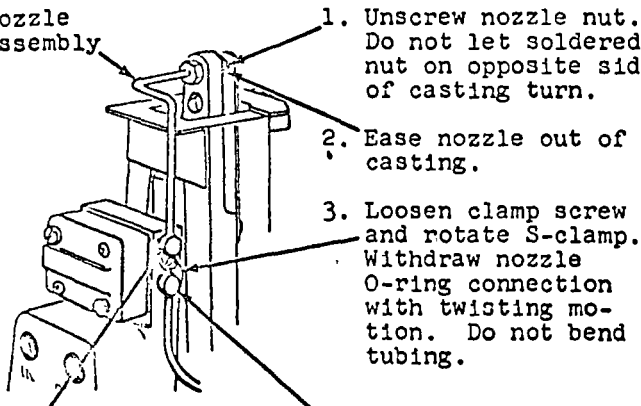


Before replacing apply a thin film of Vaseline or similar lubricant to O-rings.

To Clean Nozzle Assembly

An accumulation of dirt at the flapper nozzle may cause a zero shift.

Nozzle Assembly

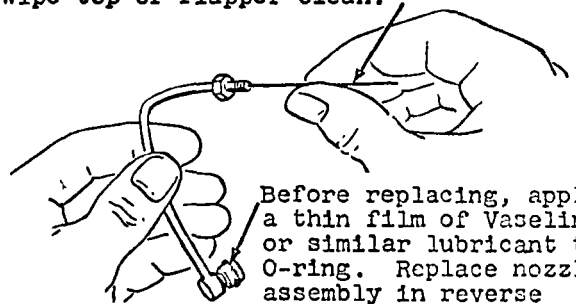


1. Unscrew nozzle nut. Do not let soldered nut on opposite side of casting turn.
2. Ease nozzle out of casting.
3. Loosen clamp screw and rotate S-clamp. Withdraw nozzle O-ring connection with twisting motion. Do not bend tubing.

Nozzle O-Ring Connection

Feedback O-Ring Connection

Clean nozzle with 0.030" dia wire, compressed air, or suitable solvent. Wipe top of flapper clean.

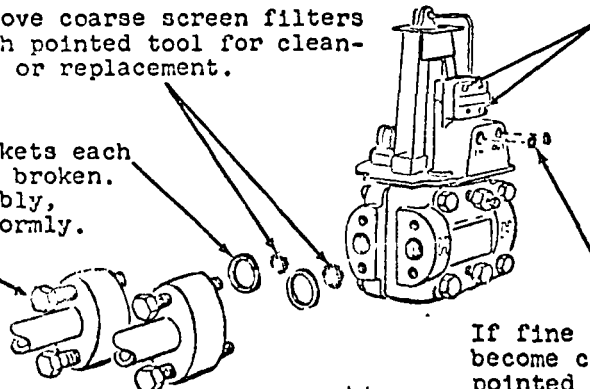


Before replacing, apply a thin film of Vaseline or similar lubricant to O-ring. Replace nozzle assembly in reverse order. Check zero adjustment (see Step 3, under Calibration, Page 4).

To Clean or Replace Screen Filters

Remove coarse screen filters with pointed tool for cleaning or replacement.

Use new Teflon gaskets each time connection is broken. In replacing assembly, tighten bolts uniformly.

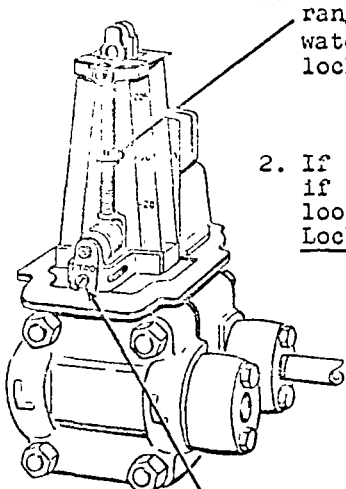


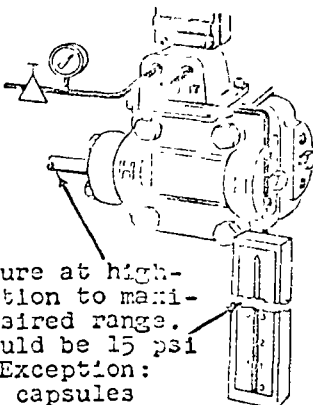
To Replace Relay

Remove 2 large screws and pry off relay. A gasket is furnished with each replacement relay. For servicing details see Instruction 11-490, obtainable from The Foxboro Company.

If fine screen air filters become clogged, remove with pointed tool and replace.

### Calibration Procedure

- 
1. Set range wheel at desired range (0 to 50 inches of water shown). Tighten locknut under wheel.
  2. If capsule was removed or if flexure locknut was loosened, see Flexure Locknut Adjustment below.
  3. With no pressure differential on capsule, adjust ZERO screw so that OUT pressure reads 3 psi on the manometer.

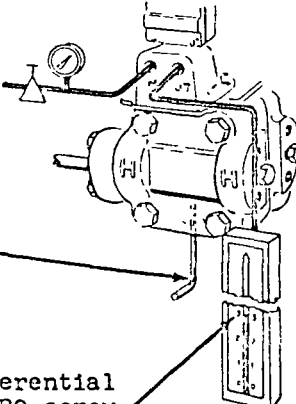
- 
4. Raise air pressure at high-pressure connection to maximum value of desired range. OUT reading should be 15 psi on manometer. Exception: With high-range capsules (0-200 to 0-850 inches), raise air pressure at high-pressure connection to 75 percent of desired range. OUT reading should be 12 psi.

If OUT reading is not value specified, adjust range wheel until reading is correct (raising range wheel will lower OUT reading). Tighten range wheel locknut after each adjustment.

5. Repeat Steps 3 and 4 until desired accuracy is obtained.

### Flexure Locknut Adjustment

If the capsule was removed or if the flexure locknut was loosened, before calibrating adjust the locknut as follows:

- 
1. Remove bottom drain plug, and loosen flexure locknut with a 1/4" hex-key wrench.
  2. With no pressure differential on capsule, adjust ZERO screw so that OUT pressure reads 3 psi on manometer.

3. Carefully tighten flexure locknut so that OUT pressure does not change by more than  $\pm 0.4$  psi ( $\pm 0.03$  kg per sq cm).

If OUT pressure is not within  $3 \pm 0.4$  psi, loosen locknut and carefully retighten.

If OUT pressure is still not within limits, it indicates that index marks on capsule and body are not aligned. Correct by repositioning capsule (see To Replace Diaphragm Capsule, Page 2).

4. When OUT pressure is within limits with the locknut tightened, replace bottom plug.

### To Change Range

The range may be changed anywhere within the limits of the capsule by calibrating the instrument to the new range.

— FURTHER DISASSEMBLY —

Normal servicing of the transmitter does not require the removal of any parts other than the nozzle assembly, diaphragm capsule, and the relay. Further disassembly is not recommended by The Foxboro Company. The following procedure is described for emergency use only and the customer must assume responsibility for loss of accuracy or damage to the unit.

To Remove the Feedback Bellows (15) and Zero Spring (behind Zero Screw (13))

1. Carefully pry out the feedback O-ring connection at the relay (see To Clean Nozzle Assembly, Page 1).
2. Remove the two 7/16" cap screws (12) holding bracket (11).
3. Unscrew completely the zero adjustment screw (13) to release the zero spring. The bracket (11) and feedback bellows (15) may now be removed.
4. Remove nut (14) to disconnect the feedback bellows from the bracket.
5. Remove the zero spring by unscrewing it from the range rod (16). Be careful not to change the alignment on the spring clamp.
6. Reverse this procedure to reassemble, making sure that the post on the bracket is within the zero spring alignment clamp. Tighten the zero adjustment screw until about 1/4 inch of thread remains exposed. When replacing the feedback connection apply a thin film of Vaseline or a similar lubricant to the O-ring.

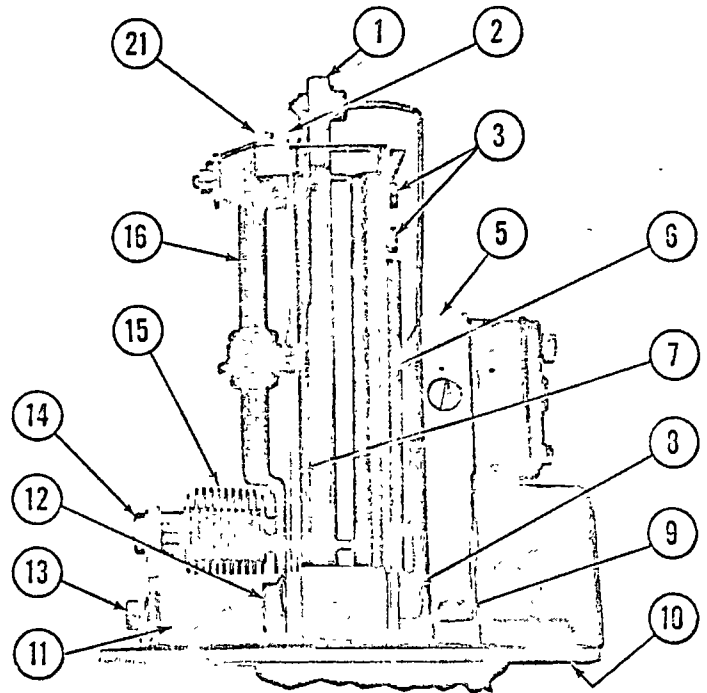
7. Check calibration (see Pages 3 and 4).

To Remove the Relay Mounting Assembly (5)

1. Carefully pry out the nozzle and feedback O-ring connections at the relay (see To Clean Nozzle Assembly, Page 1).
2. Remove the relay mounting assembly by unscrewing the two screws (9) above the mounting plate and the small screw (10) beneath the mounting plate.
3. Reverse this procedure to reassemble. When replacing the O-ring connections, apply a thin film of Vaseline or similar lubricant to the O-rings.

To Remove the Force Balance Unit

1. Remove the relay mounting assembly (5) (see above).
2. Remove the capsule (see Page 2).
3. Using a 3/16" hex-key wrench, remove the three socket-head screws holding the force balance unit to the cell body. In removing the screws, be careful not to damage the flexures (6) and (7). Withdraw the force balance unit from the body.
4. Reverse this procedure to reassemble. Tighten all screws gradually, until 65 inch-lb torque is applied to the two



socket-head screws nearest the force bar, and 50 inch-lb torque to the third socket head screw. (With Model 13HA Transmitter, the corresponding torques are 100 and 90 inch-lb.) Replace the O-ring that fits around the force bar on top of the lower section, and the two gaskets that go on each side of the diaphragm capsule. Apply a thin film of Vaseline or a similar lubricant to the O-ring.

5. Check calibration (see Pages 3 and 4).

To Remove the Front Flexure (6)

1. Remove nozzle assembly (see To Clean Nozzle Assembly, Page 1).
2. Using a 3/32" hex-key wrench, remove top plate (2) by removing two plate screws (21).
3. Using a 9/64" hex-key wrench, remove force bar screws (3).
4. Remove the relay mounting assembly (5) (see above).
5. Remove the cap screws and plates (8) and lift the front flexure (6) upward.
6. Reverse this procedure to reassemble. If the force bar has been removed or the force balance unit loosened from the cell body, the top of the front flexure

should be visibly lined up with the casting (1), so that there is no twist evident in the flexures. Then tighten the plate screws (21) and cap screws (8).

7. Loosen four cap screws (8) and (12) and two force bar screws (3). Apply 100 psi to both sides of the cell. Tap the cell lightly and tighten all screws.

8. Check static alignment (see below).

#### To Remove the Back Flexure (7)

1. Remove the 3/16" cap screws (12) holding bracket (11).

2. Using a 3/32" hex-key wrench, remove the two screws and plates (20) holding back flexure to plate (2) and remove back flexure.

3. Reverse this procedure to reassemble.

4. Check calibration (see Pages 3 and 4).

#### To Remove Force Bar (4)

1. Remove the capsule (see Page 2).

2. Remove force balance unit (see Page 5).

3. Using a 9/64" hex-key wrench, remove the two force bar screws (3). The force bar (4) may now be removed. This unit should not be further disassembled; if its diaphragm is removed from the force bar, leaks are likely to occur after reassembly. If either the force bar or diaphragm requires replacing, they both should be replaced as a unit.

4. Reverse this procedure to reassemble. Replace the gasket at the diaphragm.

5. When reassembled, loosen the four cap screws (8) and (12) and two force bar screws (3). Apply 100 psi to both sides of the cell. Tap the cell lightly and tighten all screws.

6. Check static alignment (see below).

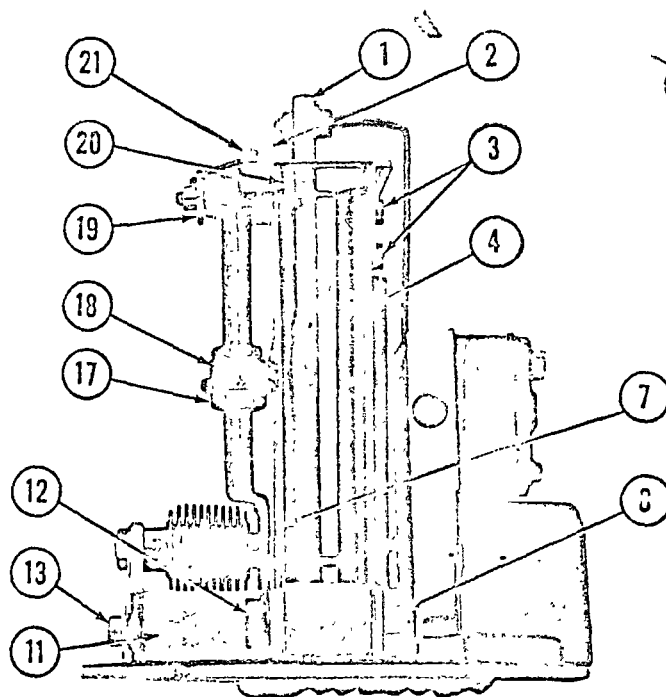
#### Static Alignment

This adjustment is required if front flexure or force bar is replaced.

1. Connect the transmitter to an input air supply regulated at a fixed value between 20 and 25 psi.

2. Check with a 1/4" hex-key wrench through the bottom plug hole that the capsule flexure locknut is tightly fastened to the force bar. Replace the bottom plug.

3. Rotate the range wheel (18) to approximate operating position. Tighten locknut (17).



4. Vent both sides of transmitter and adjust zero screw (13) so that output is 3.0 psi.

5. Apply gradually and simultaneously to both sides of transmitter (output must not go off scale), a pressure equal to highest static pressure anticipated during normal operation. Note: Do not exceed static pressure limits (listed in installation instructions).

6. After 5 minutes observe transmitter output. If output has not changed, static alignment is correct. If output change is more than desired, vent pressure and make static alignment as follows:

Loosen the two plate screws (21) and adjust the static alignment wheel (19) to bring the output back to 3.0 psi. Turn the wheel clockwise to lower the output, and counterclockwise to raise the output. Tighten plate screws (21) after each adjustment of the alignment wheel.

7. Slowly release the pressure from the capsule. Remove the bottom plug and loosen, then carefully retighten the capsule flexure locknut.

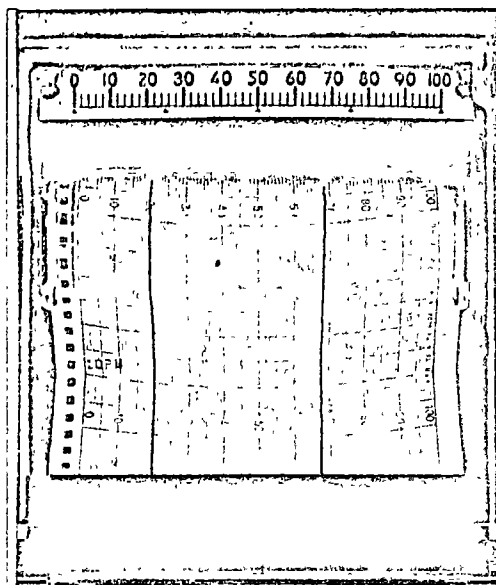
8. Check calibration (see Pages 3 and 4).

Note: The flapper alignment screw located below the nozzle has been set at the Factory and should not be readjusted. Special Factory gauges are required to properly adjust the flapper alignment screw.

— SERIES 120 PNEUMATIC CONTROL RECORDER —

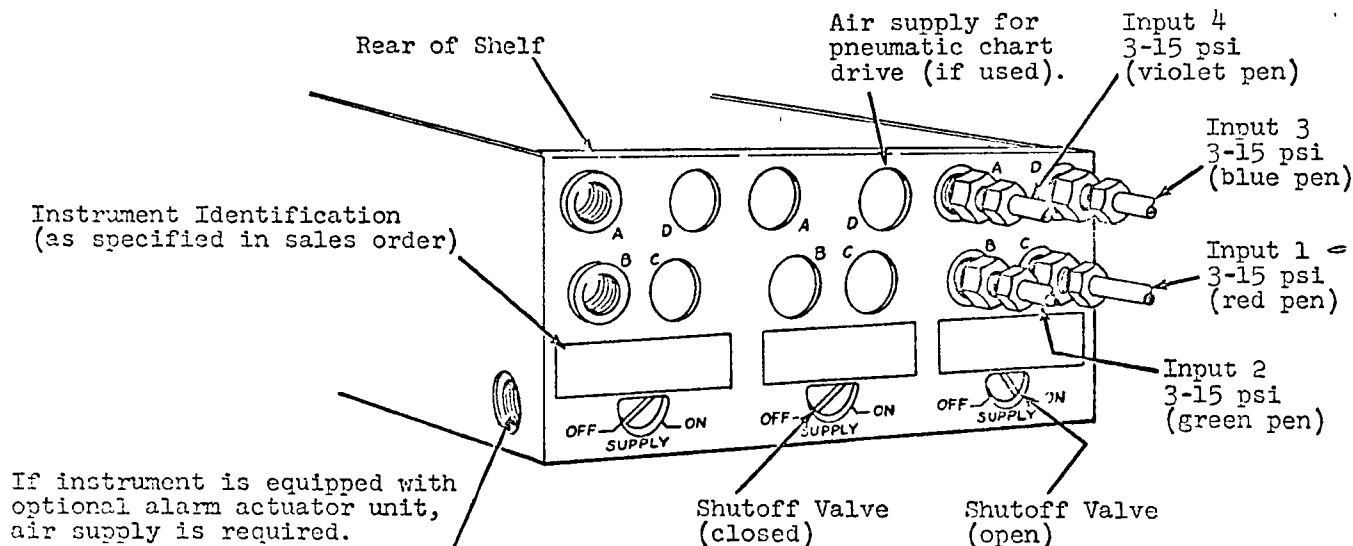
Series 120 Recorders receive and record up to four 3-15 psi pneumatic signals. They may be supplied with alarm lights and internal alarm light actuators.

Recorders can be mounted singly or with other instruments in Model 100 shelves. A recorder occupies two units of shelf space. Refer to Instruction 17-410 for mounting information.



Piping to Rear of Shelf

All air connections at shelf are 1/4 NPT.

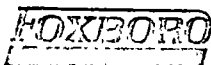


If instrument is equipped with optional alarm actuator unit, air supply is required. Regulate to a fixed pressure between 20 and 22 psi. Use 3/8" tubing or 1/4" pipe.

NOTE: Recorder occupies 2 units of shelf width. Input signals go to right set of connections (as shown) and adjacent "D" connection on left is used for pneumatic chart drive air supply if required.

The Foxboro Company

Foxboro, Massachusetts U.S.A. 02035



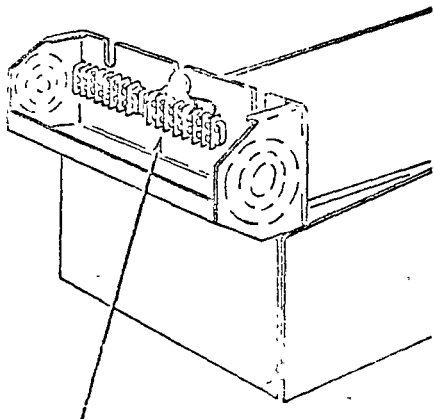
Printed in U.S.A.

Wiring to Rear of Shelf

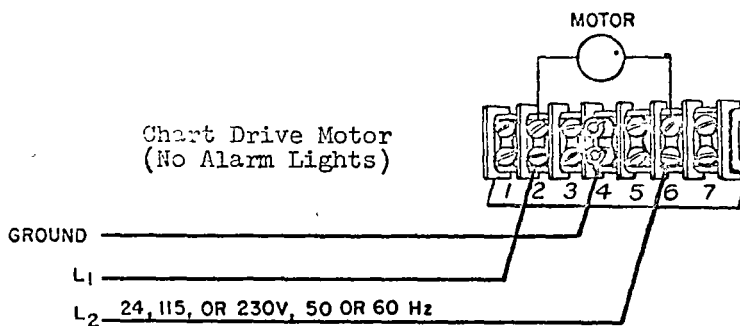
Electric wiring is required if recorder is equipped with electric chart drive or optional alarm lights. Wiring from terminal block to recorder is installed at factory.

For wiring to recorders with electric chart drive only, see below.

For wiring to recorders with alarm lights, refer to Instruction 17-430.



Connect wiring to appropriate terminal block at rear of shelf.



Cover Removal

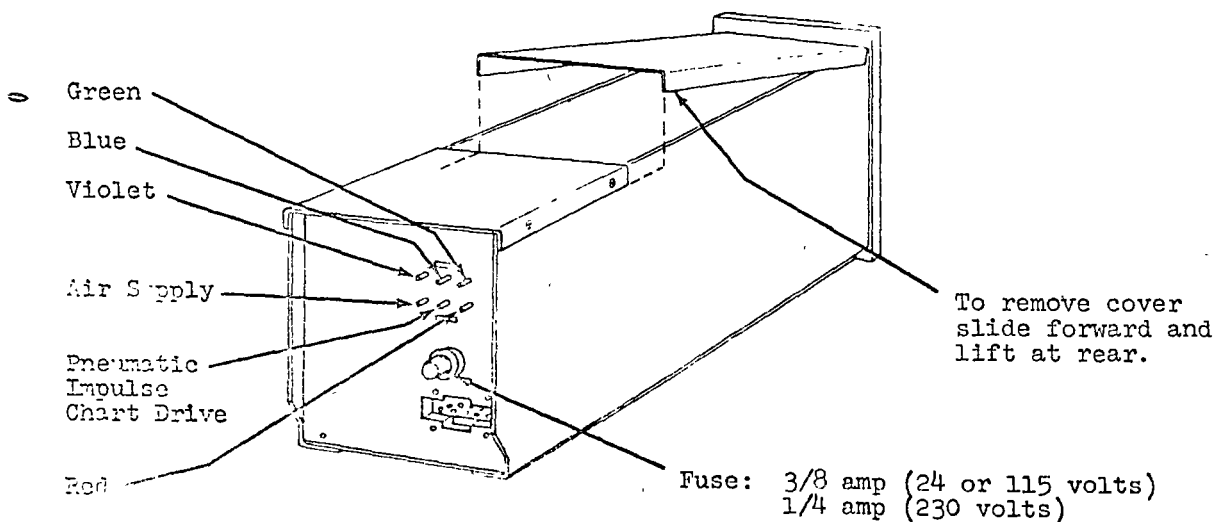


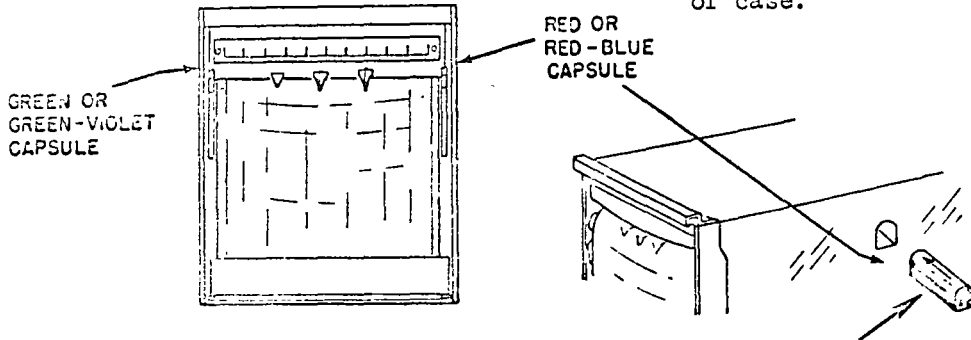
Chart Installation

Series 120 Recorders are available with Roll chart drives or Scan-Fold chart drives. Refer to Instruction 17-423 for Roll charts and Instruction 17-425 for Scan-Fold charts.

Inking

Ink for the Recorder is supplied in plastic capsules. Install the capsules as follows:

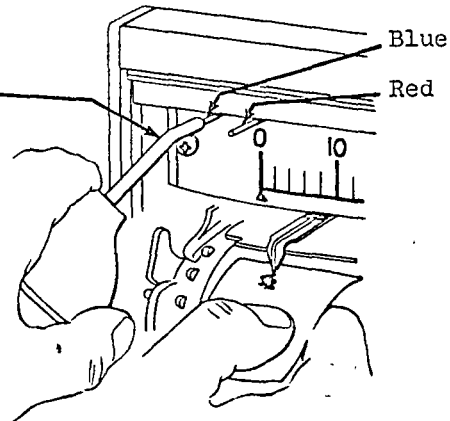
1. Pull recorder chassis part way out. Insert ink capsules in D-shaped openings on sides of case.



Push capsule all the way in until it is pierced by the tubes and reaches a stop.

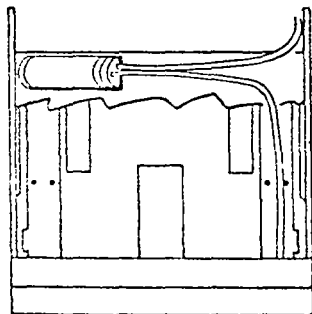
2. To start the ink flowing, pressurize the aspirator tubes in the front of the instrument with a pressurizing bulb. (Note: the aspirator tubes are on the opposite side of the case from the ink capsules - the blue and red aspirator tubes are in the upper left of the case as shown, and the green and violet aspirator tubes are in the upper right.)

If ink does not flow through the pen tip, remove the tip and clean (see To Clean Pen, Page 5).

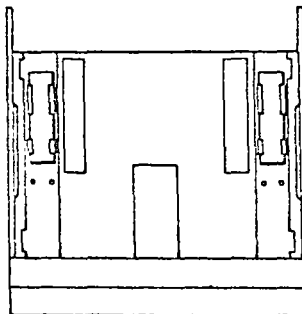


Position of Ink Supply on Angle Mounted Instruments

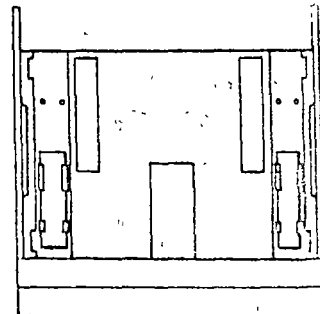
Note: The recorder must be recalibrated if it is mounted at any angle other than specified on the Sales Order.



0-14 DEGREES



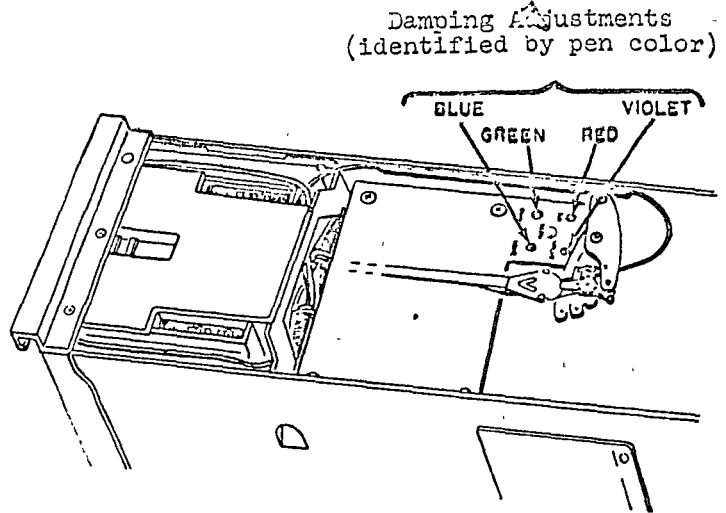
15-44 DEGREES



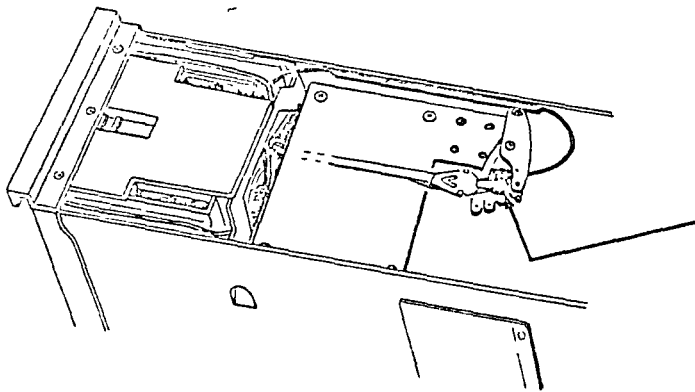
45-75 DEGREES

Damping

A damping adjustment is provided in each measurement signal line. The instrument is snipped with very little damping present. If more damping is required to produce a smooth record, insert a screwdriver through the correct hole and slowly turn screw clockwise until pulsations are barely visible. Use minimum amount of damping.



Pen Tension Adjustment

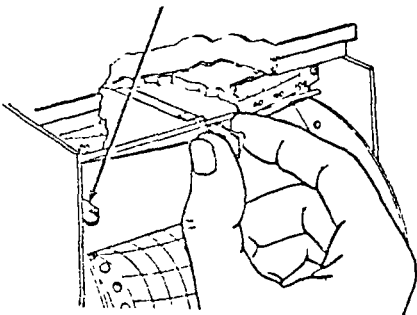


Pen tension is correctly adjusted when a good ink flow is obtained with minimum pen tension.

Position the pen in the center of the chart. Rotate the pen tension adjustment screw clockwise until the pen loses contact with the chart. Then rotate the screw counterclockwise until the pen just touches the chart. If ink flow is not continuous, keep turning the adjustment screw counterclockwise until the ink flow is satisfactory.

To Remove Pen

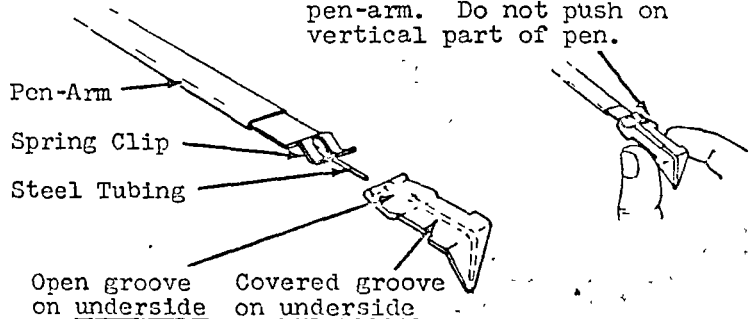
1. Raise pen lifter and swing chart drive forward.



2. Grasp pen by its sides on top and carefully pull forward, easing pen out of spring clip and steel tubing on pen-arm. Do not bend any part of pen.

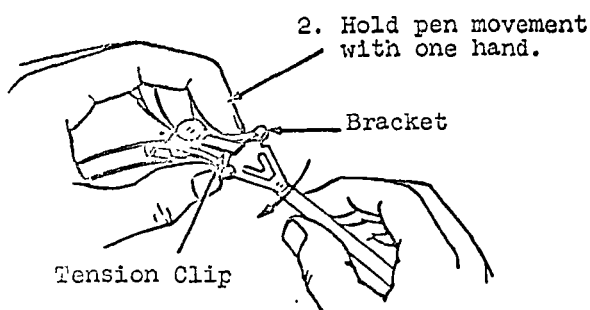
To Replace Pen

1. Raise pen lifter and swing chart drive forward.
2. Lay open groove in pen on top of steel tubing in pen-arm.
3. Ease pen forward so that tubing enters covered groove in pen.
4. Push in so that ridge on rear of pen engages spring clip on pen-arm. Do not push on vertical part of pen.

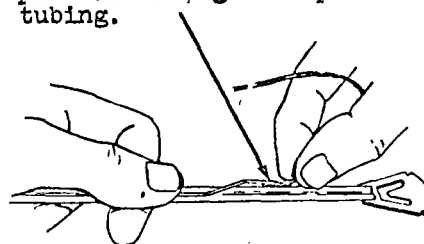


To Remove Pen-Arm or Pointer

1. Withdraw recorder chassis.



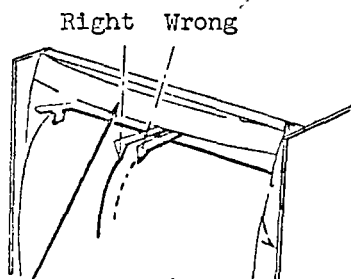
If pen-arm must be removed from instrument, disconnect plastic tubing from pen-arm tubing.



3. With other hand ease pen-arm (or pointer) sideways out of bracket.

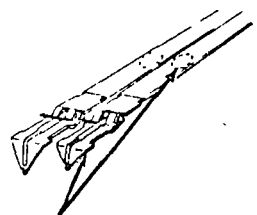
4. When reinstalling pen-arm, end of arm must go under tension clip.

Precautions When Replacing Pens or Pen-Arms



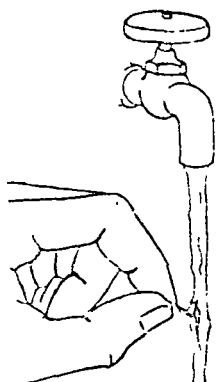
Centerline of face of pen must be vertical. If it is not, make sure that ridge on rear of pen is correctly positioned in spring clip on pen-arm.

Pens must be free to swing past each other, and must be able to cover entire scale (see Pen Stop Adjustment, below).



Painted identification on underside of pen-arm is coded to match color of pen.

To Clean Pen



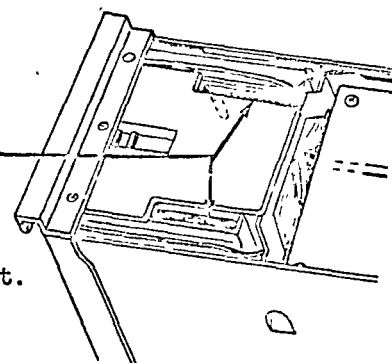
If pen skips or does not write, it must be cleaned. If it still does not write properly, it should be replaced.

1. Remove pen from pen-arm.
2. Hold under cool running water until clean.
3. Blow away excess water.

4. Reinstall on pen-arm and pressurize ink supply.

Pen Stop Adjustment

Adjust pen stops to allow pen to travel offscale approximately 1% at the upper and lower end of chart.



— CALIBRATION OF RECEIVER ELEMENTS —

Receiver elements can be calibrated either to the English (3 to 15 psi) or to the metric (0.2 to 1.0 kg per sq cm) signal pressure range. The two ranges are not exactly equivalent; therefore, the entire system must be calibrated to the same units.

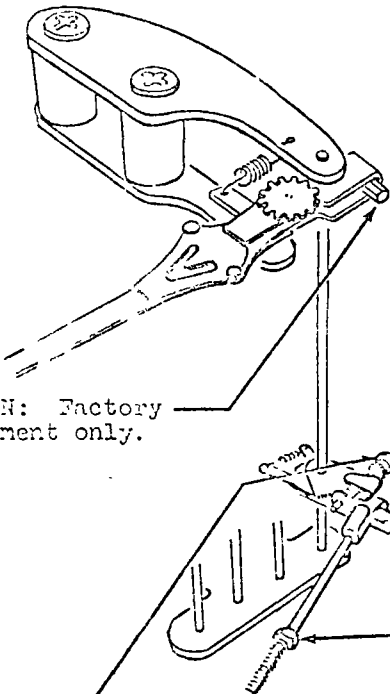
Calibration Check

1. Apply air pressures of 3, 9, and 15 psi (or 0.2, 0.6, and 1.0 kg per sq cm) to receiver element.
2. Pen reading should be 0, 50, and 100 percent of scale for corresponding inputs. If readings are not within desired accuracy, calibrate receiver element as outlined below.
3. Repeat Steps 1 and 2 for each receiver element.

Calibration Procedure

1. To gain access to calibration adjustments, remove instrument cover (see Page 2) and open door on right side of instrument housing.
2. Apply 3 psi to element.
3. Adjust zero micrometer to set pen at 0% of scale.
4. Apply 15 psi to element.
5. If pen does not read 100% of scale, adjust the span micrometer as follows. If reading is less than 100%, turn span micrometer counterclockwise. If reading is greater than 100%, turn span micrometer clockwise. (Note that this adjustment will not bring the pen to 100% of scale; the normal effect will be to increase the error.) One turn of the micrometer will result in approximately 2% change in span after Steps 2, 3, and 4 are repeated.
6. Repeat Steps 2 through 5 until pen reads correctly when 3 and 15 psi are applied.
7. Apply 9 psi to element. If pen does not read 50% of scale, adjust length of link as follows: Change length to move pen 10 times amount of error, in direction of error. For example, if pen is at 49% of scale, adjust link so that pen moves to 39% of scale.

8. Adjust zero micrometer to bring pen to midscale.
9. Repeat Steps 2 through 8 until pen reads correctly when 3, 9, and 15 psi are applied to element.



## TYPE C VERNIER VALVACTOR YOKE MOUNTED

### General

The Vernier Valvactor is a valve stem positioner, the purpose of which is to eliminate or minimize the effects of: (1) stem friction, (2) lag of large capacity motors with long transmission lines, (3) process line pressure changes, and (4) plunger friction due to highly viscous fluids, gumming, or sedimentation. Fig. B9026 illustrates an installation employing a Valvactor positioner. The output air pressure from the controller is connected to the "Instrument" connection on the positioner instead of directly to the motor. The output connection from the Valvactor is connected to the valve motor.

### Description of Valvactor

The Type C Vernier Valvactor is housed in a die-cast aluminum case, finished in a corrosion-resistant vinyl paint. A gasketed cover assures a vapor-free and dustproof interior. The interior is also continuously purged by bleed air from the nozzle. All moving parts are either stainless steel, beryllium copper, bronze, or Nylon.

The Valvactor operates on a simple motion balance principle. Any change of controller signal pressure is converted to motion by means of a bellows, and unbalances a flapper-nozzle combination. This changes the Valvactor output pressure to the diaphragm motor, repositioning the valve stem. Motion of the valve stem is translated back to the control mechanism by a mechanical linkage, thus rebalancing the flapper-nozzle.

The Type C Valvactor is available with either a three-gauge and bypass manifold or an interchangeable plain manifold. The bypass switch is a disc type valve provided with positive detent by a spring-loaded ball bearing.

This Valvactor employs the high capacity Model 40D control relay, which is differentiated from the standard Model 40C relay by its black cover. The control relay is capable of delivering or exhausting 2.0 scfm; its bleed under static conditions is 0.9 scfm.

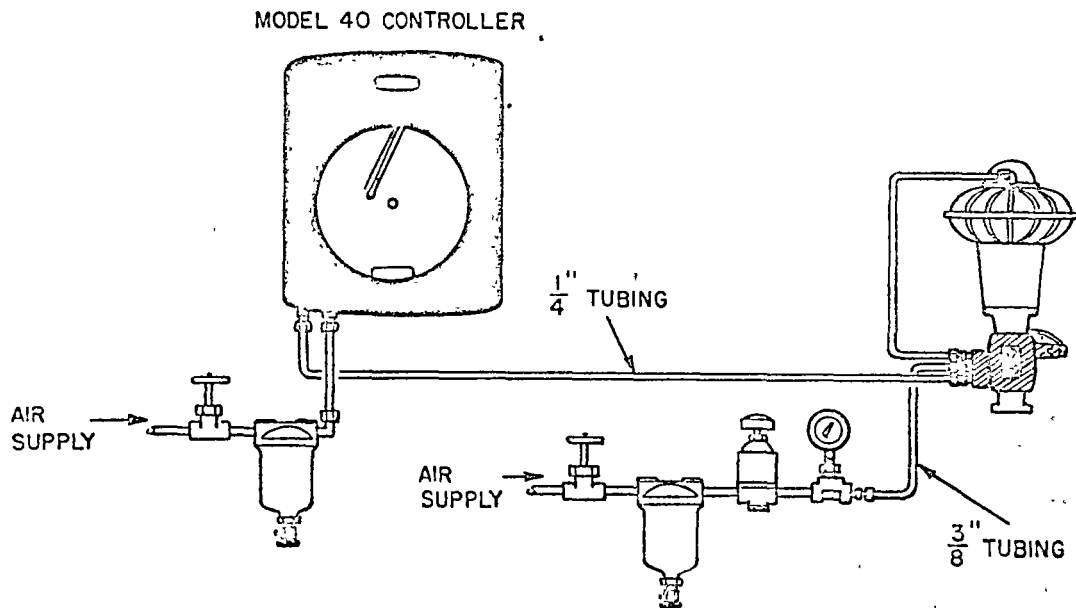


Fig. B9026

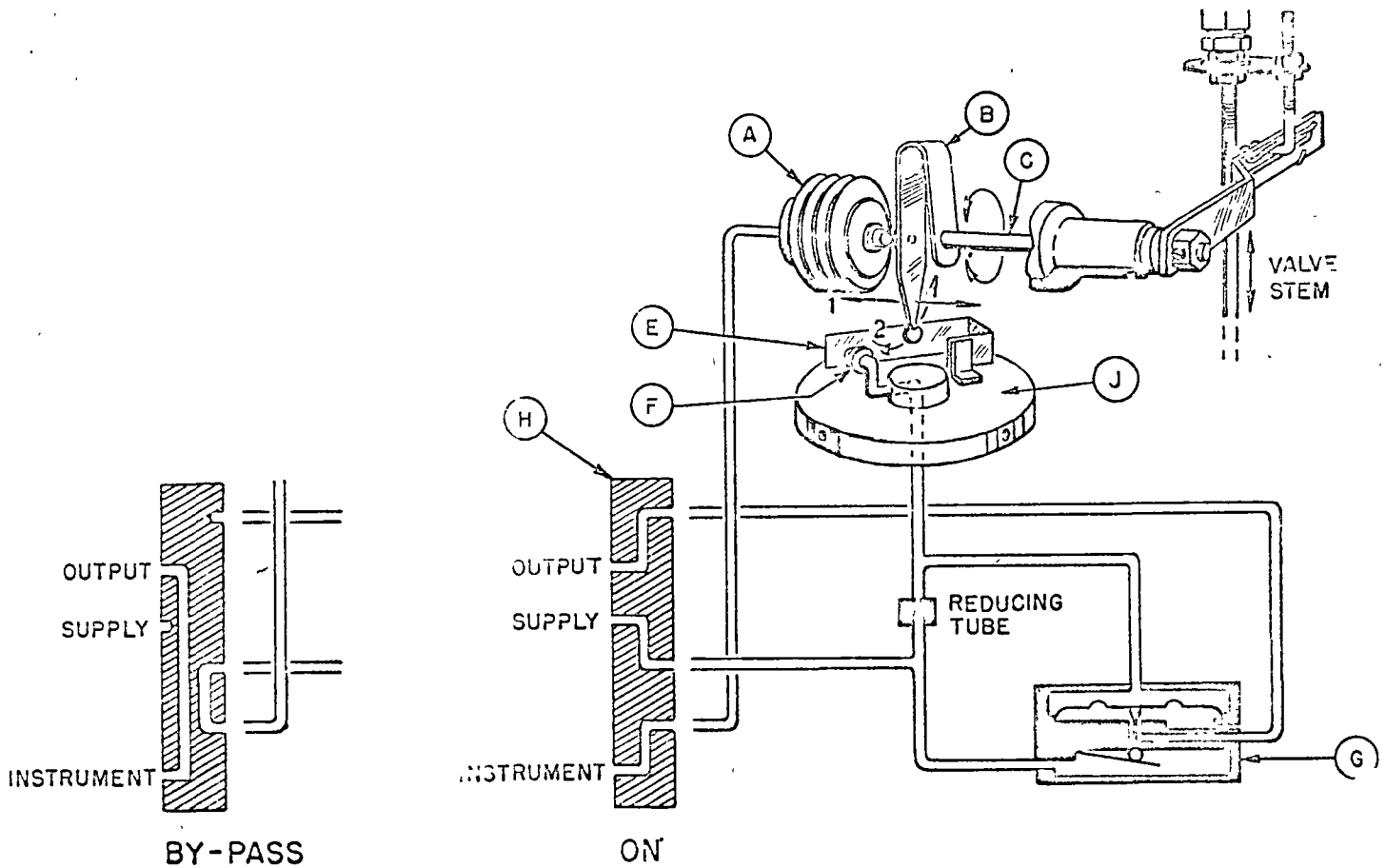


Fig. B9C65

**Principle of Operation**

A controller air signal pressure between 3 and 15 psi in bellows (A) opposes flexure assembly (B) when the system is in balance. With either the black or white coded holes of disc (J) visible, an increase in controller output pressure causes bellows (A) to expand, moving the ball tip of the flexure assembly (B) away from flapper (E), which in turn covers nozzle (F). As pressure on the diaphragm of the control relay (G) increases, the relay valve closes the exhaust port, opens the supply port, and full supply pressure (20 psi) passes to the Valvactor output.

Valvactor output pressure is applied to the diaphragm motor which strokes the valve stem to position the valve plunger. By direct mechanical linkage, the motion of the stem is translated to rotary motion of operating shaft (C). The shaft moves flexure assembly (B) so that the ball tip allows flapper (E) to assume an equilibrium position with nozzle (F).

The position of the ball tip in direction (1) is directly proportional to the signal pressure in the bellows. The position of the ball tip in direction (2) is directly proportional to the valve stem position. For any given position of disc (J) the amount of rebalancing motion in direction (2) is exactly proportional to the amount of unbalancing motion in direction (1). Thus the position of the valve stem is directly proportional to the signal air pressure in the bellows.

The positioner also corrects for stem deviations caused by unbalanced forces on the valve plunger. For example, when a change in line pressure tends to reposition the valve plunger, the mechanical linkage between the valve stem and operating shaft (C) immediately moves flexure (B) and flapper (E) so that more or less air pressure, as the condition requires, is applied to the diaphragm motor. The motor then strokes the plunger in the correct direction until the feedback motion of the linkage returns the Valvactor to equilibrium.

### Mounting Valvactor

Many Valvactors are shipped already assembled on a motor, with the action correct and all adjustments properly made. When the Valvactor is shipped separately for assembly in the field, mount the Valvactor securely to the motor yoke by means of the two  $\frac{5}{16}$ -inch-18 studs,  $1\frac{1}{2}$ -inch apart, as shown in the dimension prints. All motor yokes shipped since July, 1955 (except those for Type 5000 series on-off Globe valves) have been drilled to accommodate these mounting studs. If the two holes are not drilled in the yoke, it will be necessary to drill two  $\frac{3}{8}$ -inch holes,  $1\frac{1}{2}$ -inch apart, to mount the Valvactor approximately in the position shown in Fig. B9511 or B9027. Since flexibility exists in the location of the actuating pin or the clamp on the valve stem, the exact location of the holes is unimportant as long as there is sufficient clearance for the bypass gauges under the motor cap and as long as it is not necessary to fasten the clamp on a threaded portion of the stem or a portion which will travel into the stuffing box.

For applications where drilling is undesirable, a bracket assembly is available. This assembly clamps to the yoke and holds the Valvactor.

With the No. 10 Stabilflo Motor, a mounting bracket clamps to two of the motor columns and holds the Valvactor as shown in Fig. B1403. Again, the exact location of the Valvactor is unimportant, with the same stipulations as before.

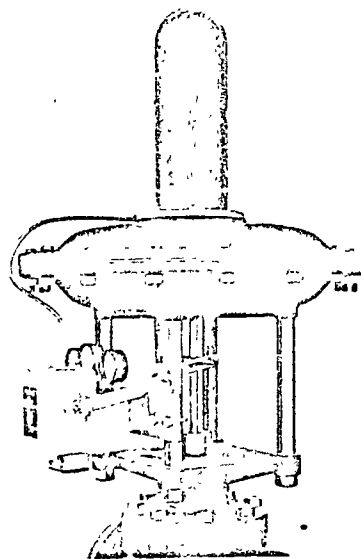


Fig. B1403

The Valvactor will operate in any position. Thus when a valve is mounted horizontally or upside down in a flow line, the Valvactor is assembled in the usual manner relative to the motor.

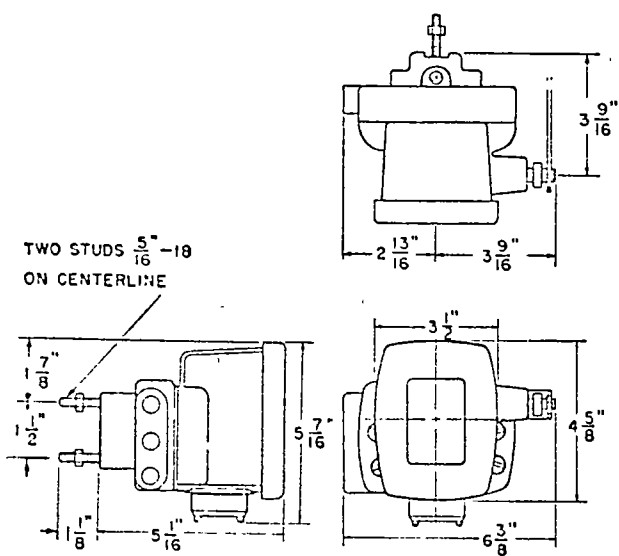


Fig. B1400

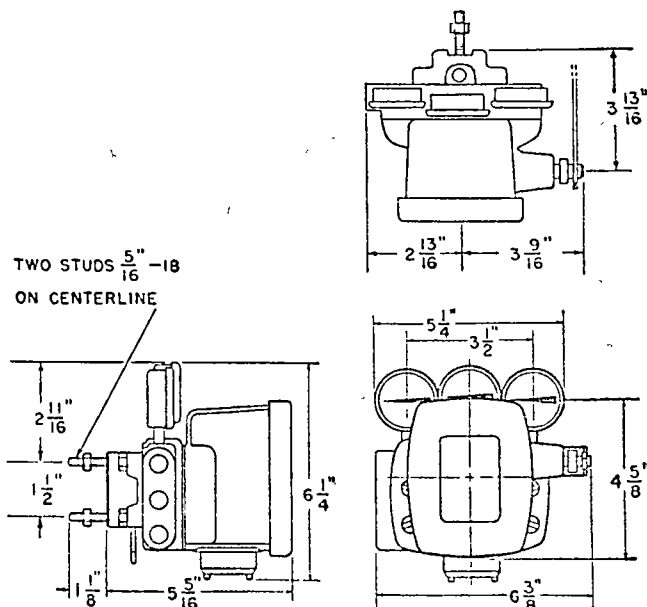


Fig. B1401

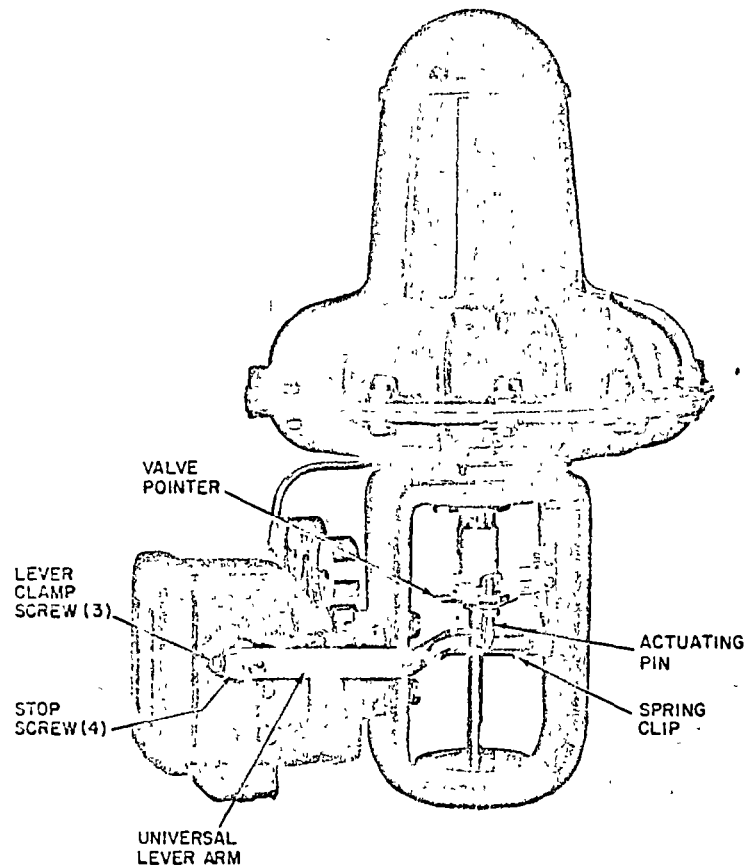


Fig. B9511

Lever Connected to Valve Pointer  
Through Actuating Pin

### Attaching Lever To Valve

Motion of the valve stem is conveyed to the Valvactor by a universal lever arm. The lever arm is connected either to an actuating pin attached to the valve pointer (Fig. B9066), or to a clamp assembly attached to the valve stem (Fig. B9027).

To attach the universal lever arm, see Fig. B9511 or B9027 and proceed as follows:

1. Attach the universal lever first at the Valvactor shaft. Tighten the lever clamp screw (3) so that the lever is horizontal when the stop screw (4) is midway in its travel.

2. If an actuating pin is used (Fig. B9511), fasten it to the valve pointer using 2 nuts and 2 lockwashers. Slip the unthreaded end of the actuating pin into the universal lever.

If a clamp assembly is used (Fig. B9027), attach it to the valve shaft. Slip the clamp pin into the universal lever.

3. Adjust the position of the actuating pin or the clamp assembly so that motion of the valve stem to midstroke will bring the universal lever to horizontal position. This can be easily estimated from the zero stroke position by noting the valve midtravel distance on the valve scale. Where a controlled air supply can readily be applied to the motor (for instance when the Valvactor is equipped with a bypass) air pressure corresponding to midstroke may be applied to the motor, and the actuating pin or clamp positioned so that the universal lever is horizontal.

### Piping

Refer to Fig. B9026 on Page 1. The air connections at the Valvactor are 1/4-inch NPT. Connect a filtered air supply regulated at 35 psi maximum to the "SUP" (supply) connection. Connect the controller output to the "INS" (instrument) connection with 1/4-inch tubing. The Valvactor "OUT" (output) connection should be connected with the valve motor using not smaller than 1/4-inch tubing for No. 6D, P25, and P50 motors, and 3/8-inch tubing for No. 8D, 10, and P110 motors.

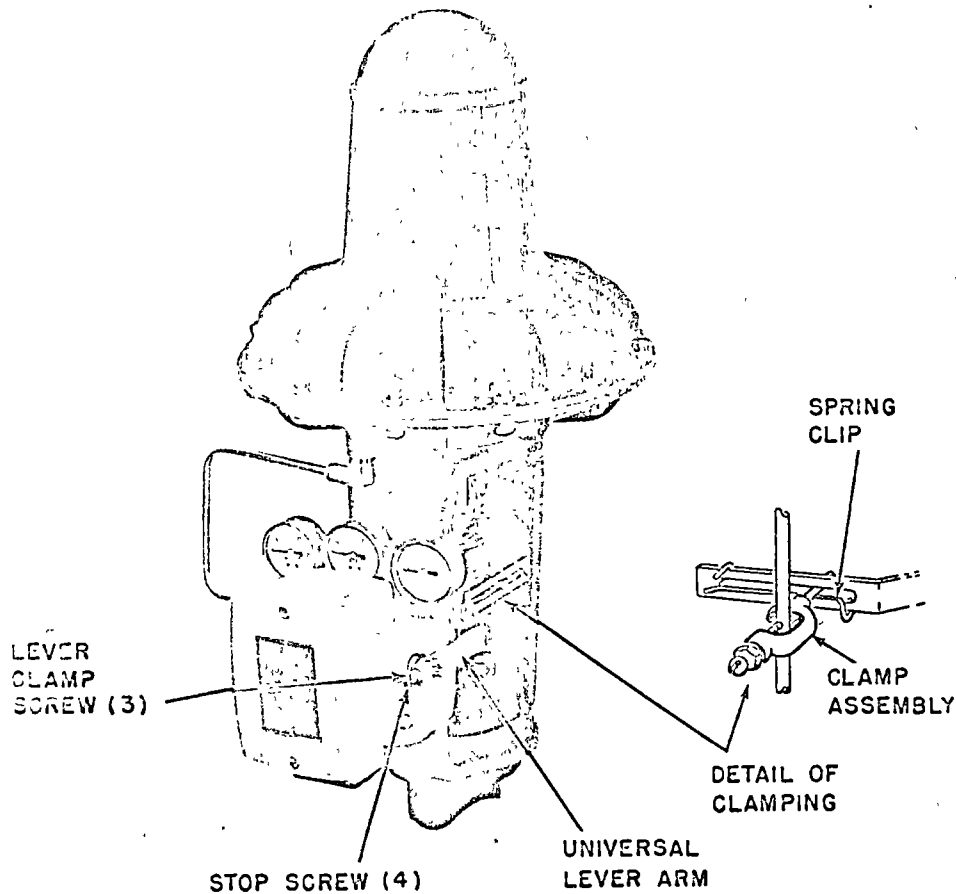


Fig. B9027  
Lever Connected to Valve Stem  
Through Clamp Assembly

### Valvactor Bypass

When specified, the Valvactor may be supplied with a three-gauge and by-pass manifold. The three gauges read the pressures at the supply, instrument, and output Valvactor connections at all times. The porting for the "ON" and "BY-PASS" positions is shown in Fig. B9065.

When the switch is in the "ON" position, the Valvactor functions normally. When the switch is thrown in the opposite direction ("BY-PASS"), the controller output is diverted directly to the valve motor. The Valvactor can now be removed for servicing by loosening four screws, and lifting the Valvactor away from its manifold, leaving the piping intact. Refer to Fig. B1405.

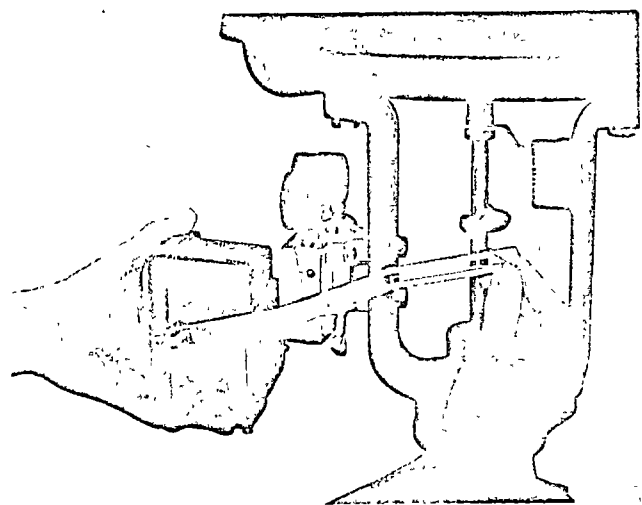


Fig. B1405

**Valvactor Action**

Remove the front cover of the Valvactor, and check the position of the disc (5), Fig. B4369. When the Valvactor is used on an *air-to-lower* motor, the white colored sector of the disc should be visible. When used on an *air-to-lift* motor, the black colored sector (6) should be forward. The disc can be rotated to the correct quadrant by means of the wrench (7).

In either position above, increasing controller pressure applied to the input of the Valvactor causes increasing Valvactor air output to the valve motor. The two positions are necessary only to insure proper balancing of motions within the Valvactor when the direction of motion of the valve stem is reversed. Also available are the third and fourth quadrants of the disc, colored orange and blue for air-to-lift and air-to-lower motors respectively. These two quadrants are used on those applications where it is desired to reverse action at the Valvactor — increasing instrument pressure applied to the input of the Valvactor will cause a decreasing Valvactor air output to the valve motor. This means that the bypass cannot be used; nor can the Valvactor be removed and service continued. Likewise instrument air failure at the Valvactor input will pass air to the motor, whereas failure of the Valvactor air supply will bleed air from the motor. Despite these objections, there are special circumstances when reversal of action at the Valvactor is desirable. A second identification plate for the orange and blue quadrants is mounted behind the standard plate.

**Valvactor Operating Adjustments**

Before making adjustments on the Valvactor, be sure that the motor is properly assembled to the valve or other control device, that the motor spring is properly adjusted and the valve operating properly over its full stroke. Refer to instructions on the motor and valve.

There are three operating adjustments on the Valvactor: two of them align the ball tip (3) over the center of the disc (5) at midvalues of signal pressure and stroke, and the third adjusts the Valvactor output pressures to the stroke of the valve. When the Valvactor is furnished on a motor, these adjustments are properly set at the Factory and should require no further attention; otherwise, the adjustments must be made at the time of installation. Standard adjustments on a Valvactor will start the diaphragm motor motion at 3 psi and produce full motor stroke at 15 psi. These values are used in order that the Valvactor adjustments be uniform with the motor adjustment values and are particularly desirable when a bypass is available at the Valvactor.

To check these adjustments a variable known source of air pressure must be connected to the Valvactor "Instrument" connection. The supply regulator and supply pressure gauge of the controller may be used for this purpose, the controller being bypassed by putting on "Manual" control. The Valvactor "Supply" connection should be connected to a 35-psi regulated air source, and the "Output" connection to the diaphragm motor. Remove the cover from the Valvactor and proceed as follows:

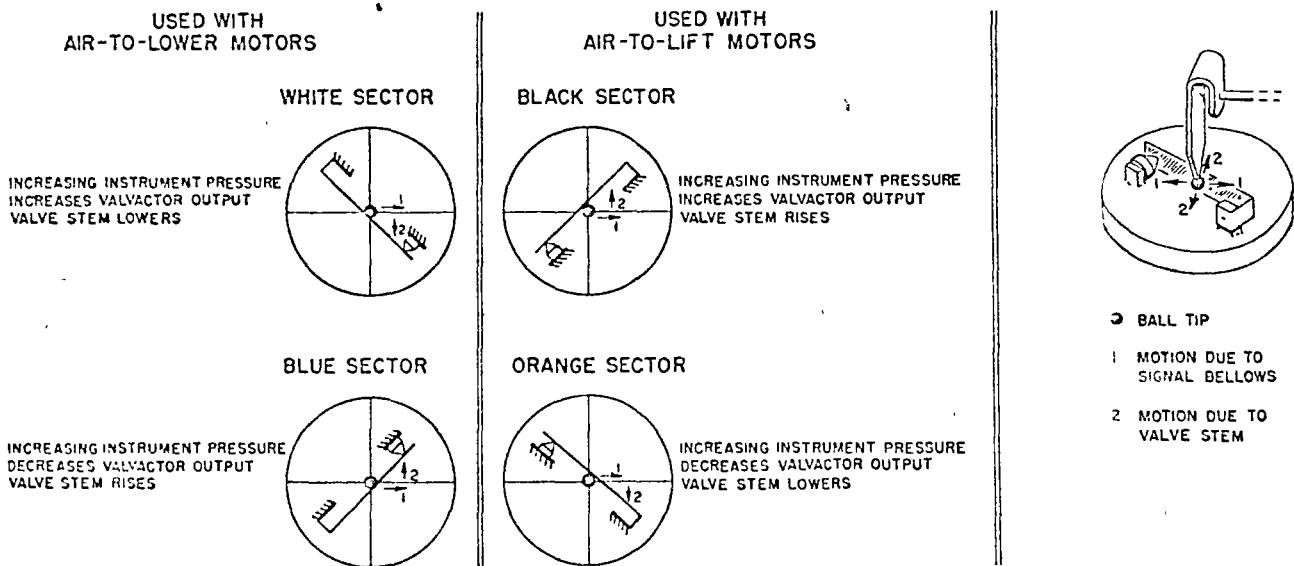


Fig. B4368

Diagrams Showing Relation of Ball Tip to Flapper Nozzle (Top Views, Looking Down on Control Disc)

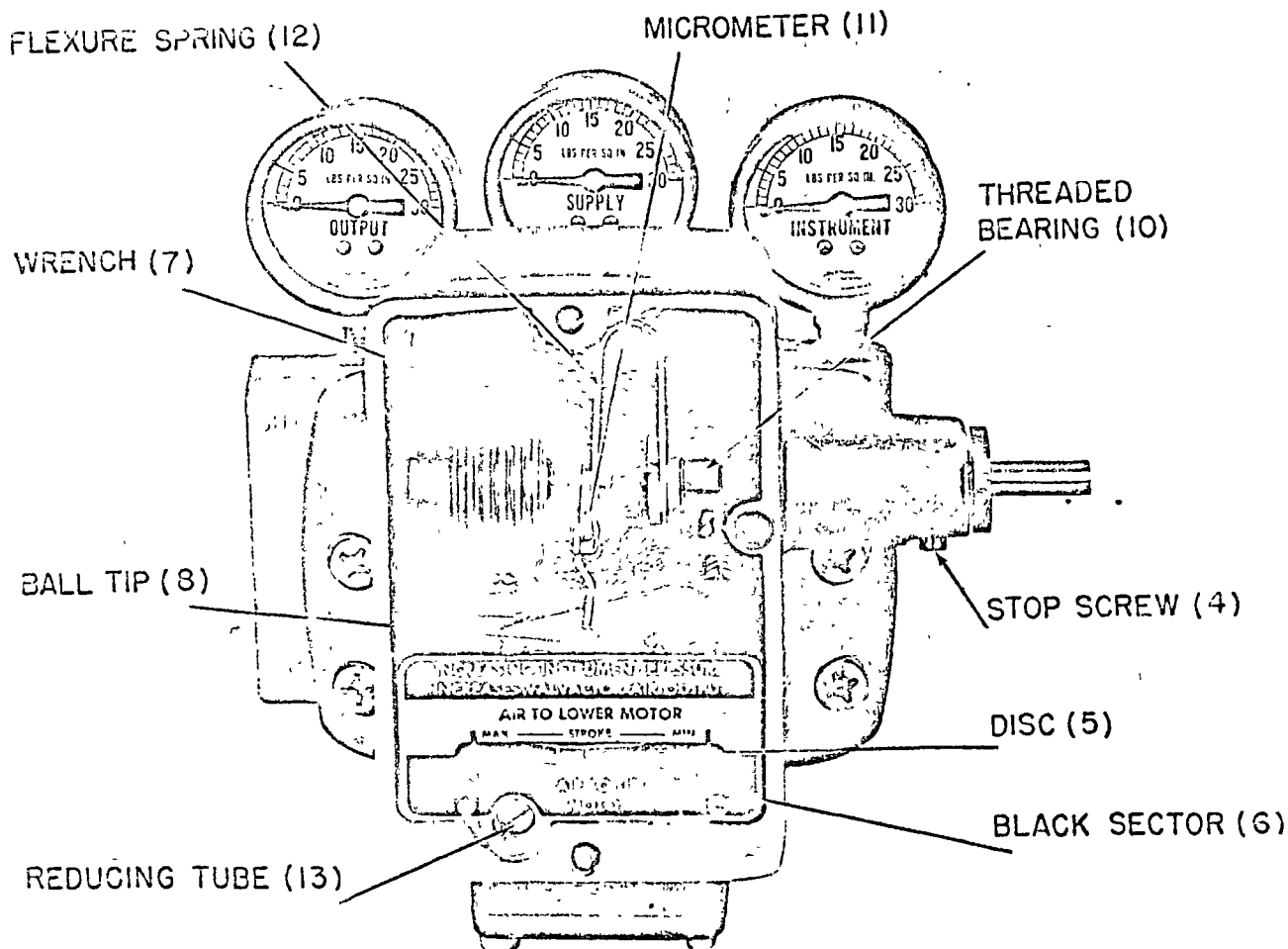


Fig. B4369

*Centering Adjustments*

1. If the Valvactor has a bypass, place the switch at "ON" position.
2. Apply 9-psi regulated pressure at the "Instrument" connection.
3. Rotate the disc (5) to MAX. position using the wrench (7). Use MAX. position on the black scale if the black sector (6) is employed; MAX. position on the light scale if the white sector (6) is employed. The MAX. and MIN. positions are described by vertical lines on the scale. Adjustment beyond these lines may enter an adjoining sector.
4. Adjust the threaded bearing (10) with a  $\frac{3}{8}$ " wrench until the valve stem is approximately at midstroke position.
5. Rotate the disc (5) to MIN. position.
6. Adjust micrometer screw (11) to bring the valve stem to midstroke position.
7. Repeat Steps 2 through 5 until midstroke valve stem position is maintained in any position of the disc within the chosen sector.

NOTE: If during adjustment it is necessary to turn the threaded bearing until the stop screw (4) hits the casting, loosen stop screw (4), slide out the collar on the shaft, and retighten screw (4). If excessive travel of the micrometer screw (11), Fig. B4369, is required in order to position the ball tip (8) over the center of the disk (5) at mid-values of pressure and stroke, turn the micrometer to midtravel, loosen the stop screw (4) and universal lever clamp screw, and rotate the shaft as follows: With the flexure spring (12) vertical, stop screw (4) should be at midtravel, and the universal lever should be horizontal.

*Stroke Adjustment*

1. Apply either 3 psi or 15 psi at the "Instrument" connection, whichever pressure is necessary to fully close the valve.
2. Position the stroke adjusting disc (5) until the valve just starts to open at 3 psi (or 15 psi).
3. Check stem positions at 3-, 9-, and 15-psi instrument pressures. It may be necessary to trim centering micrometer and stroke adjustments slightly.

### Multiplexing Adjustments

The Valvactor may be adjusted to operate the valve through any predetermined band, such as 9-15 psi. Here the centering adjustments (refer to preceding section) would be performed at 12 psi, and the stroke adjustment at 9 or 15 psi, whichever pressure fully opens the valve.

### General Maintenance

The only regular maintenance necessary is the periodic blowing of the drip well pet cock to remove moisture from the air supply system. This should be done often enough so that less than one pint of liquid is removed at each blow-down.

### Reducing Tube

The reducing tube (13) consists of an orifice approximately 0.018" in diameter. It can be unscrewed from the Valvactor and replaced.

Occasionally a particle of dirt or moisture will plug the reducing tube. This causes the control relay to seat so as to vent the valve motor, regardless of what "Instrument" air pressure is applied. If this occurs, turn off the air supply

to the Valvactor, unscrew the reducing tube, and clean by inserting a 0.015" wire through the orifice.

### Filters

**Valvactors without Bypass:** Fine wire mesh filters are provided in the air connections. If they become clogged with dirt, remove them with a thin pointed tool, and replace with new filters.

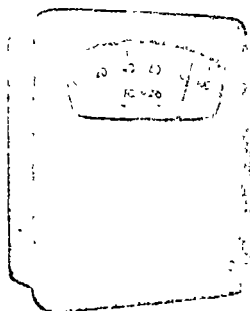
**Valvactors with Bypass:** Cartridge type filters are provided in the supply and instrument connections, and a fine wire mesh filter in the output connection. If they become clogged with dirt the filters should be replaced. The cartridge type is removed with a screwdriver; the wire mesh type with a thin pointed tool.

### Bypass Switch

If leakage occurs at the switch, apply a light coat of silicone base grease to the circular neoprene gasket adjacent to the switch lever. (Part No. 48130, a 2-ounce tube of silicone grease, is available from The Foxboro Company for this purpose.)

# INSTRUCTIONS • Installation • Operation • Maintenance

## MODEL 45 PRESSURE OR TEMPERATURE TRANSMITTER



Transmits Pneumatic Signal Proportional to Pressure or Temperature Measurement

### Specifications

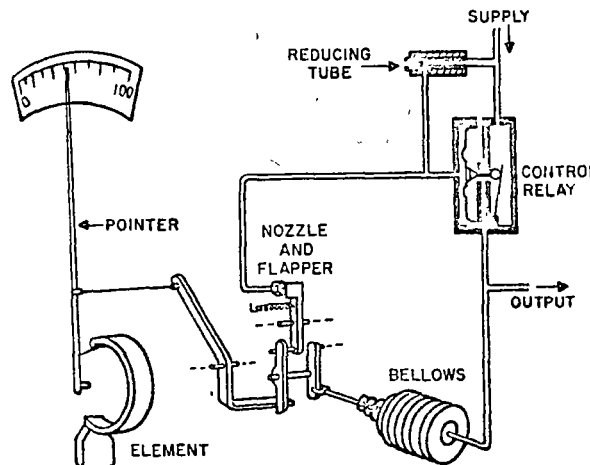
Air Supply: 20 psi, or 1.5 kg per sq cm  
 Output Signal: 3 to 15 psi, or 0.2 to 1.0 kg per sq cm  
 Calibrated Accuracy (input to output):  $\pm 0.5$  percent of span  
 Ambient Temperature Error: Less than 1 percent per 100 degrees F  
 Weight: 15 lb

### Principle of Operation

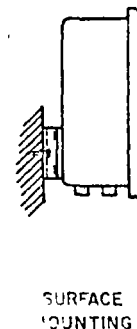
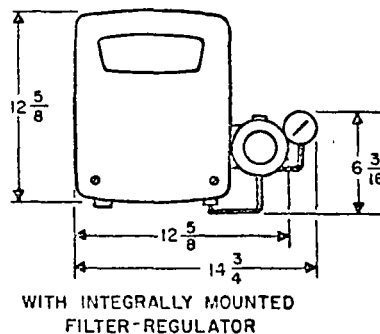
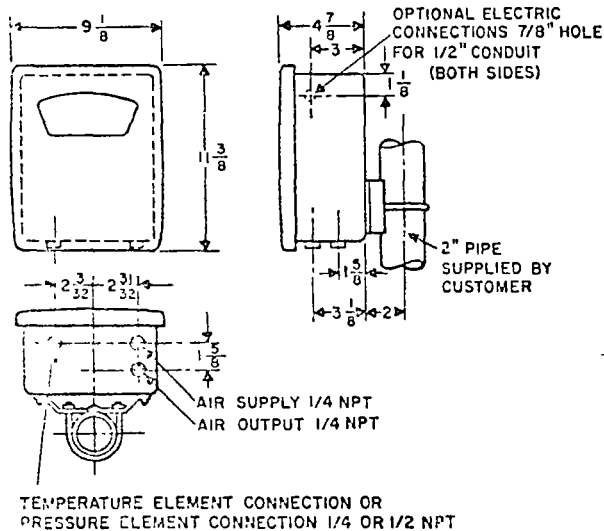
Air supply is passed through a reducing tube or restrictor. The reduced pressure, determined by the relationship of flapper to nozzle, is applied to the diaphragm of the control relay.

Change in measured variable causes the pointer to move. This changes the flapper-nozzle relationship which, through the relay, changes the pressure to the feedback or transmitter bellows and to the output. The resulting motion of the feedback bellows restores the flapper to its throttling position. It follows that for each value of measurement there is a definite flapper position and a definite output pressure.

The output pressure is transmitted to a standard pneumatic receiver to record and/or control the measurement.



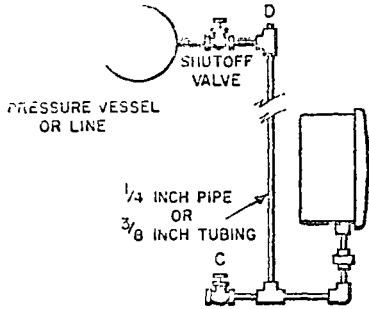
### — MOUNTING OF INSTRUMENT —



Remove mounting bracket from back of instrument. (If transmitter has integrally-mounted filter-regulator, break the air connection from regulator to instrument).

Mount the bracket on a 2-inch pipe or wall  
 Replace the instrument on the bracket.

— INSTALLATION OF PRESSURE MEASURING SYSTEM —



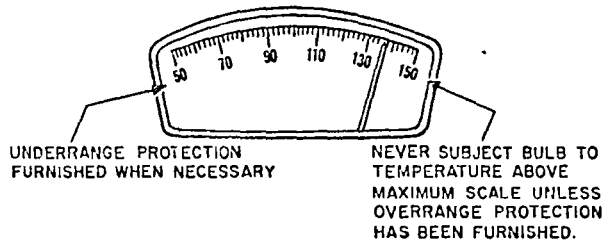
Valve (C) permits addition of a test gauge. Valve (C) also permits drainage of any moisture from the pressure lines.

In a liquid-filled system, valve (C) should be opened until liquid flows free of air bubbles. The piping must be *solid-filled with liquid*.

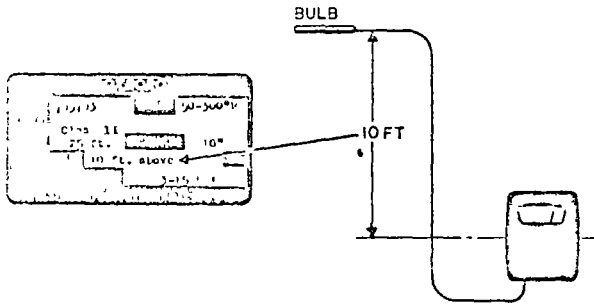
In a liquid-filled system, plug (D) is vented when zeroing instrument.

— INSTALLATION OF TEMPERATURE MEASURING SYSTEM —

BE CAREFUL WITH THE THERMAL SYSTEM. It is a filled system and must not be CUT, CRUSHED, or TWISTED. If the thermal system is broken, the instrument must be returned to The Foxboro Company for repair.

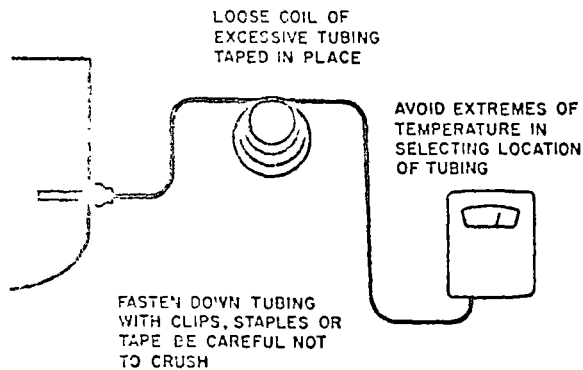


OBSERVE ANY ELEVATION REQUIREMENTS STAMPED ON NAMEPLATE



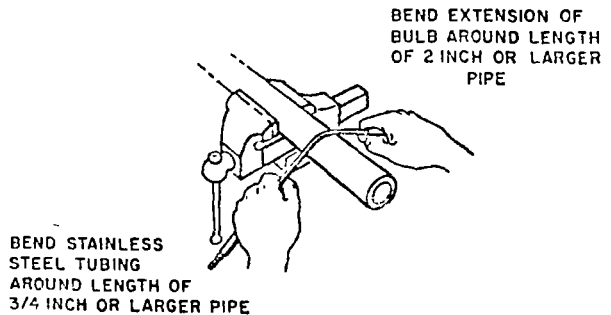
With Class IIA systems (vapor pressure systems with bulb temperature always above tubing and case temperature), elevation requirements must be observed, or the instrument zeroed.

Typical Temperature Installation



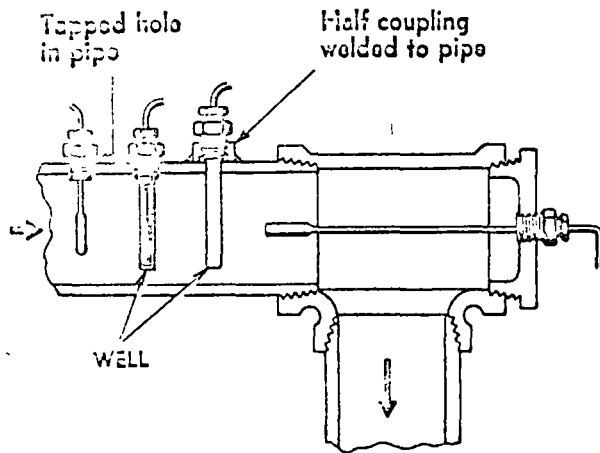
Maximum Curvature in Bending Tubing

Plain stainless steel tubing — 1/2 inch radius  
Protection tubing (Armor) — 3-inch radius  
Bendable extension of bulb — 1-inch radius

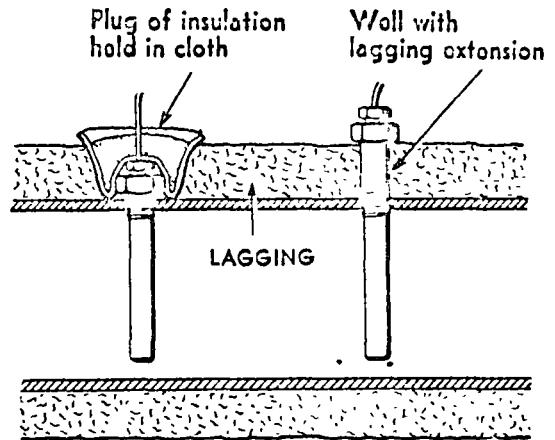


— INSTALLING TEMPERATURE BULB —

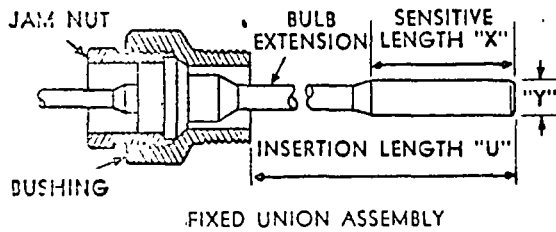
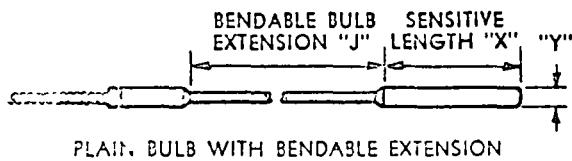
In Pipe Line, Using Bushing or Well



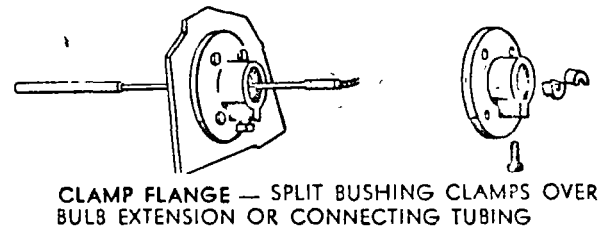
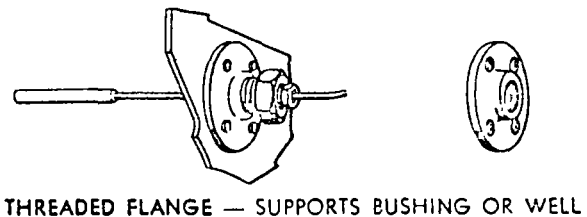
In Lagged (Insulated) Pipe Line



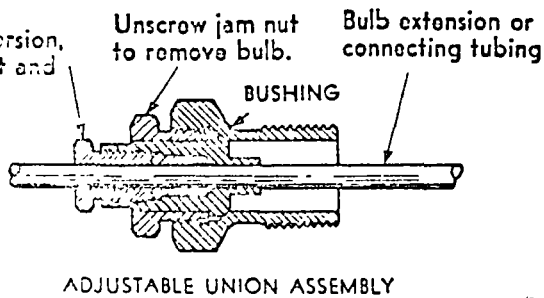
Common Bulb Types



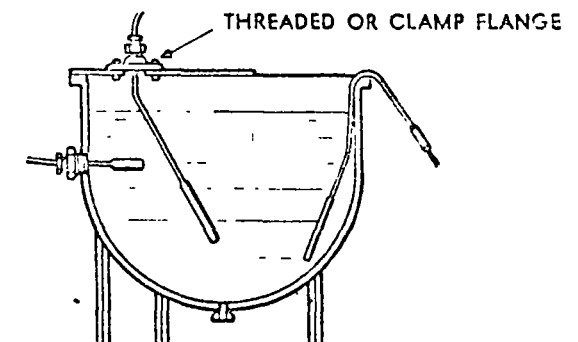
In a Duct or Wall



To vary bulb immersion, loosen packing nut and slide tubing.

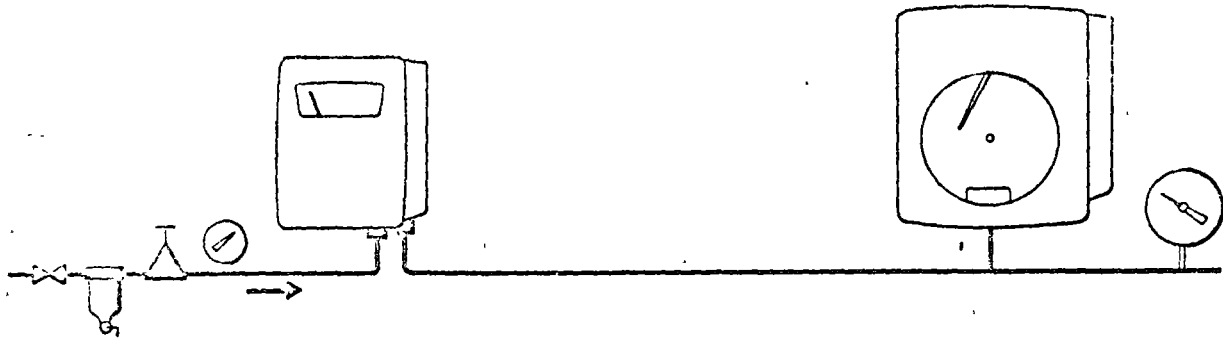


In Kettles and Retorts



CAPILLARY BULB FOR USE IN GASES

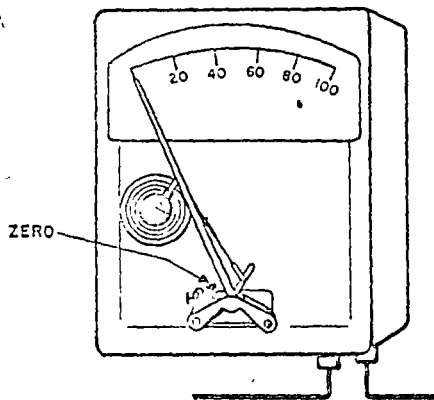
— SUPPLY AND TRANSMISSION PIPING —



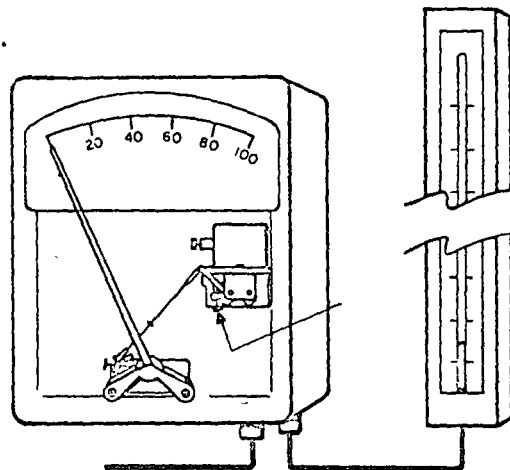
Supply must be regulated at 20 psi or 1.5 kg per sq cm.  
Instrument uses 0.75 scfm of air in normal operation.  
**AIR MUST BE CLEAN AND DRY. BLOW OUT FILTER  
REGULARLY.**  
Transmission line must be free of leaks.

— PLACING IN OPERATION —

Zeroing The Measuring System



Zeroing The Transmission System



**IMPORTANT:** Be sure 20 psi air supply is turned on.

*Gas Pressure Instruments:* Vent the pressure connection. Zero pointer.

*Liquid or Steam Pressure Instruments:* Vent the pressure connection at the level of the line or vessel whose pressure is being measured (the connecting line must be liquid filled). Zero pointer.

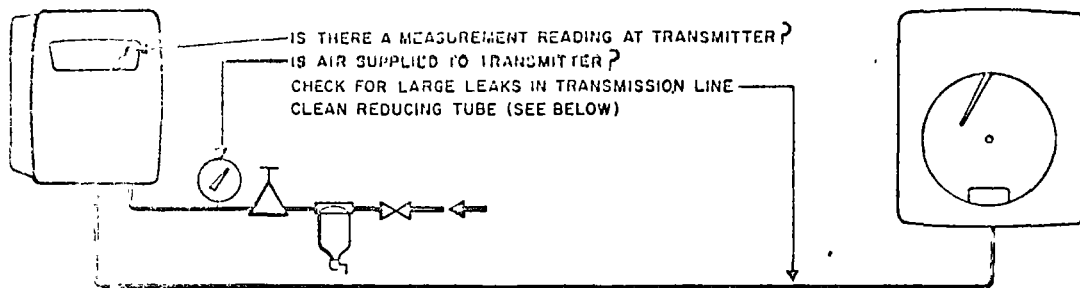
*Temperature Instruments:* Reference adjustment not recommended, due to difficulty of obtaining test conditions.

Adjust supply to 20 psi (or 1.5 kg per sq cm).  
Bring pointer to zero scale (disconnect link to measuring element when necessary).

Adjust zero until output is 3 psi or 0.2 kg per sq cm.

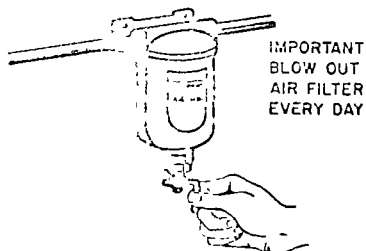
— MAINTENANCE AND SERVICING —

Difficulty: No Reading (or very low reading) at Receiver

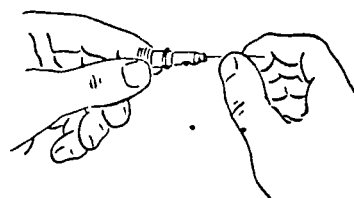
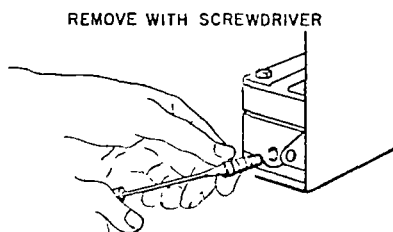


Air Filter

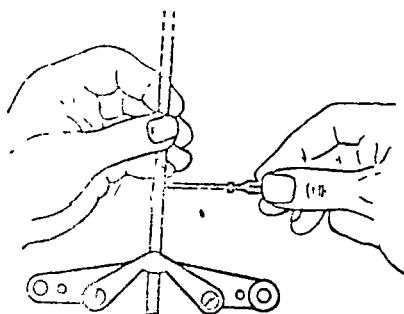
Reducing Tube



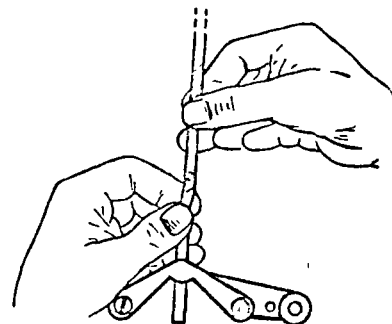
Removing Pointer



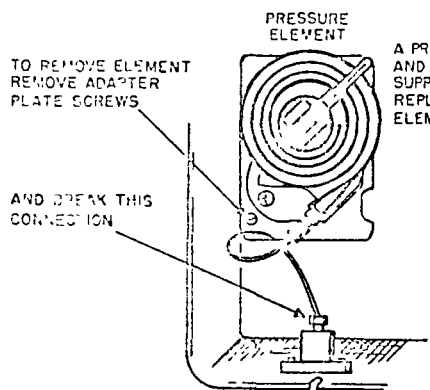
Replacing Pointer



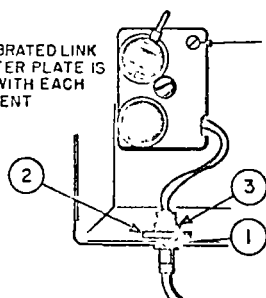
RAISE LOWER END OF POINTER OVER STUD, AND SLIDE OFF



Replacement of Elements

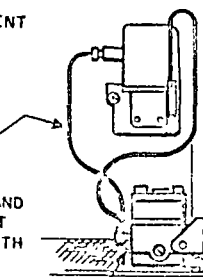


A PRECALIBRATED LINK AND ADAPTER PLATE IS SUPPLIED WITH EACH REPLACEMENT ELEMENT



WHEN REMOVING THERMAL SYSTEM REMOVE SLOT COVER (1) AND TWO SCREWS HOLDING CONNECTION PLATE (2) UNSCREW HEX NUT (3). PASS CAPILLARY TUBING THROUGH SLOT IN BOTTOM OF CASE

RETAIN THIS CONNECTION ASSEMBLY AND "O" RING (NOT SUPPLIED WITH NEW UNIT)



WHEN REPLACING TRANSMITTER UNIT LOOSEN SCREW AND ROTATE LATCH PRY OUT AIR CONNECTIONS

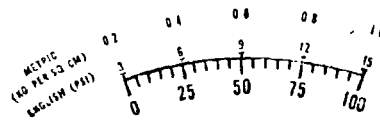
If the measuring element, the transmitter unit, or the instrument scale is removed and replaced, check the instrument zeroes (measurement and transmission).

— CALIBRATION OF TRANSMISSION SYSTEM —

English and Metric Signal Ranges

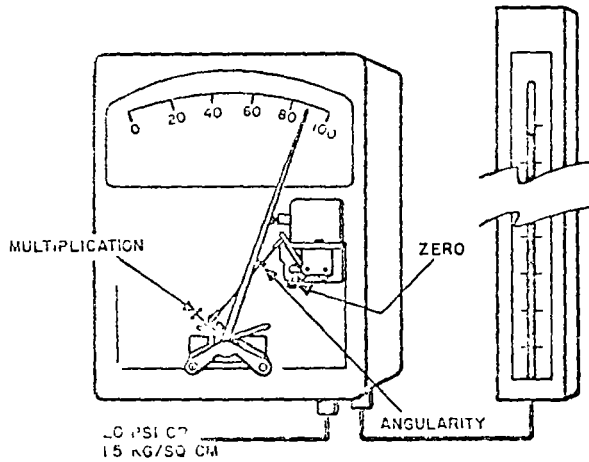
These two signal ranges are not exactly equivalent.

Both transmitter and receiver must be calibrated to the English system, or both to the metric system.



TRIANGULAR CALIBRATION MARKS WITH CORRESPONDING OUTPUT PRESSURES

Calibrating Transmission System



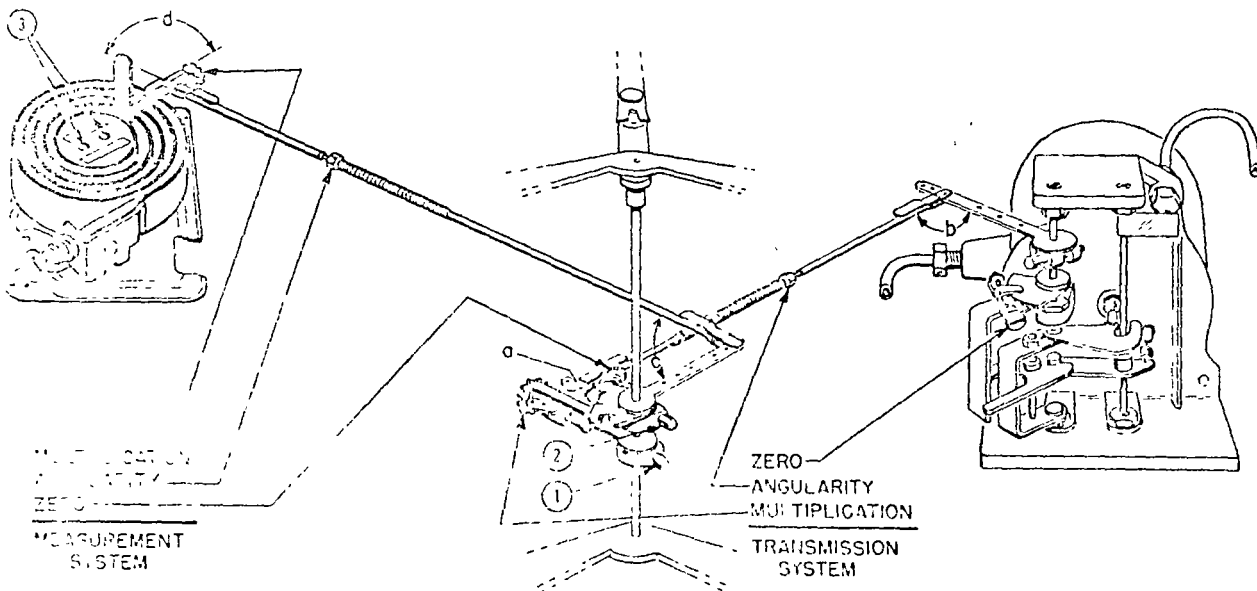
1. Disconnect link to measuring element.
2. Move pointer alternately between minimum and maximum scale noting output pressures. Adjust **MULTIPLICATION** to obtain 12 psi output pressure span over scale (clockwise rotation increases span).
3. Set pointer at minimum scale and adjust **ZERO** for 3 psi.
4. Set pointer at midscale. If output is not 9 psi, adjust **ANGULARITY** to *increase* the error 5 times. Subsequent readjustment of zero and multiplication will bring into calibration.
5. Repeat steps 2 to 4 until desired accuracy is obtained.

Preliminary Squaring Up of Linkages

If parts have been replaced, or for some other reason a complete recalibration is necessary, start with right angles at midtravel as follows:

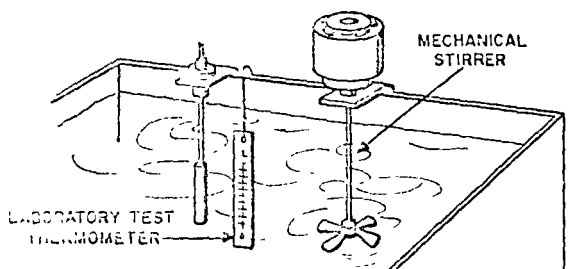
**Transmission Linkage:** Place pointer at midscale (disconnect link from measurement element if necessary). Obtain right angle (a) by loosening clamp (1) and slipping lever on its shaft. Obtain

right angle (b) by adjusting length of link  
**Measurement Linkage:** Set measured variable to a value corresponding to midscale. Obtain right angle (d) by loosening two screws (3) and slipping lever on its shaft. Obtain right angle (c) by adjusting length of link.



## — CALIBRATION OF MEASURING SYSTEM —

### Checking a Temperature Instrument



IMMERSE BULB AT LEAST TO POINT STAMPED ON INSTRUMENT DATA PLATE. SUBMERGE UNION CONNECTED BULB UP TO THE LISTING.

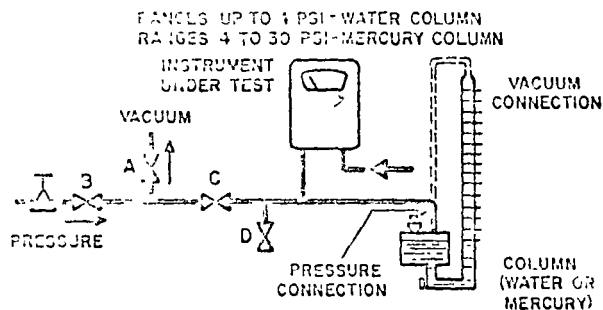
1. Remove bulb from the process. **DO NOT ATTEMPT TO CALIBRATE AGAINST ANOTHER BULB IN THE PROCESS. DO NOT CALIBRATE IN AIR.**

2. Place bulb and *laboratory test thermometer* in close proximity in a *well-stirred test bath*.

3. Allow sufficient time for bulbs to reach liquid temperature.

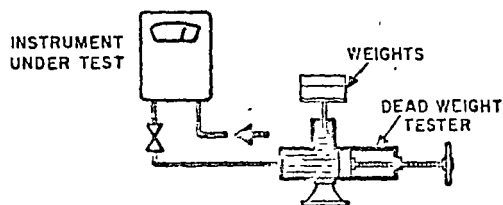
4. Check at least two widely separated points on the instrument scale.

### Checking a Pressure Instrument



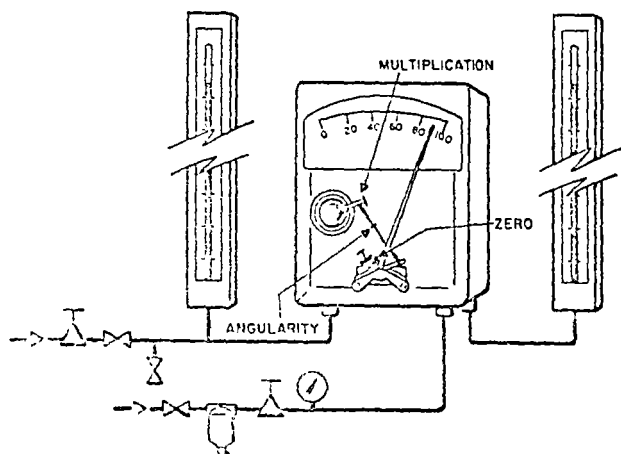
LOOK IN REQUIRED PRESSURE OR VACUUM AND VALVE (C) REDUCE BY BLEEDING AT (D). ACCURATE TEST GAUGE MAY BE USED IN PLACE OF COLUMN.

RANGES 30 PSI AND UP



INCREASE PRESSURE WITH CRANK UNTIL PRESSURE SUPPORTS AN ACCURATELY-KNOWN WEIGHT. ACCURATE TEST GAUGE MAY BE USED WITH HYDRAULIC PUMP IN A SIMILAR SET UP.

### Calibrating Measuring System



**IMPORTANT:** Be sure 20 psi air supply is turned on.

1. Set measured variable to value corresponding to minimum scale (or other low value). Adjust **ZERO** until pointer reads correctly.

2. Set measured variable to value well up on scale. Adjust **MULTIPLICATION** until pointer reads correctly.

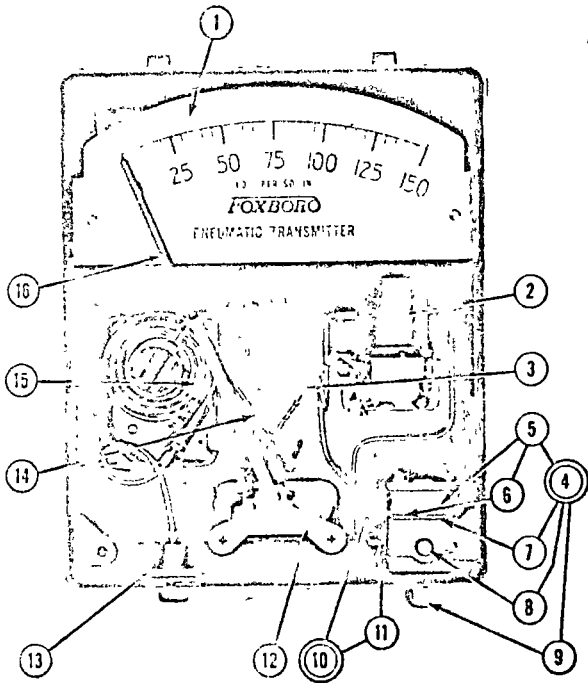
3. Set measured variable to value corresponding to midscale. Adjust **ANGULARITY** to move the pointer 5 times the amount of the error in the *direction of the error*. Subsequent readjustment of zero and multiplication will bring into calibration.

1. Repeat steps 1 to 3 until desired accuracy is obtained.

*Over-All Calibration — Input to Output*

For highest accuracy, compare the *output pressure* readings directly with the input in the above procedure. Use the same three adjustments as for the measuring system in making final adjustments.

— PARTS LISTS —



Item	Part No	Part Name
1	---	Dial (Give instrument serial number)
2	Below	Transmitter Assembly — see note below
	U-113-AT	3-15 psi, steel spring
	U-113-AA	3-15 psi, Ni-Span spring
	U-113-AZ	3-27 psi, steel spring
	A76715	3-27 psi, Ni-Span spring
3	X-101-NC	Adjustable Link
4	U-113-AE	Relay Manifold Assembly
5	C-100-CX	Relay
6	C-100-EM	Gasket (relay to plate)
7	U-110-AX	Gasket (plate to manifold)
8	C-125-AT	Restrictor Assembly
-	U-103-BN	"O" Ring, 1/8 ID
-	C-123-AS	"O" Ring, 1/8 ID
9	U-103-FP	Screen (2 req)
10	U-113-AS	Connection Assembly
11	C-123-AS	"O" Ring, 1/8 ID
12	M-149-FS	Movement Assembly
13	P-102-AA	1/4 NPT Brass Pressure Connection
13	46270	1/4 NPT Stainless Steel Pressure Conn
13	P-104-WY	1/2 NPT Stainless Steel Pressure Conn.
14	Below	Adjustable Link
	X-101-EF	2 1/8 — 2 7/8 inches
	X-101-BG	3 1/4 — 3 3/4 inches
	X-101-CN	3 3/4 — 4 1/4 inches
	X-101-BE	4 3/4 — 5 1/4 inches
	X-101-BK	6 1/4 — 6 3/4 inches
15	---	Measuring Elem. (Give desired range)
16	M-149-AZ	Pointer

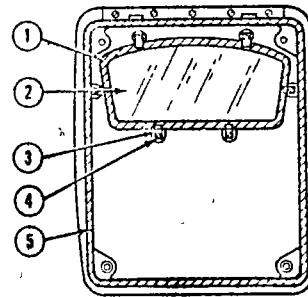
NOTE: Order Transmitter Assembly with steel spring when measuring element is not temperature-compensated, i.e., Class II (vapor pressure) temperature elements, and all pressure elements except Ni-Span helicals and spirals, and brass bellows. Order Transmitter Assembly with Ni-Span spring when measuring element is temperature-compensated, i.e., Classes IA, IB, III temperature elements, Ni-Span helicals and spirals, and brass bellows.

Yoke Mounting Parts

Part No	Part Name
M-149-AN	U-Bolt and 5/16-18 Nuts
M-149-AL	Bracket
22956	1/4-20 Nuts for Bracket

Door Assembly

Item	Part No.	Part Name
	M-149-AS	Door Assembly
	M-149-CL	Door Assembly with Shatterproof Glass
1	M-149-AT	Gasket (window)
2	M-149-AW	Glass
2	M-149-CM	Shatterproof Glass
3	13221	Clips (6 req.)
4	X-100-MN	4-10 x 1/4 Screws (6 req.)
5	N-108-BB	Gasket (door)
-	48860	Gasket Cement (2-oz tube)

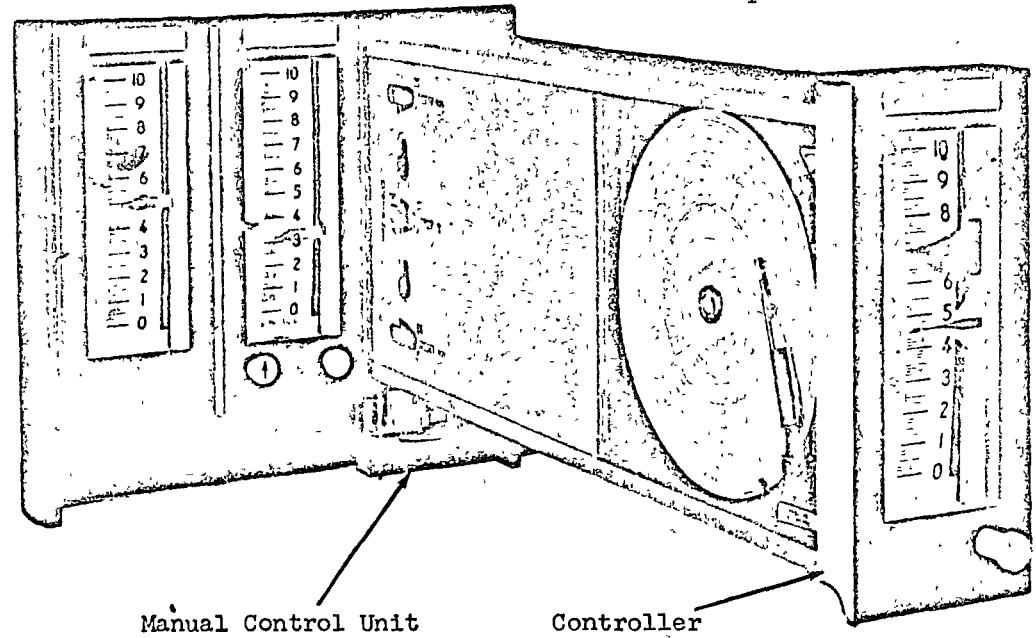


— RECOMMENDED SPARE PARTS —

	Quantity Recommended		Part No	Part Name
	For One Instrument	For 5 or More Instruments		
Recommended spare parts are listed for one instrument and for five or more instruments. Other factors to be considered are proximity to Foxboro supplies, company service facilities, use of parts common to other instruments, and importance of the instrument.	1	1	C-100-CX	Relay
	1	1	C-100-EM	Gasket (relay)
	1	1	C-125-AT	Restrictor Assembly
	2	4	U-103-FP	Screens
	1	2	N-108-BB	Gaskets (door)
	1	1	48860	Gasket Cement (2-oz tube)
	0	1	M-149-AW	Glass
	0	1	M-149-AT	Gasket (window)
	0	1	M-149-AZ	Pointer

— MODEL 130M PNEUMATIC CONTROLLER —  
Installation and Operation

Illustrated is controller  
with optional recorder.



Model 130M Controller is a pneumatic, shelf-mounted instrument with a separate manual control unit. These components fit in individual adjacent locations in a shelf, and either or both can be removed without interfering with any of the other instruments.

If either the controller or its manual unit is removed from the shelf, the process can be controlled by the remaining component. Both have jack-plug pneumatic connections with built-in check valves, so that they can be removed from the shelf without disconnecting any piping.

For panel, shelf, and controller installation details, see Instruction 17-410. For principle of operation, schematic diagram, and other details, see Technical Information Sheet TI 29-201a.

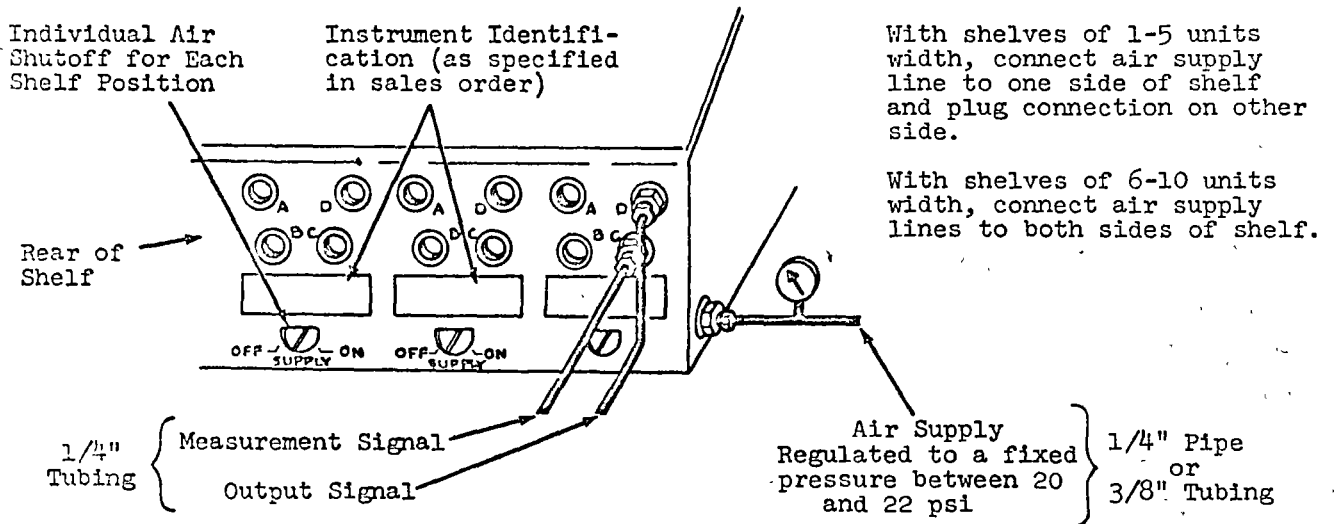
Standard Specifications

Output Signal: 3-15 psi (0.2 to 1.0 kg per sq cm)  
Measurement Signal: 3-15 psi (0.2 to 1.0 kg per sq cm)  
Set Point Signal: 3-15 psi (0.2 to 1.0 kg per sq cm)  
Air Supply Pressure: 20-22 psi (1.4 to 1.5 kg per sq cm)  
Max. Air Consumption: Controller, 0.5 scfm } in normal  
Man. Station, 0.5 scfm } operation  
Ambient Temperature Limits: 0 to 150 F (-20 to +65 C)  
Max. Air Delivery: 1.0 scfm  
Control Modes  
Model 130M-N2: Proportional  
Model 130M-N3: Proportional plus Derivative  
Model 130M-N4: Proportional plus Reset  
Model 130M-N5: Proportional plus Reset plus Derivative  
Control Mode Limits: Proportional, 5-500%  
Reset and Derivative actions,  
0.01-50 minutes, plus OFF position

- INSTALLATION -

Piping To Rear of Shelf

All connections at shelf are 1/4 NPT. Tie in signal lines to connections at correct location of controller, as identified on rear of shelf.

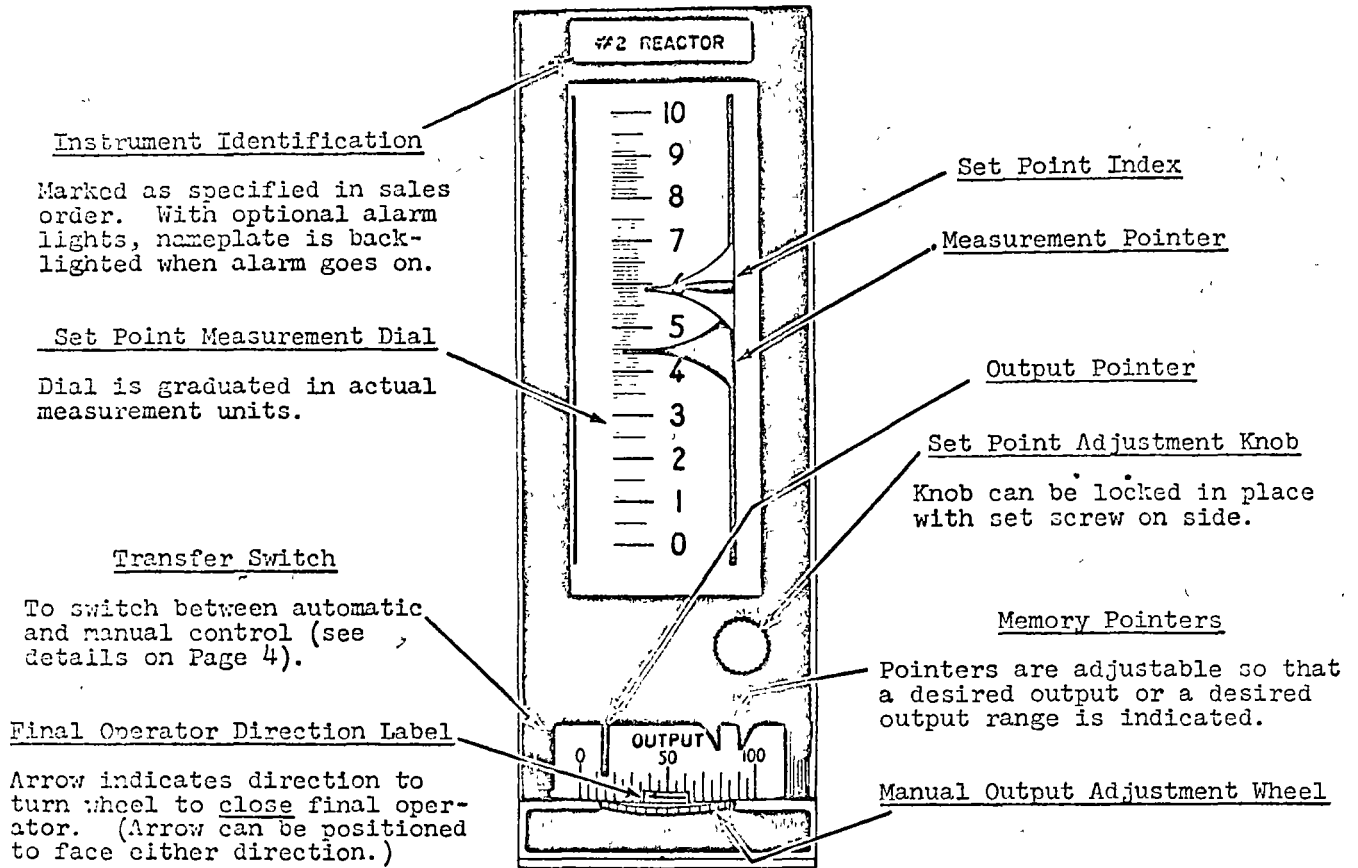


Wiring To Rear of Shelf

If controller has optional recorder or optional alarm lights, wiring is required to rear of shelf. See Instruction 17-475 for recorder details and Instruction 17-470 for alarm details.

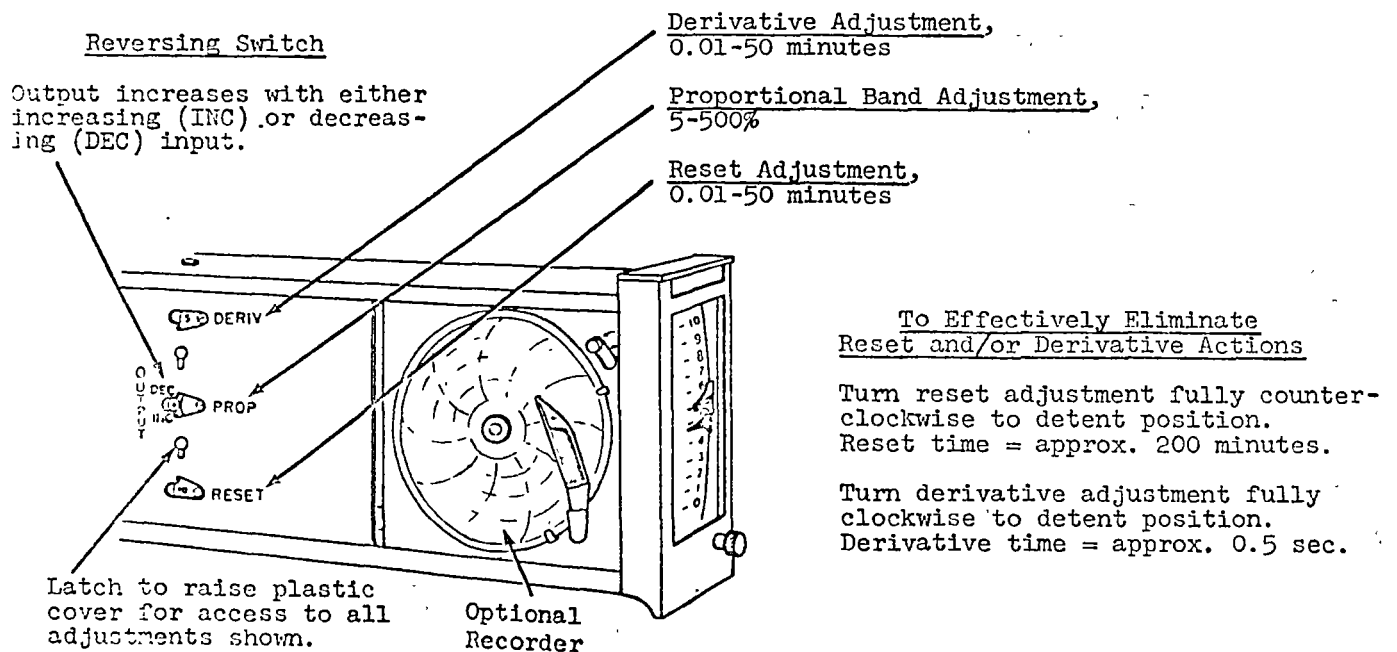
— OPERATION —

Components on Front of Instrument



Components at Instrument Control Panel

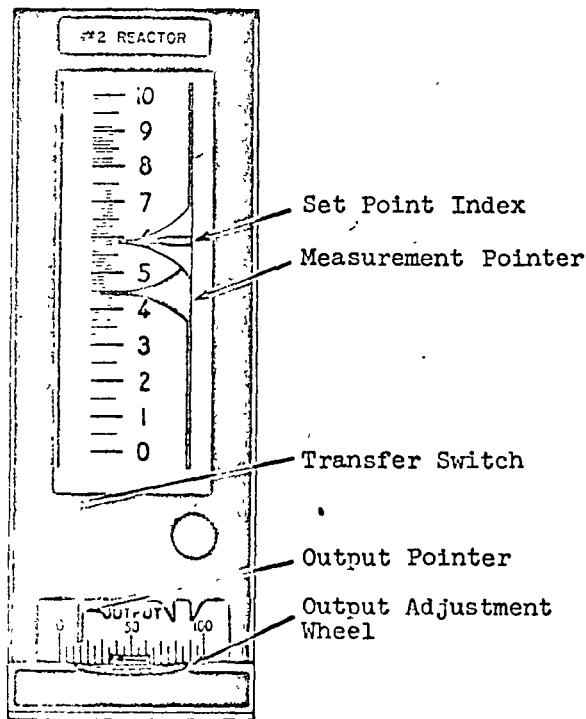
To expose control panel, withdraw instrument part way.



— OPERATION —

Transfer Switch

The transfer switch provides for switching between automatic and manual control without upsetting the process. With Model 130 Controller the switch can be moved freely between AUTO and MAN without special precautions.



Operation With Transfer Switch in MAN

In MAN, when output adjustment wheel is rotated, output will change. Direction that wheel is turned, will cause output pointer to move in same direction (left to decrease output, etc.)

Arrow located above wheel is direction to turn wheel to close control valve, as specified in sales order.

When transfer switch is moved to AUTO, measurement will approach set point.

Operation With Transfer Switch in AUTO

In AUTO, process is automatically controlled at reading of set point index.

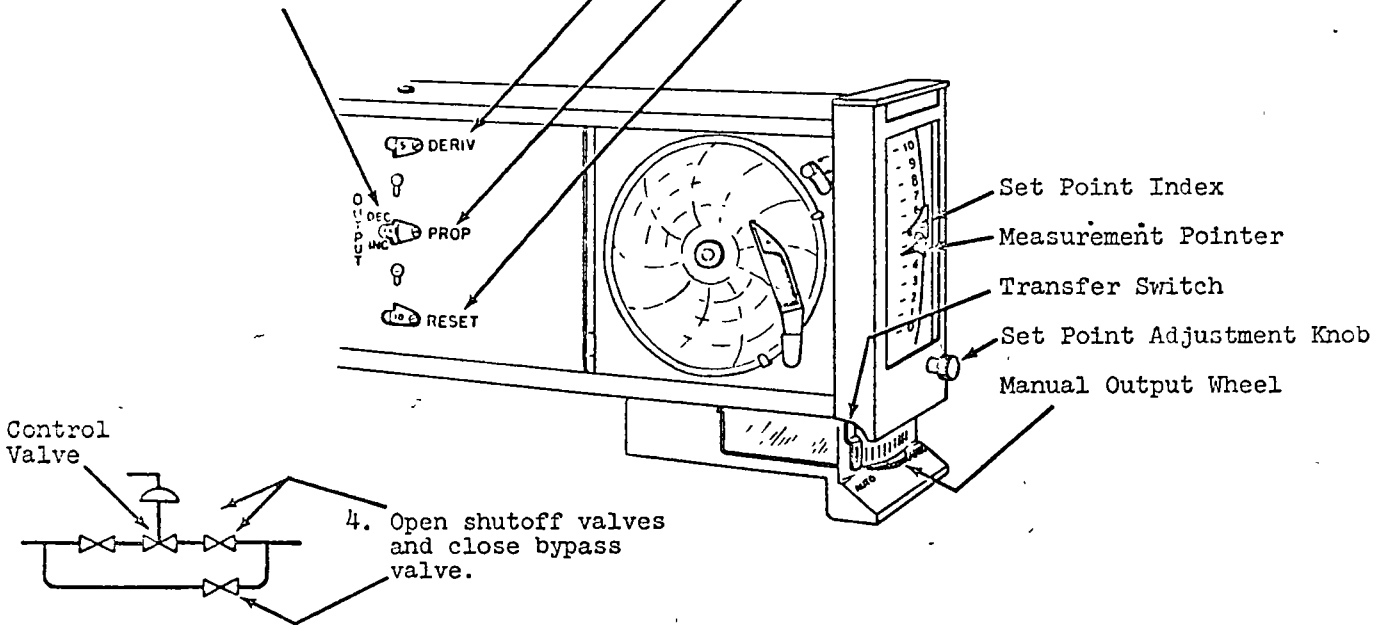
When transfer switch is moved to MAN, output will remain at last value of output before switching, until output adjustment wheel is rotated.

— OPERATION —

Putting Into Operation

1. Check that all instruments in control loop are properly installed and operating.
2. Adjust reversing switch for desired control action: with increasing input, output will either increase (INC) or decrease (DEC).

3. Turn DERIVATIVE adjustment (if present) off (see Page 3) or to safe low value.  
Turn PROPORTIONAL BAND to maximum or safe high value.  
Turn RESET adjustment (if present) off (see Page 3), or to safe high value.



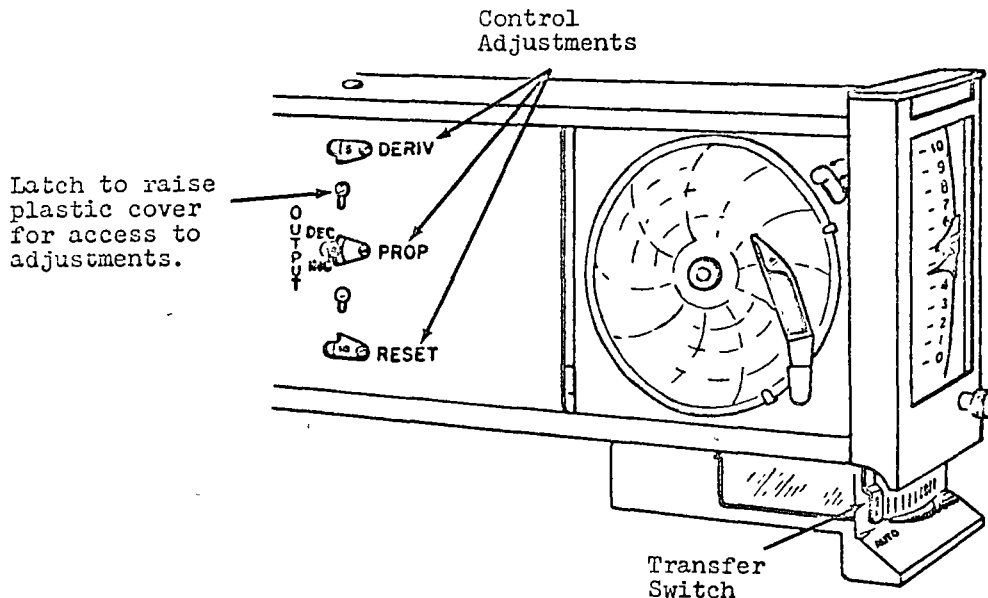
4. Open shutoff valves and close bypass valve.
5. Start up on manual control as follows:
  - a. Move transfer switch to MAN.
  - b. Turn set point knob so that set point index is at desired set (control) point.
  - c. Turn on instrument air supply at rear of shelf. (Pressure must be at a fixed value between 20-22 psi). Blow out filter.
  - d. Adjust output with manual output wheel so that measurement pointer is held as close as possible to set point index.  
Avoid making frequent or excessive changes as this may delay balancing out of process.
6. After measurement has stabilized, measurement pointer will be in line with set point index. Move transfer switch to AUTO. Process is now on automatic control.
7. Adjust PROPORTIONAL BAND, RESET, and DERIVATIVE controls (if present) for best process operation (see Page 6).
8. To return to manual control, move transfer switch to MAN. Output will remain at set point reading until manual control wheel is turned.

Elimination of Outside Disturbances

If, on manual control, the measurement shows cycling, pulsations, or erratic performance, while the final operator is unchanged, this trouble obviously is not due to the controller. For best control performance, such outside disturbances must be eliminated or reduced to a minimum before placing the instrument on automatic control.

— OPERATION —

Control Adjustments



Proportional Controller (Model 130M-N2)

1. With transfer switch in MAN, set PROPORTIONAL BAND at maximum or at safe high value.
2. Move transfer switch to AUTO, and make change in set point. Observe process and output responses.
3. If cycling does not occur, adjust PROPORTIONAL BAND to half of previous value.
4. Repeat Steps 2 and 3 until cycling is observed. Then increase PROPORTIONAL BAND to twice its value.

Proportional Plus Reset Controller (Model 130M-N4)

1. Turn off RESET (see Page 3) or to safe high value.
2. Adjust PROPORTIONAL BAND as described in Proportional Controller, above.
3. Adjust RESET using same procedure as Proportional Band.

Proportional Plus Derivative Controller (Model 130M-N3)

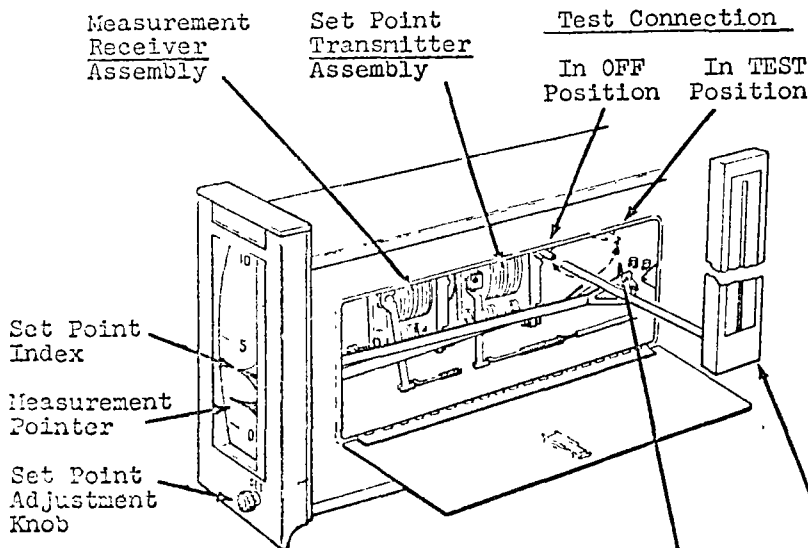
1. Turn off DERIVATIVE (see Page 3) or to safe low value.
2. Adjust PROPORTIONAL BAND as described in Proportional Controller, at left.
3. Adjust DERIVATIVE using same procedure as Proportional Band, except doubling each setting instead of halving it.

Proportional Plus Reset Plus Derivative Controller (Model 130M-N5)

1. Turn off RESET (see Page 3) or to safe high value.
2. Turn off DERIVATIVE (see Page 3) or to safe low value.
3. Adjust PROPORTIONAL BAND as described in Proportional Controller, at left.
4. Adjust DERIVATIVE using same procedure as Proportional Band, except doubling each setting instead of halving it.
5. Adjust RESET to 4 times final setting of Derivative in Step 4, above.

Calibration Checks

The transmitter and receiver assemblies can be calibrated either to the English (3 to 15 psi) or to the metric (0.2 to 1.0 kg per sq cm) signal pressure range. The two ranges are not exactly equivalent; therefore the entire system must be calibrated in the same units.



When test connection is in TEST position, measurement pointer reads set point pressure, and this pressure is delivered to test connection.

1. Withdraw controller part way and open access door on right side.  
If left side panel and optional recorder (if present) are removed, adjustments will be more accessible.

To remove panel, loosen screw at rear, and slide out panel. To remove recorder, remove the 2 screws on pointer movement bracket, loosen the 2 screws on front of top plate, and disconnect link. By lifting up on top plate, recorder can be eased out.

2. Attach 0-20 psi manometer (or test gauge) to controller test connection. Use 3/32" ID rubber (for flexibility) tubing at test connection.

3. Move test connection to right to TEST position.

4. With controller air supply turned on at rear of shelf, turn set point knob so that set point index is at 0, 50, and 100% of scale. Note manometer reading at each setting.

Readings on manometer should be 3, 9, and 15 psi (or 0.2, 0.6, and 1.0 kg per sq cm) respectively. (Ignore measurement pointer readings at this time.)

If manometer readings are not within required accuracy, calibrate set point transmitter assembly, as described on Page 8.

5. After set point transmitter assembly has been calibrated, repeat Step 4, this time noting how closely measurement pointer agrees with set point index.

If measurement pointer readings are not within required accuracy, calibrate measurement receiver assembly as described on Page 9.

Shop Calibration

A spare shelf assembly or a calibrating fixture (Part C0138SN, obtainable from The Foxboro Company) is recommended. Connect a 20 psi air supply to rear of shelf or to "S" connection on fixture.

If shelf or fixture is not available, air supply must be connected to rear of controller. Use 1/4" OD Polyflo tubing (or equivalent). See illustration on Page 11 for cross-referencing of connections at rear of shelf and rear of controller.

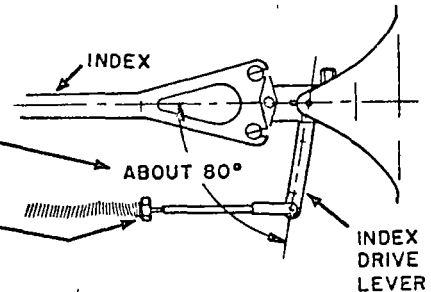
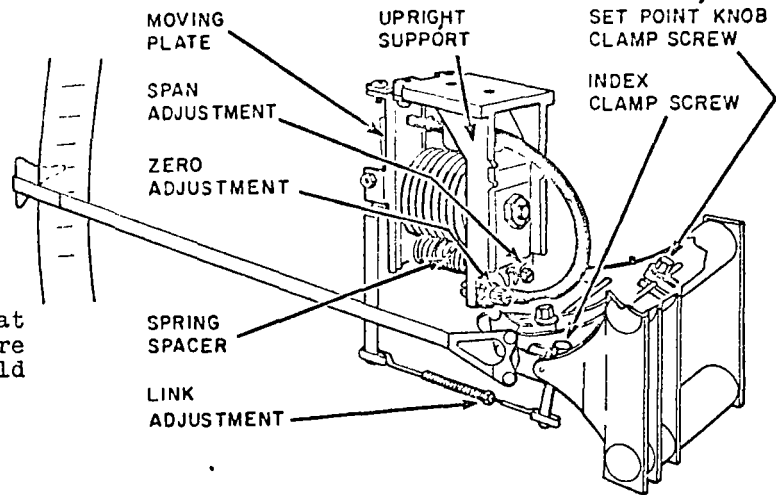
Calibration - Set Point TRANSMITTER Assembly

Squaring Up of Linkage for Complete Calibration

If parts have been replaced, or for some other reason a complete recalibration is necessary, square up linkage before actual calibration.

If set point index does not have full-scale travel, note amount of error and turn set point knob to move index to 50% of scale. Loosen set point knob clamp screw and slip index on its shaft by amount of error +2%, in direction to get full-scale travel. Tighten clamp screw. Repeat during calibration if necessary.

1. With calibrating equipment set up as shown on Page 7, rotate span adjustment screw so that about 4 turns of spring are visible between upright support and spring spacer.
2. Turn set point knob so that manometer reading is 9 psi.
3. Rotate zero adjustment screw so that moving plate and upright support are parallel (about 1 1/4" apart). Hold output at 9 psi by adjusting set point knob.
4. Turn set point knob so that set point index is at midscale.
5. Loosen index clamp screw and slip index on its shaft so that angle between index and index drive lever is about 80°. Retighten clamp screw.
6. Turn set point knob so that index is at midscale.
7. Adjust length of link so that output is 9 psi.



Calibration Procedure

When viewing zero and span adjustments as shown in illustration, turn adjustments clockwise to DECREASE output.

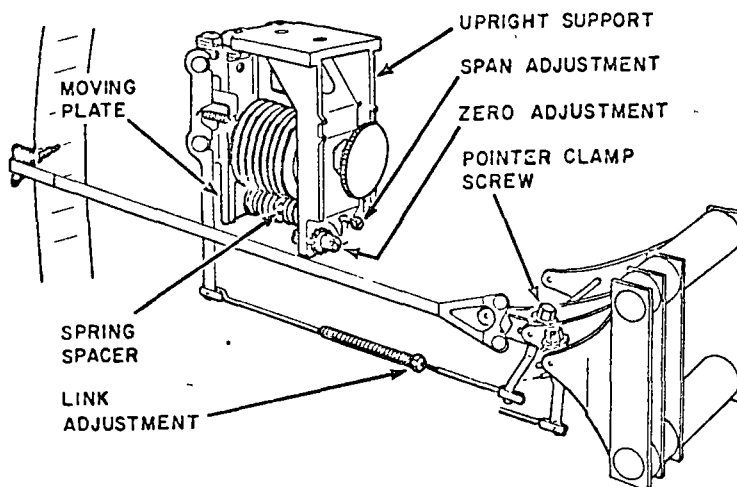
- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. With calibrating equipment set up as shown on Page 7, turn set point knob so that set point index is at 0% of scale.</li> <li>2. Rotate zero adjustment screw so that manometer reading is 3 psi.</li> <li>3. Turn set point knob so that set point index is at 100% of scale.</li> <li>4. Rotate span adjustment screw so that manometer reading is 15 psi.</li> <li>5. Repeat Steps 1 through 4 until outputs for 0% and 100% of scale are correct.</li> <li>6. Turn set point knob so that set point</li> </ol> | <p>index is at midscale. If output on manometer is not 9 psi, adjust length of link as follows: Adjust length so that output pressure changes by 10 times amount of error, <u>in direction of error</u>. For example, if output reads 8.8 psi, adjust link so that output reads 6.8 psi.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Loosen <u>index</u> clamp screw and slip set point index on its shaft to midscale. Retighten screw.</li> <li>8. Repeat Steps 1 through 7 until readings are correct for 0, 50, and 100 percent of scale.</li> <li>9. Check calibration of measurement receiver assembly (Step 5, Page 7).</li> </ol> |
|--|---|

Calibration - Measurement RECEIVER Assembly

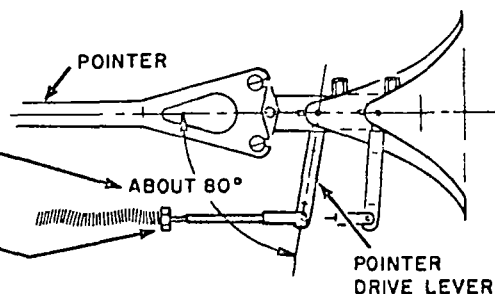
Squaring Up of Linkage for Complete Calibration

If parts have been replaced, or for some other reason a complete recalibration is necessary, square up the linkage before the actual calibration.

1. With calibrating equipment set up as shown on Page 7, turn set point knob so that manometer reading is 9 psi. (If transmitter assembly is in calibration, set point index will be at midscale.)
2. Rotate span adjustment screw so that about 4 turns of spring are visible between upright support and spring spacer.
3. Rotate zero adjustment screw so that moving plate and upright support are parallel (about 1 1/4 inches apart).



4. Loosen pointer clamp screw and slip pointer on its shaft so that angle between pointer and pointer drive lever is about 80°. Retighten clamp screw.



5. Adjust length of link to move pointer to midscale.

Calibration Procedure

When viewing zero and span adjustments as shown in illustration, turn adjustments clockwise to INCREASE pointer readings.

If controller is equipped with optional recorder, it is recommended that recorder link be disconnected before calibrating (see Instruction 17-475 for recorder details).

1. With calibrating equipment set up as shown on Page 7, turn set point knob so that manometer reading is 3 psi.
2. Use zero adjustment to set measurement pointer at 0% of scale.
3. Turn set point knob so that manometer reading is 15 psi.
4. Use span adjustment to set measurement pointer at 100% of scale.
5. Repeat Steps 1 through 4 until pointer reads correctly when 3 and 15 psi are applied to element.
6. Turn set point knob so that manometer reading is 9 psi. If measurement pointer does not read 50% of scale, adjust length of link as follows: Adjust length to move pointer 10 times amount of error in direction of error. For example, if pointer is at 49% of scale, adjust link so that pointer moves to 39% of scale.
7. Loosen pointer clamp screw and slip measurement pointer on its shaft to midscale. Retighten clamp screw.
8. Repeat Steps 1 through 7 until measurement pointer reads correctly when 3, 9, and 15 psi are applied to element.

### Adjustment of Stops

Illustrated is receiver assembly; transmitter assembly is similar.

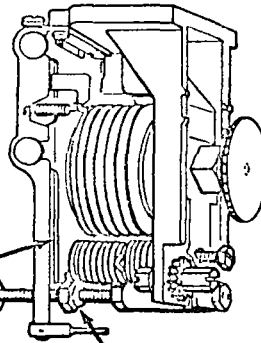
#### High-Limit Stop Adjustment

1. Receiver Assembly  
Apply 15 psi (or 1.0 kg per sq cm) to receiver element.

#### Transmitter Assembly

Turn set point knob so that set point index is at 100% of scale.

2. Rotate high-limit stop until it just touches moving plate, then back off 1/4 turn.



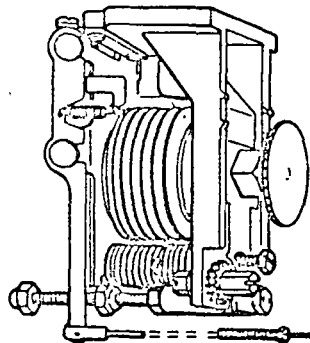
High-Limit Stop

Low-Limit Stop (on transmitter assembly only)

#### Low-Limit Stop Adjustment (transmitter assembly only)

1. Turn set point knob so that set point index is at 0% of scale.
2. Rotate low-limit stop until it just touches moving plate, then back off 1/4 turn.

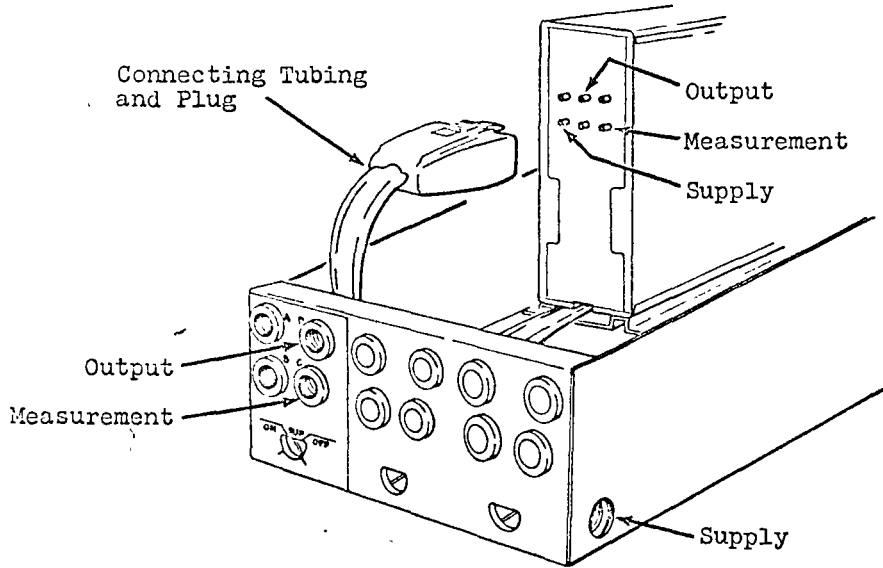
### Damping Adjustment (Receiver Assemblies Only)



To adjust, remove all damping by turning screw fully counter-clockwise. Then slowly turn screw clockwise until pulsations of pointer are barely visible. Use minimum amount of damping.

Pneumatic Connection Identifications

The illustration below relates the user connections at the rear of the shelf and the corresponding tubing connections at the rear of the instrument.



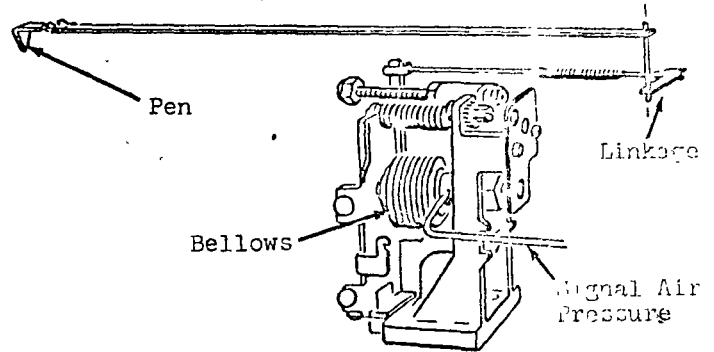


— CALIBRATION OF RECEIVER ELEMENTS —  
MODEL 53 OR 54 CONSOTROL RECEIVER

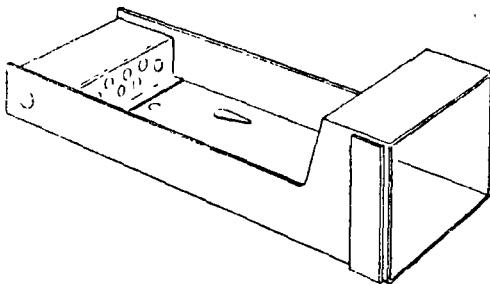
Principle of Operation

An air signal proportional to a measurement is sent to the bellows in a receiver element. The bellows expands and contracts in proportion to the pressure, and this motion is transferred by a linkage to a pen or pointer.

Receiver elements can be calibrated either to the English (3 to 15 psi) or to the metric (0.2 to 1.0 kg per sq cm) signal pressure range. The two ranges are not exactly equivalent; therefore the entire system must be calibrated to the same units.



Model 54 Calibration Fixture

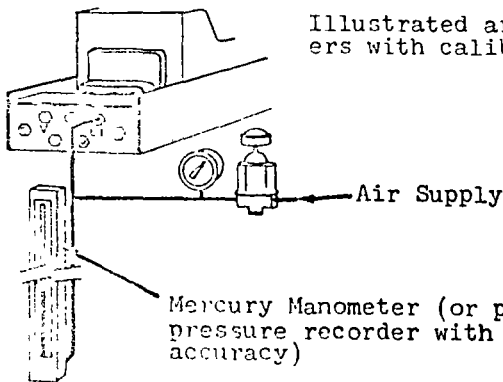


If a Model 54 instrument has been removed from its housing, use a calibration fixture (Part U-197-EP, obtainable from The Foxboro Company) for the piping connections. This fixture is a housing with the top cut away to give access to the instrument adjustments. Plug instrument into fixture and make air connections at rear of fixture in usual manner. An alternative to using the fixture is to attach flexible tubing to the jack plugs. CAUTION: Do not remove jack plugs.

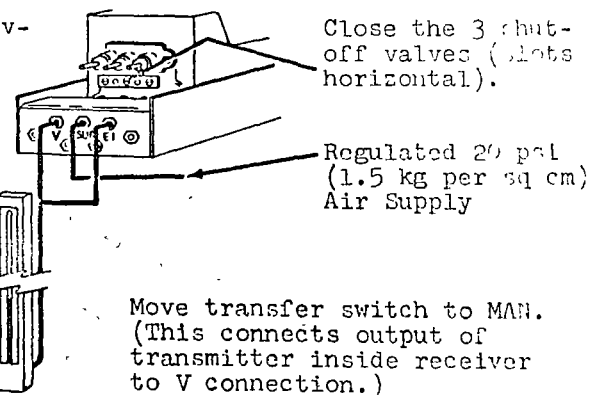
Calibration Setup

(For Receiver with Set Point Indicator see Page 2.)

Recorder or Indicator



Receiver with Set Point Transmitter



Illustrated are Model 54 receivers with calibration fixtures.

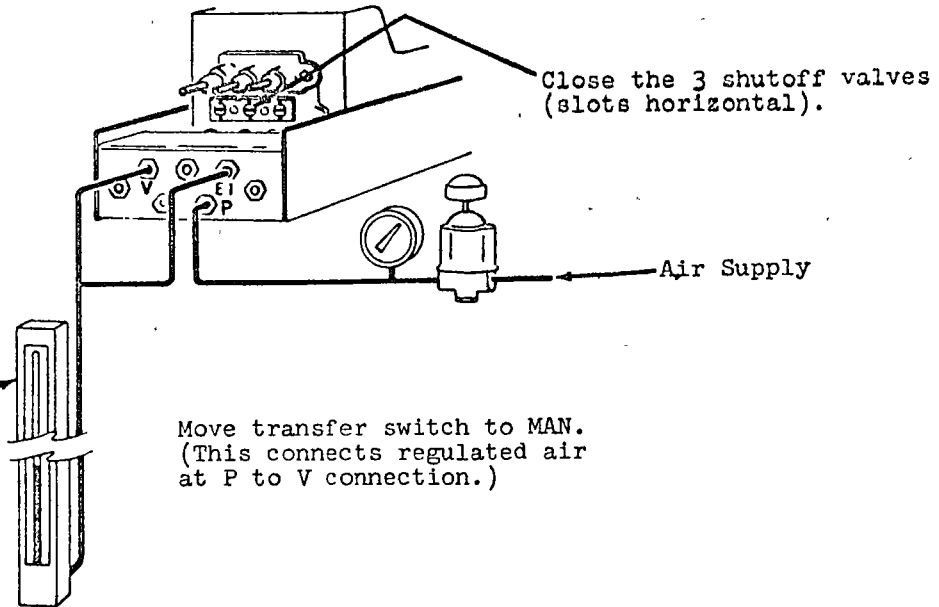
Close the 3 shut-off valves (dots horizontal).

Calibration Setup (continued)

Receiver with Set Point Indicator

Illustrated is Model 54 Receiver with calibration fixture.

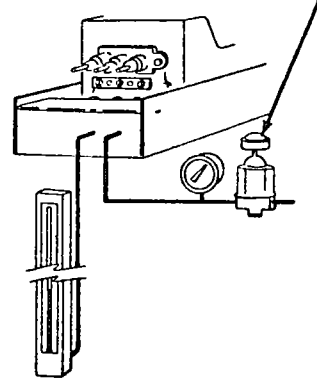
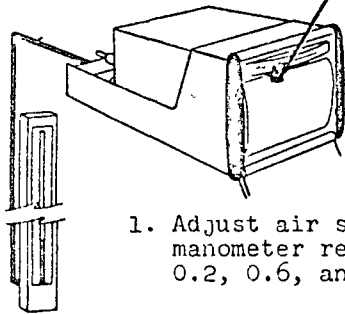
Mercury Manometer  
(or portable pressure recorder with 1/2% accuracy)



Calibration Check

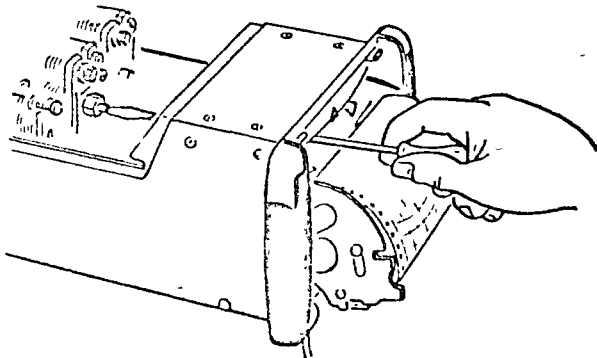
For instruments with set point transmitter, move setting index to adjust air pressure.

For other instruments, use regulator to adjust air pressure.



1. Adjust air supply at element so that manometer reads 3, 9, and 15 psi (or 0.2, 0.6, and 1.0 kg per sq cm).
2. Reading of pen (or indicator) should be 0; 50, and 100% of scale for corresponding inputs. If readings are not within desired accuracy, calibrate receiver element as outlined below.
3. Repeat Steps 1 and 2 for each receiver element.

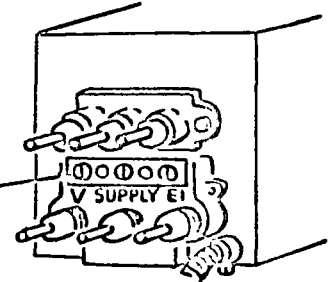
Access to Calibration Adjustments



Most calibration adjustments are accessible from front of instrument. By raising pen lifter and swinging chart drive all the way forward, a 10" shank screwdriver with a 1/4" tip can turn the adjustment screws.

Calibration Procedure (continued)

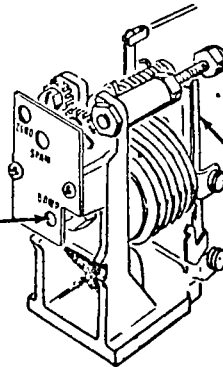
9. If receiver is used with controller, calibrate all elements, including set point transmitter or set point indicator (see Instruction 17-148) at the same time. With the same air pressure, measurement pens and valve pressure indicator must line up with setting index.
10. Disconnect calibration piping and reconnect original piping. If receiver has shut-off valves, open them (screw slots vertical).



Damping Adjustment

It may be desirable to adjust DAMP screw before putting instrument into operation. Adjust as follows:

Remove damping by turning screw counterclockwise until all threads disengage. Slowly turn screw clockwise until pulsations are barely visible. Use minimum amount of damping.



High Limit Stop Adjustment

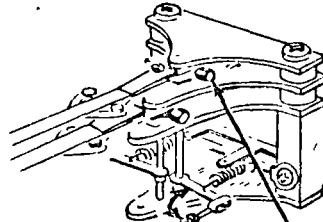
1. Apply 15 psi (or 1.0 kg per sq cm) to receiver element.
2. Rotate stop adjustment nut so that it just touches moving plate. Then back off 1/4 turn.

Moving Plate

Squaring Up of Linkage for Complete Calibration

If parts have been replaced, or for some other reason a complete recalibration is necessary, square up the linkage before the actual calibration.

1. Apply 9 psi to element.
2. Rotate SPAN adjustment screw so that 4 turns of spring are visible between upright support and spring spacer.
3. Rotate ZERO adjustment screw so that moving plate and upright support are parallel (about 1 1/4 inches apart).

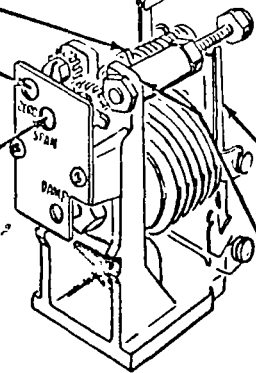


4. Adjust the length of link so that there is a right angle between pen lever and link.
5. Loosen clamp screw and slip pen on its shaft to midscale. Retighten clamp screw.

Span Adjustment

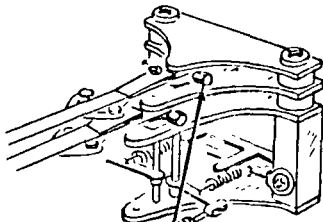
Moving Plate

Upright Support



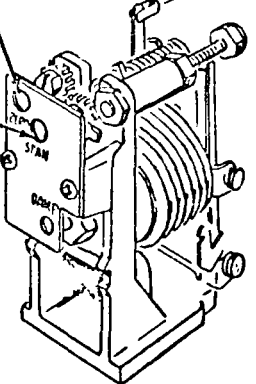
Calibration Procedure

1. Apply 3 psi to element.
2. Use ZERO adjustment to set pen at 0% of scale.
3. Apply 15 psi to element.
4. Use SPAN adjustment to set pen at 100% of scale.
5. Repeat Steps 1 through 4 until pen reads correctly when 3 and 15 psi are applied.



Steps 9 and 10 of the calibration procedure are on Page 4.

6. Apply 9 psi to element. If pen does not read 50% of scale, adjust length of link as follows: Change length to move pen 5 times amount of error, in direction of error. For example, if pen is at 49% of scale, adjust link so that pen moves to 44% of scale.
7. Loosen clamp screw and slip pen to midscale. Retighten clamp screw.
8. Repeat Steps 1 through 7 until pen reads correctly when 3, 9, and 15 psi are applied to element.



# CONTROL-DE CICLO DIGESTOR No. 1

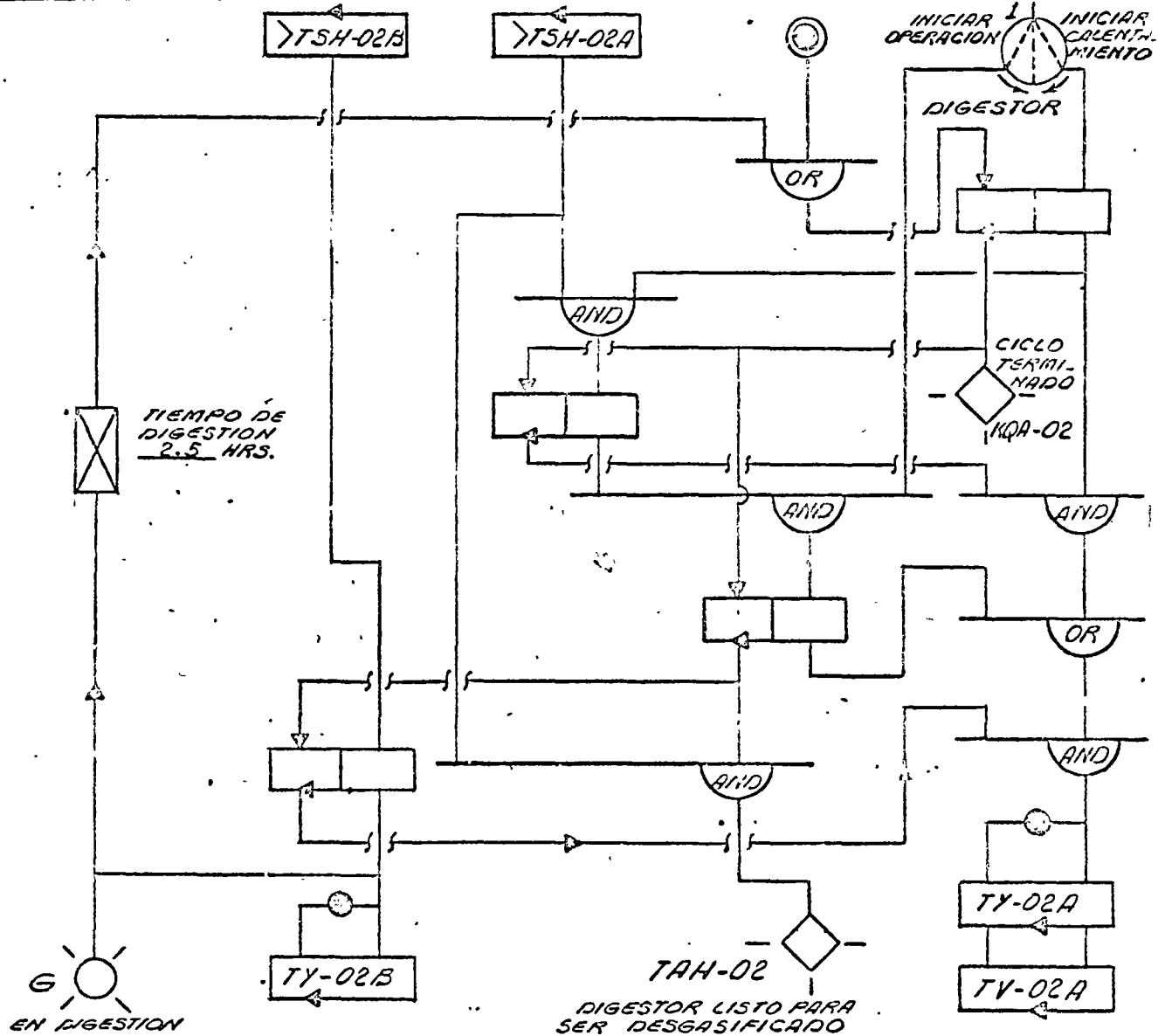
INDUSTRIAL

DIAGRAMA  
LOGICO No. 1

HOJA No

1/9

	DETECTOR DE TEMPERATURA SUFICIENTE PARA INICIAR CTA. DE TIEMPO DE DIGEST.	DETECTOR DE TEMPERATURA SUFICIENTE PARA DESGASIFICAR	PARADA DE EMERGENCIA	SELECTOR INICIAR CALENTAMIENTO, INICIAR OPERACION DIGESTOR
	2	3	4	5
	AJUSTE 160 °C	AJUSTE 150 °C		



1	2	3	4	5
	VALVULA SOLENOIDE ENERGIZADA SUMINISTRA AIRE A CONT. DE TEMP. TRC-02			SOLENOIDE PILDOTO TY-02A Y VALVULA PARA CALENTAMIENTO RAPIDO

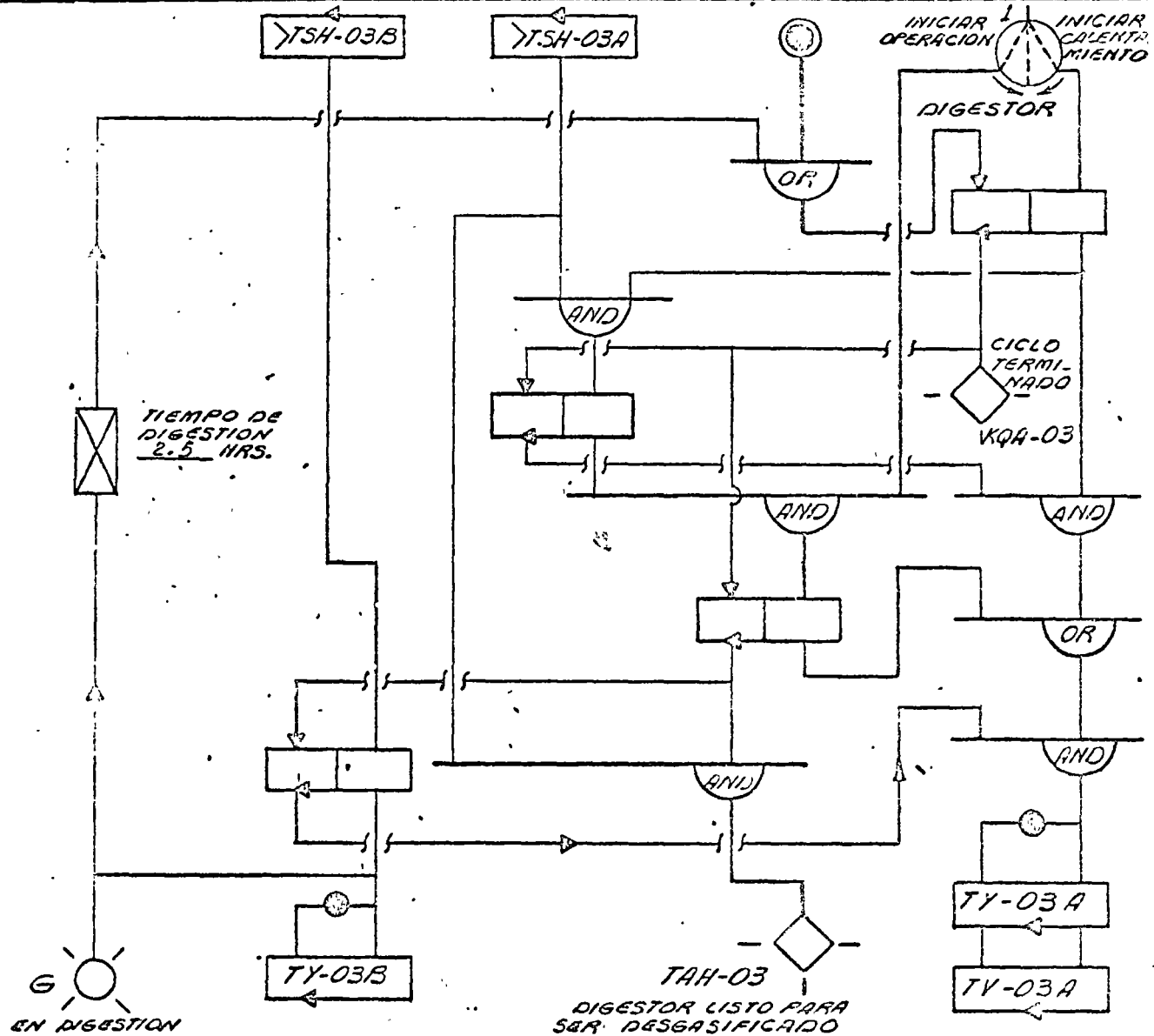
CONTROL DE CICLO  
DIGESTOR No. 2

INDUSTRIAL

DIAGRAMA  
LOGICO No. 2


2/9

	DETECTOR DE TEMPERATURA SUFICIENTE PARA INICIAR CTA. DE TIEMPO DE DIGEST.	DETECTOR DE TEMPERATURA SUFICIENTE PARA DESGASIFICAR	PARADA DE EMERGENCIA	SELECTOR INICIAR CALENTAMIENTO, INICIAR OPERACION DIGESTOR
1	2	3	4	5
	AJUSTE 160 °C	AJUSTE 150 °C		

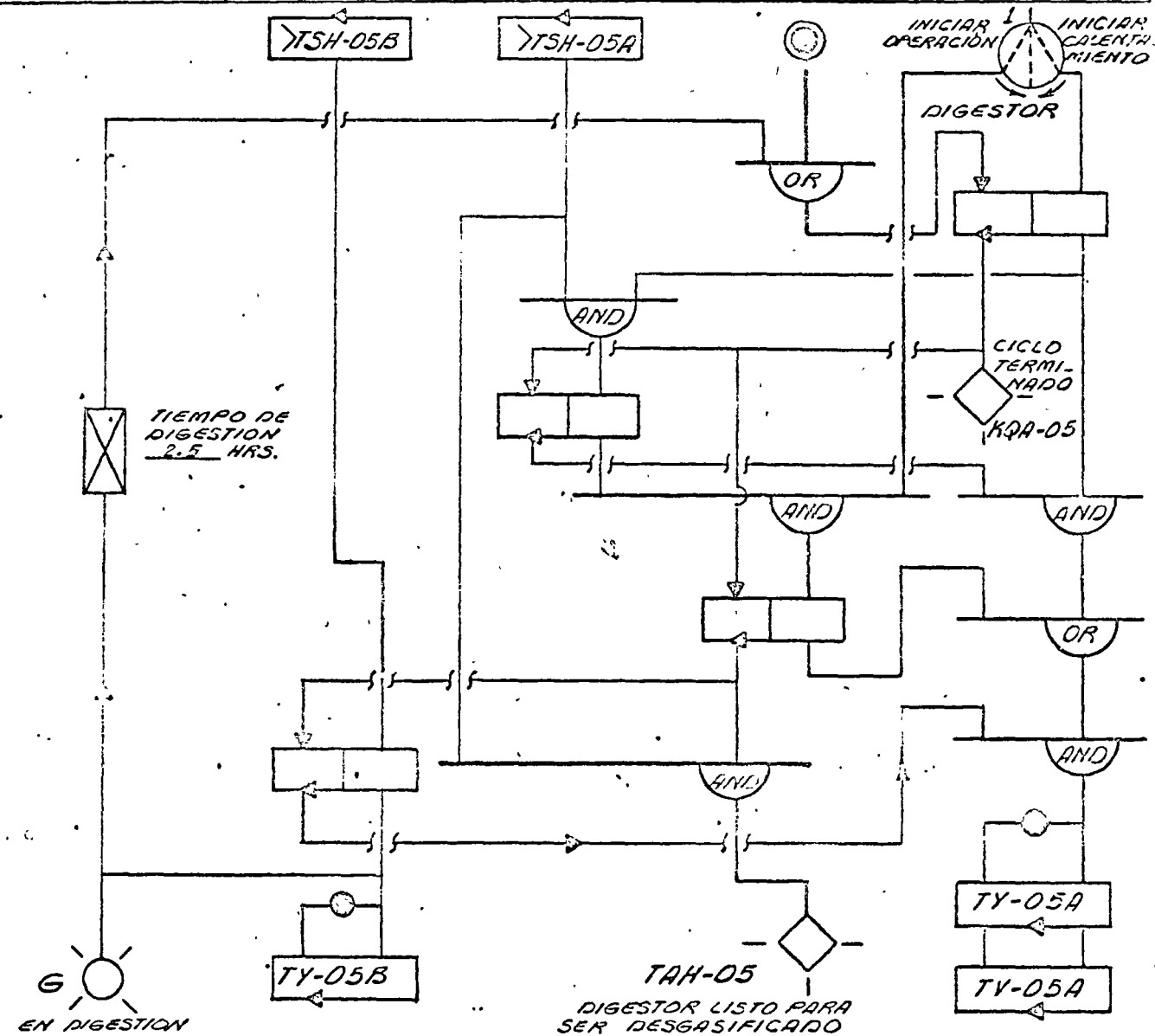


1	2	3	4	5
	VALVULA SOLENOIDE ENERGIZA. DA SUMINISTRA AIRE A CONT. DE TEMP. TRC-03			SOLENOIDE FILOTO TY-03A Y VALVULA PARA CALENTAMIENTO RA. PIDO.



PAPELES PERUANOS DE PUCALLPA S.A.	<b>BUFETE</b>  INDUSTRIAL	PREPARO	CHECO
		DIBUJO	APROBO
<b>CONTROL DE CICLO DIGESTOR No. 4</b>		CALOGA	HOJA No.
		DIAGRAMA LOGICO No. 4	4/9

	DETECTOR DE TEMPERATURA SUFICIENTE PARA INICIAR CTA. DE TIEMPO DE DIGEST.	DETECTOR DE TEMPERATURA SUFICIENTE PARA DESGASIFICAR	PARADA DE EMERGENCIA	SELECTOR INICIAR CALENTAMIENTO, INICIAR OPERACION DIGESTOR
1	2	3	4	5
	AJUSTE 160°C	AJUSTE 150°C		

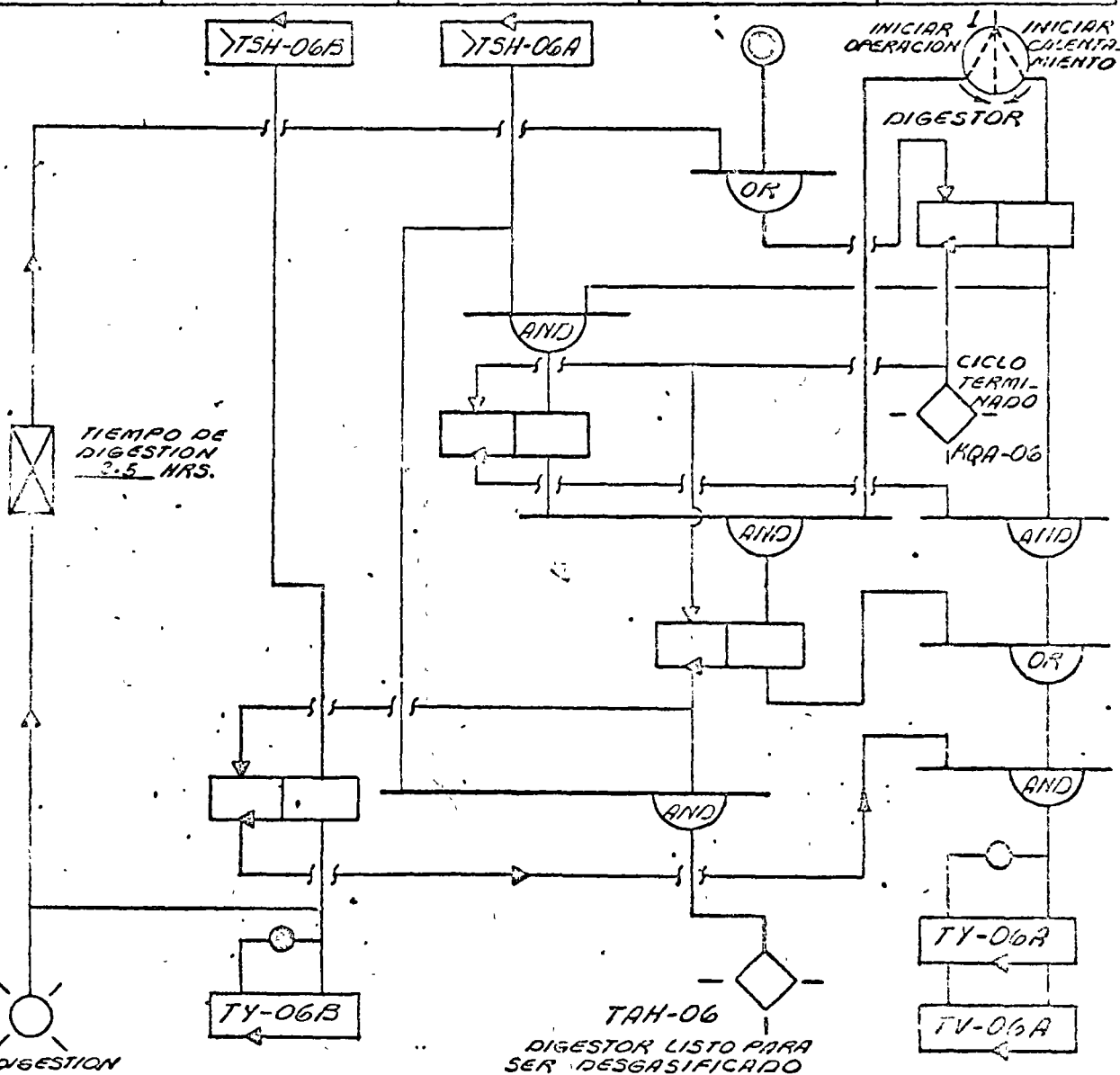


1	2	3	4	5
	VALVULA SOLENOIDE ENERGIDA SUMINISTRA AIRE A CONT. DE TEMP. TAC-05			SOLENOIDE PILOTO TY-05A Y VALVULA PARA CALENTAMIENTO RAPIDO

# CONTROL DE CICLO DIGESTOR No. 5

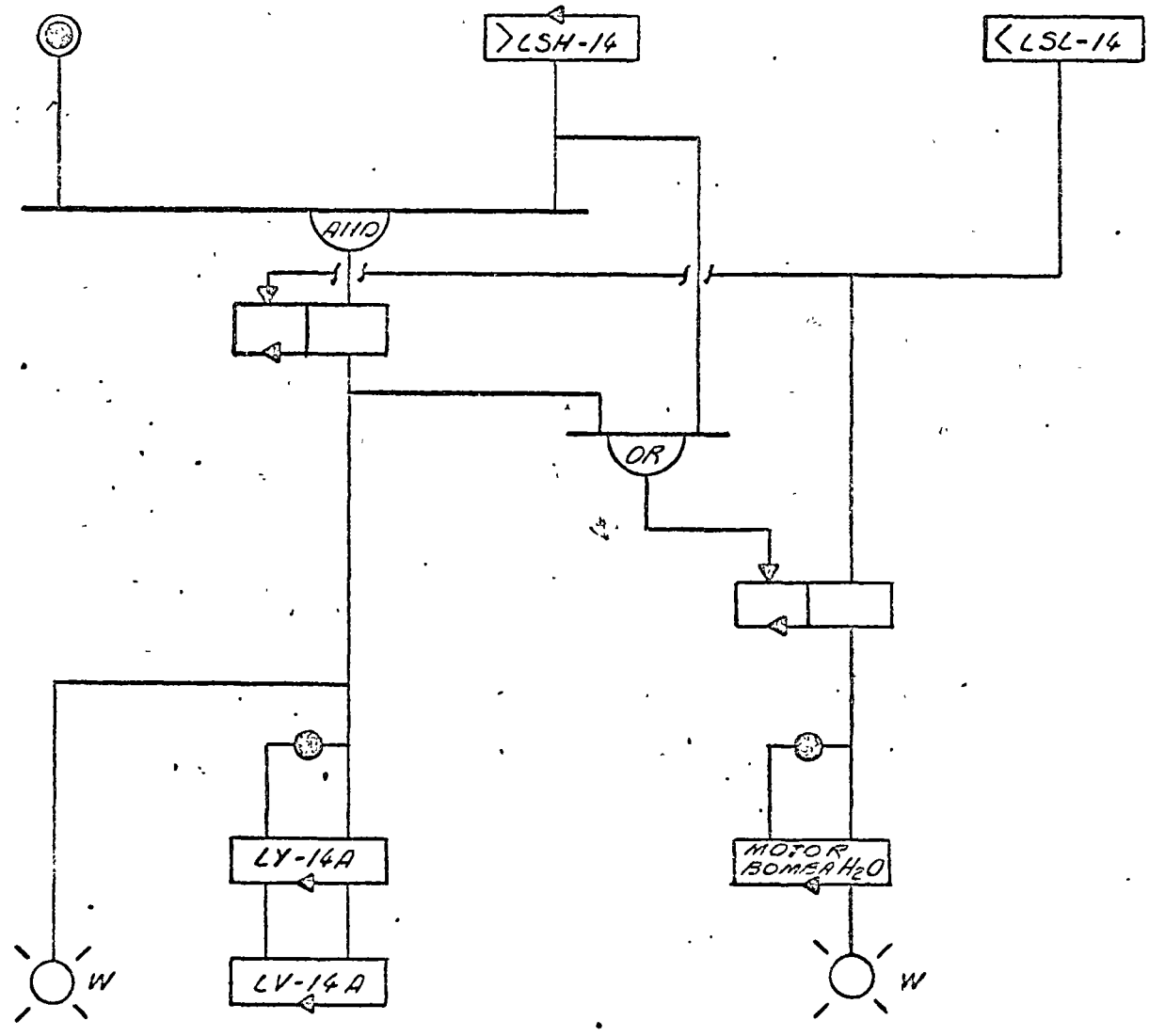
INDUSTRIAL

	DETECTOR DE TEMPERATURA SUFICIENTE PARA INICIAR CTA. DE TIEMPO DE DIGEST.	DETECTOR DE TEMPERATURA SUFICIENTE PARA DESGASIFICAR	PARADA DE EMERGENCIA	SELECTOR INICIAR CALENTAMIENTO, INICIAR OPERACION DIGESTOR
1	2	3	4	5
	AJUSTE 160 °C	AJUSTE 150 °C		



1	2	3	4	5
	VALVULA SOLENOIDE ENERGIZADA SUMINISTRA AIRE A CONT. DE TEMP. TRC-06			SOLENOIDE PILD. TOTY-06A Y VALVULA PARA CALENTAMIENTO RAPIDO

<i>INICIAR DOSIFICACION DE AGUA</i>		<i>NIVEL DE LLENADO ALCANZADO</i>		<i>NIVEL DE VACIADO ALCANZADO</i>
1	2	3	4	5



1	2	3	4	5
<i>DOSIFICANDO AGUA</i>	<i>SOLENOIDE PILOTO Y VALV. DE DESCARGA DE AGUA</i>		<i>SOLENOIDE PILOTO Y VALV. DE LLENADO</i>	<i>LLENANDO TANQUE DOSIFICADOR</i>

280

REVISION ANTERIOR \_\_\_\_\_

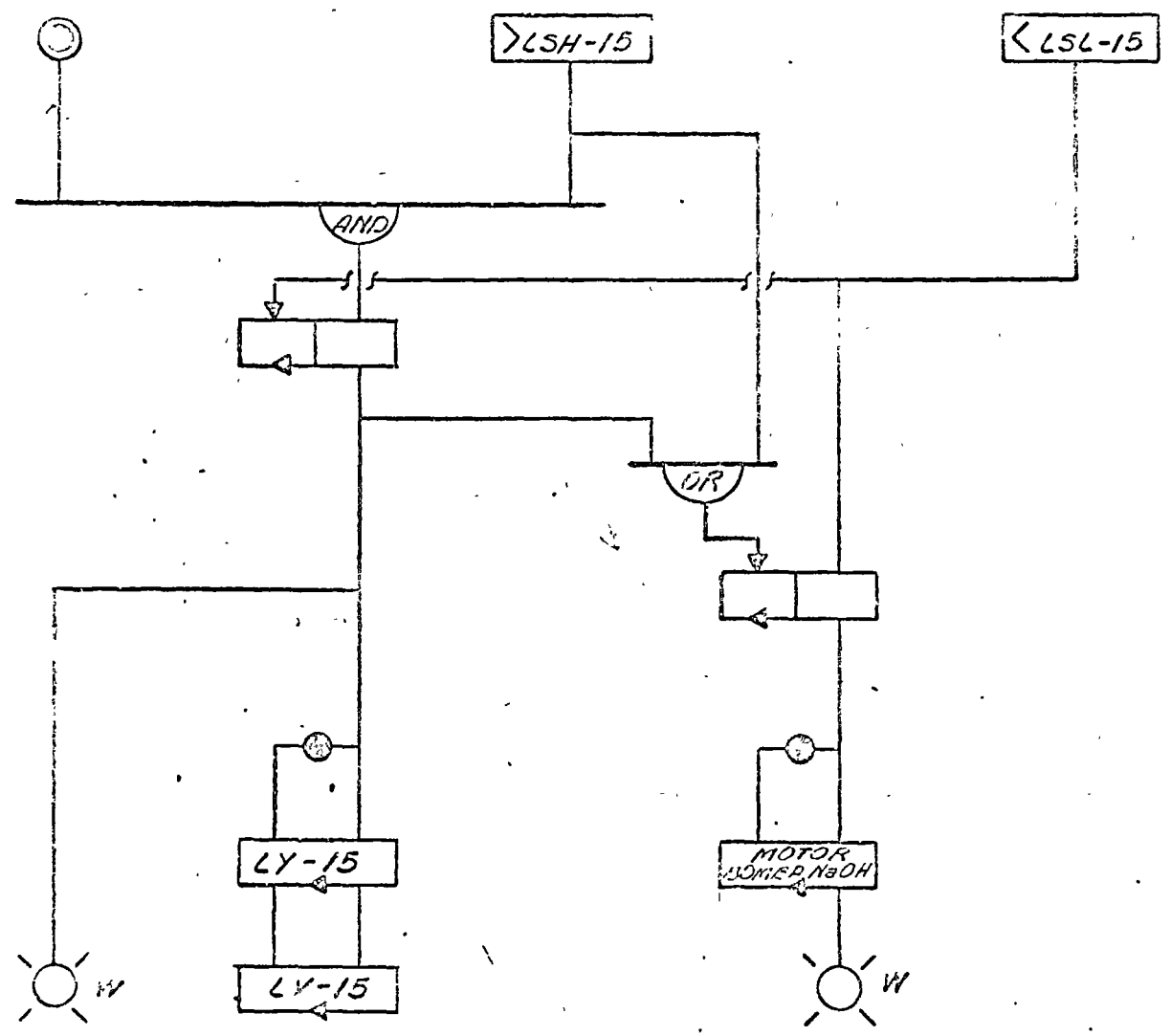
REVISION ACTUAL \_\_\_\_\_

PAPELES PERUANOS DE PUCALLPA S.A.  
 SISTEMA DE DOSIFICACION DE NaOH A DIGESTORES

DIPEETE  
 INDUSTRIAL

FREPARO: NIELO  
 DIBUJO: A. ROCC  
 CALOCA  
 DIAGRAMA LOGICO No. 1  
 HOJA: 1/-

INICIAR DOSIFICACION DE NaOH		NIVEL DE LLENADO ALCANZADO		NIVEL DE VACIADO ALCANZADO
1	2	3	4	5



1	2	3	4	5
DOSIFICANDO NaOH	SOLENOIDE PILOTO Y VALVULA DE DESCARGA DE NaOH		LLENANDO TANQUE DOSIFICADOR	

REVISION ANTERIOR \_\_\_\_\_

REVISION ACTUAL \_\_\_\_\_

MANEJO DE CLORO Y PULPA CAFE

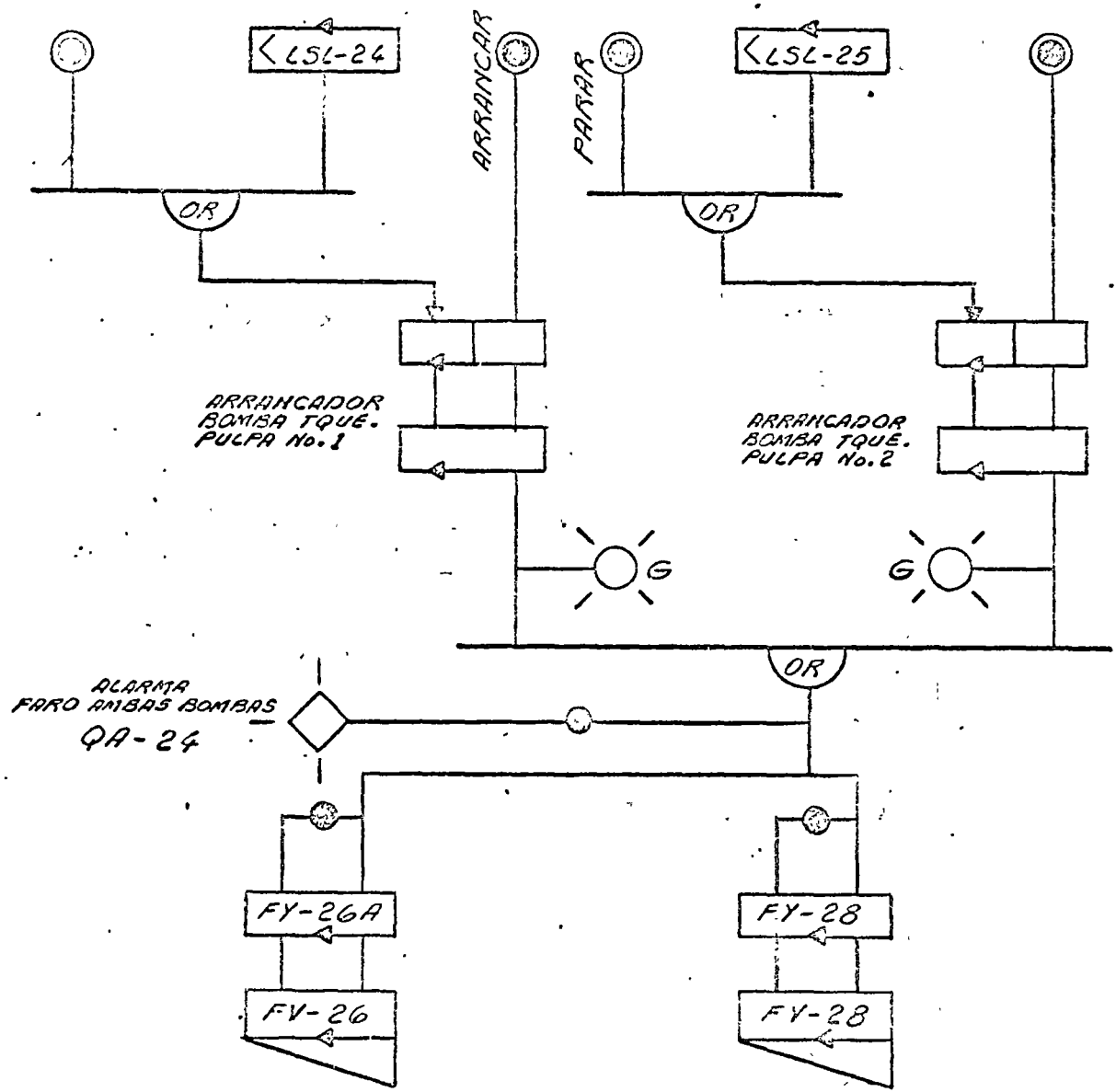
INDUSTRIAL

DIAGRAMA LOGICO No.8


HOJA No

8/9

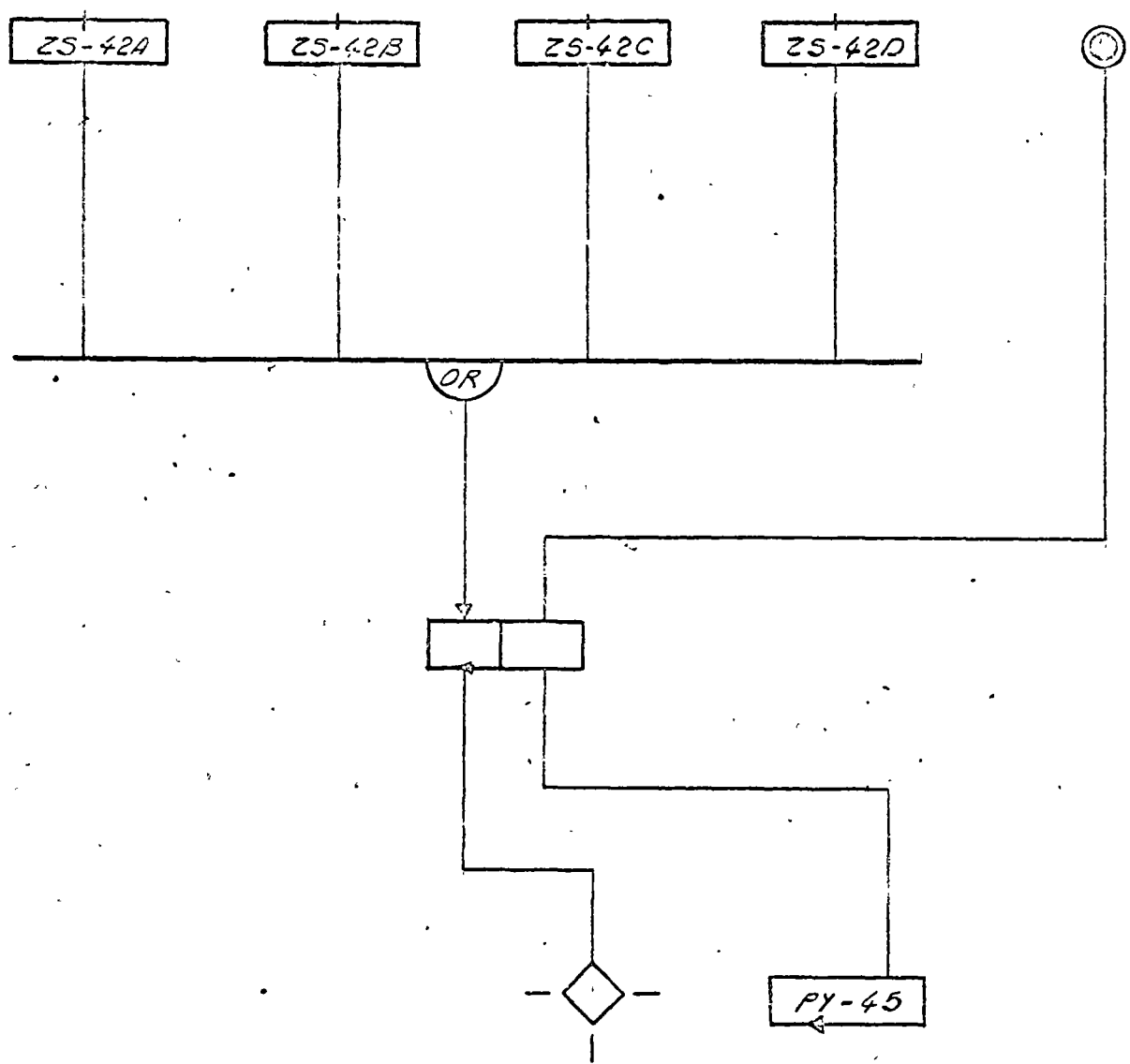
PARAR	BAJO NIVEL EN TANQUE PULPA CAFE No.1	ARRANCAR PARAR	BAJO NIVEL EN TANQUE PULPA CAFE No.2	ARRANCAR
1	2	3	4	5



1	2	3	4	5
	SOLENOIDE PILOTO Y VALV. DE CONT. DE FLUJO DE PULPA CAFE		SOLENOIDE PILOTO Y VALV. DE CONT. DE FLUJO DE CLORO	

PAPELES HERMANOS DE PUCALLPA S.A.	BUFETE  INDUSTRIAL	PREPARO	CHECO
		DIBUJO CALOCA	APROBO
		DIAGRAMA LOGICO No. 9	

DETECTOR DE ROTURA No. 1	DETECTOR DE ROTURA No. 2	DETECTOR DE ROTURA No. 3	DETECTOR DE ROTURA No. 4	RESTABLECER
1	2	3	4	5



1	2	3	4	5
		ZA-42 ALARMA ROTURA DE PAPEL	SOLENOIDE PARA VAPOR A MAQUINA A 30# ó A 5# ENER. GIRADO AJUSTA 30#	







# PNEUMATIC DIFFERENTIAL PRESSURE TRANSMITTER

## 1. GENERAL

a. The Honeywell  $\Delta P/P$  (differential pressure-to-pressure) transmitter (figure 1) works in conjunction with a low-volumetric-displacement meter body to sense differential pressure and convert it into a pneumatic signal by means of a force-balanced beam system. The transmitter can be adjusted to cover ranges of from 0 to 20 inches to 0 to 250 inches of water; the pneumatic output is from 3 to 15 psi, and is proportional to differential pressure. When the range is specified on the order, the transmitter is calibrated at the factory.

b. The output can be transmitted to any suitable pneumatic receiver having a range of 3 to 15 psi for recording, indicating, computing, retransmitting, or controlling the measured variable.

c. Intended primarily for measuring flow, the system can also measure process pressure, specific gravity, or liquid level in open or closed vessels. Where suppression or elevation is required, a suitable compensating spring assembly must be installed. When suppression (or elevation) is specified on the order, the compensating spring is installed and the transmitter is calibrated at the factory.

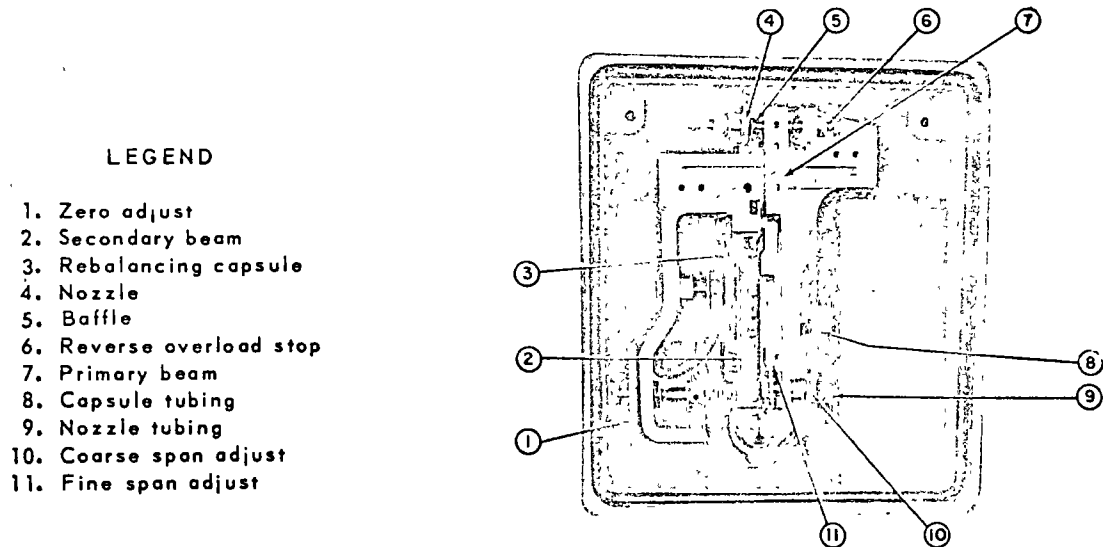


Figure 1.  $\Delta P/P$  Transmitter.

## 2. COMPONENTS

a. **CASE.** The weatherproof, die-cast aluminum case is suitable for either indoor or unsheltered outdoor locations. The cover, of glass-reinforced polyester, is easily removed by releasing two captive screws. A bleed hole in the back of the case makes the transmitter completely self-purging.

## b. INTERNAL COMPONENTS

- (1) The transmitting unit and the meter body (described in a separate section) are connected at a single fitting through which the seal tube and force shaft pass. The transmitter components are mounted on a die-cast aluminum base plate fastened to this meter body fitting. The transmitter case is fastened to the meter body, independently from the components, so stresses in the connecting piping and other forces on the case and cover do not affect accuracy of measurement.
- (2) Major internal components are shown in figure 1. These are: primary and secondary beam assemblies; flapper and nozzle, and rebalancing capsule. The transmitter is factory-set for the differential range specified on the order. This range can be changed in the field by repositioning the span rider on the primary beam assembly and adjusting the fine span screw. A scale on the secondary beam indicates range positions from 0 -- 20" to 0 -- 250" of water. There is also a low-pressure overload limit stop; the nozzle acts as a high-pressure limit stop. All internal tubing connections have serrated gas-type fittings. Standard tubing is neoprene.
- (3) The rebalancing capsule, zero spring, seal tube, and (when supplied) suppression-elevation spring are temperature-stable nickle alloy.
- (4) Zero can be adjusted up to  $\pm 35\%$  of span either externally or internally. The external screwdriver adjustment is conveniently located on the side of the case. Zero adjustment does not affect span calibration, and can not be used in place of elevation or suppression adjustment.

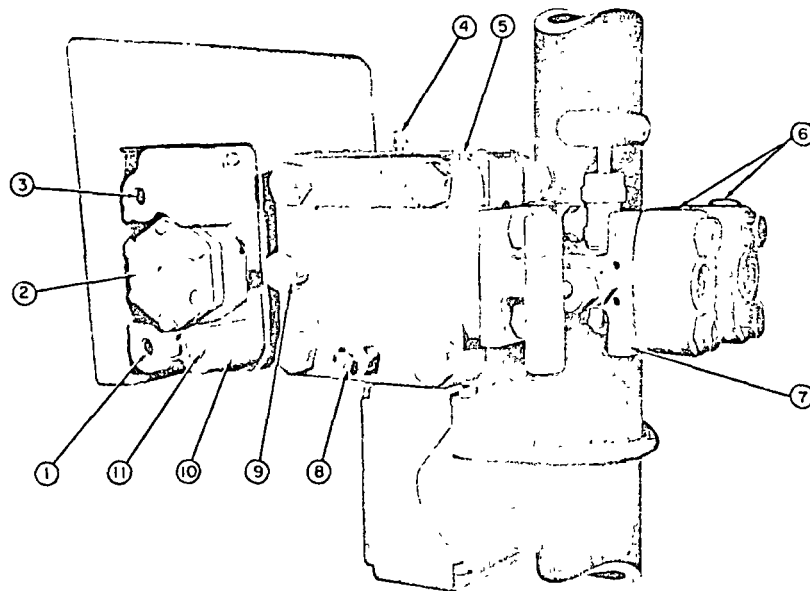


Figure 2. Side view of  $\Delta P/P$  Transmitter.

- | LEGEND                   |                                  |
|--------------------------|----------------------------------|
| 1. Supply air connection | 7. Anderson-Greenwood manifold   |
| 2. Pilot relay           | 8. Vent-drain plug               |
| 3. Output air connection | 9. Purge connection              |
| 4. Damping adjustment    | 10. Manifold                     |
| 5. Meter body            | 11. Filter and restriction screw |
| 6. Flanges               |                                  |

**c. MANIFOLD AND PILOT RELAY**

- (1) These parts are located in a recess on the side of the case, (figure 2). The pneumatic manifold houses a filter and a restriction screw for the pilot relay, and has two 1/4" NPT female taps, identified as S and O on the case, to which supply and output pressure connections are made.
- (2) The pilot relay is the standard unit used in other Honeywell pneumatic transmitters (237 N flow, 637 N temperature, 737 N pressure). It contains a double diaphragm and connecting block assembly, which acts as a 4:1 (approximately) pneumatic amplifier.

**d. OPTIONAL EQUIPMENT**

- (1) For liquid level or specific gravity measurement, if no purge is used, an optional suppression-elevation spring can be used to compensate for differences between the pressures of the reference head and the measured liquid head. The spring is adjusted with a knurled screw, secured with a locknut, and is installed so that it applies tension to the primary beam. The spring can be removed or added in the field.
- (2) An air set accessory consisting of a regulator-filter and a 2-inch gage is available as an option. The gage is calibrated, as specified, from 0 to 30 psi or from 0 to 2.0 kg/cm<sup>2</sup>. The assembly mounts on the rear of the transmitter case and extends to the right. It provides a convenient means for regulating and filtering the supply to individual transmitters located some distance from the main air supply.

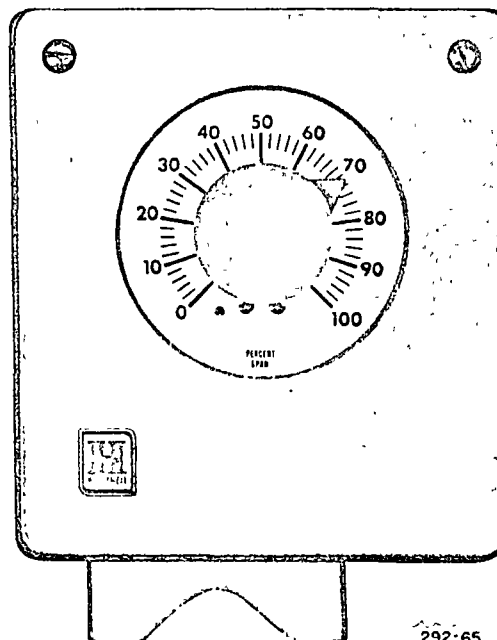


Figure 3. Indicating  $\Delta P/P$  Transmitter.

- (3) An indicating transmitter can be supplied (figure 3). The pressure gage is visible with the cover in place or removed. The instrument shown has a linear scale for use in applications such as liquid level measurement. A 0 to 10 square root scale, for flow applications, is also available.

### 3. SPECIFICATIONS

Differential range	Adjustable from 0-20 to 0-250 inches of water
Output	3 to 15 psi
Supply and output connections	1/4" NPT female taps
Supply air	20 ± 2 psi
Ambient temperature limits	-40°F to +250°F
Frequency response (no damping)	Down less than 3 db to 1 cps; phase shift of less than 45° to 1 cps
Zero setting	Adjustable to ± 35% full scale at all ranges
Suppression or elevation (optional)	Maximum suppression to 250". Sum of span and elevation can be up to maximum range of 250" of water.
Limit of error	± 1/2% of full scale
Zero shift with changes in ambient temperature	± 1% full scale for changes of ± 50°F from 77°F (I. S. A. standard) over complete range (less at ranges above 0-20 H <sub>2</sub> O).
Output shift with changes in static pressure at meter body	± 1/2% full scale per 500-psi change to maximum working pressure of 1500 psig (can be eliminated by zero adjustment)
Vibration resistance	Withstands up to 0.2 g at 60 cps (maximum amplitude 0.03") with negligible shift in output
Hysteresis	Maximum of ± 1/2% full scale
Dead band	0.1% full scale
Drift with fixed input	Not more than ± 0.1% full scale in 24 hours following an 8-hour settling period
Overall dimensions (meter body positioned for top connection)	6-3/4" high, 6-1/8" wide, 7-7/8" deep (add 4-1/8" to width for air set)
Net weight	20 lb (add 3 lb for air set)

# PNEUMATIC DIFFERENTIAL PRESSURE TRANSMITTER LIQUID LEVEL APPLICATIONS

## 1. GENERAL

a. The  $\Delta$  P/P transmitter can be used for measuring liquid level in open or closed tanks. When the transmitter is ordered for an application requiring suppression or elevation of range, a compensating spring assembly is installed and calibrated at the factory.

b. When a transmitter that was originally ordered for flow service is to be used in measuring a liquid level requiring elevation or suppression, the user can install the spring assembly in the field. Since the same spring assembly is used for both suppression and elevation, changing from one type of compensation to the other is merely a matter of reversing the spring and recalibrating (see Installation).

## 2. SUPPRESSION

When the compensating spring assembly is installed for suppression, the adjusting knob is at the left; spring tension applies force to the primary beam in a counterclockwise direction. Maximum suppression is 250" H<sub>2</sub>O.

## 3. ELEVATION

When the compensating spring assembly is installed for elevation the adjusting knob is at the right; spring tension applies force to the primary beam in a clockwise direction. Sum of range and elevation must not exceed 250" H<sub>2</sub>O.

**1. PURPOSE**

a. The low-displacement meter body (figure 1) can be combined with either an integrally mounted  $\Delta P/P$  (pneumatic) or  $\Delta P/I$  (electric) transmitting unit. A system can be converted from one type to the other by replacing only the transmitting unit.

b. When connected to a suitable primary element, such as an orifice plate, the meter body senses differential pressure from 0 to 250" of water. Differential pressure is converted by the transmitter into a proportional pneumatic (3 to 15 psi) or electrical (4 to 20 ma dc) output. The range of differential measurement can be adjusted at the transmitter to any value between 0 to 20" and 0 to 250" of water. A receiver or controller capable of translating the output of the transmitter in terms of the measured variable completes the system.

**2. USE**

a. Variations in this system can be used to measure flow, specific gravity, liquid level in open or closed vessels, or process pressure.

NOTE: An optional compensating spring must be installed on the pneumatic transmitter for applications requiring elevation or suppression of range.

b. The operating parts of the meter body are never touched by the process fluid, eliminating the need for seal pots in many applications.

c. The volumetric displacement of the meter body is less than 0.1 cubic inch for a full scale differential of 250", and is correspondingly smaller for lower differentials. As a result, there is so little liquid displacement in the connecting piping, that steam flow installations can often be made without condensers, and liquid level installations without level pots.

d. The liquid in the meter body pressure chambers is relatively motionless; even when differential pressure changes rapidly, no pumping action occurs to introduce suspended matter (like coke or tar) into the connecting piping and pressure chambers. Sediment chambers are seldom needed; lines need be blown down infrequently.

**3. METER BODY COMPONENTS**

a. **GENERAL.** The meter body has three major components, a center section containing the sensing element and associated parts, and two end covers which form the high and low pressure chambers.

**b. PRESSURE CHAMBERS**

- (1) Pressure chambers can be bolted to the center section in any of three positions to make process connections from the top, bottom, or rear. Process connections are located on 2-1/8" centers for direct

**4. SPECIFICATIONS**

Differential range	0-20" to 0-250" of water
Maximum working pressure	1500 psig
Temperature limits (process fluid at meter body)	-40 to +250°F (with standard silicone fluid fill)
Overload protection	To 1500 psig in either direction
Pulsation damping	Adjustable; cannot be completely closed, preventing accidental shutoff
Process connections	1/2" NPT on 2-1/8" centers
Pressure chambers	Carbon steel, type 316 stainless steel, or Monel as specified
Diaphragms	Type 316 stainless steel, standard (other materials available)
Bellows	Phosphor bronze
Seal tube	Temperature-stable nickel alloy minimizes effect of ambient temperature changes on cali- bration



## 1. GENERAL

a. The differential pressure meter measures the rate of flow of fluid (liquid, gas, or vapor) through a line by measuring the pressure drop across a restriction in the line and comparing the two readings. When a restriction is introduced into a flow line, pressure increases slightly upstream of the restriction, decreases downstream (figure 1). The rate of flow is proportional to the square root of the difference between the two pressures.

b. The restriction in the flow line is the primary element. The most commonly used restriction is an orifice plate; Venturi tubes and flow nozzles are also used.

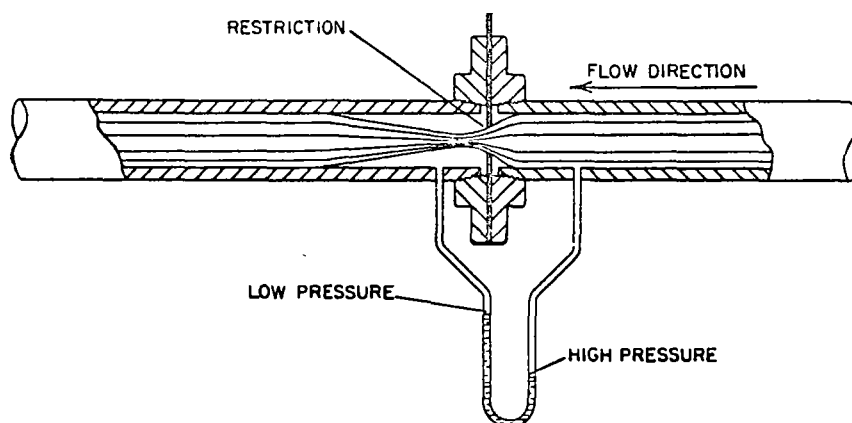


Figure 1. Schematic diagram of restriction in flow pipe.

## 2. METER BODY

a. High and low process pressures (HP and LP) are transferred by barrier diaphragms to the silicone fill in the center section of the meter body (figure 2a). HP fill acts on the inside and LP fill acts on the outside of the measuring element. At balance (during periods of no flow) the pressures on both sides of the bellows are equal.

b. With flow, as force applied by the HP fill increases and that applied by LP fill decreases, the measuring element deflects to the left, and HP fill flows through the damping restriction. The measuring element exerts torque on the force shaft through connecting linkage. The transmitting unit senses the torque.

## 3. PNEUMATIC TRANSMITTER (FIGURE 2)

a. The force shaft from the meter body is connected to the beam system of the transmitter. When the differential pressure increases, minute rotation of the primary beam carries the flapper toward the nozzle. The resulting increase in nozzle back-pressure, amplified by the pilot relay, increases the output pressure. Simultaneously, this increased output is applied to the rebalancing capsule which acts on the secondary beam. The force exerted by the secondary beam on the primary beam through the span rider rebalances the system. Output is changed by a net amount proportional to the change in differential pressure.

b. When the optional suppression or elevation spring is installed, zero must be adjusted to apply the required equalizing force to the primary beam.

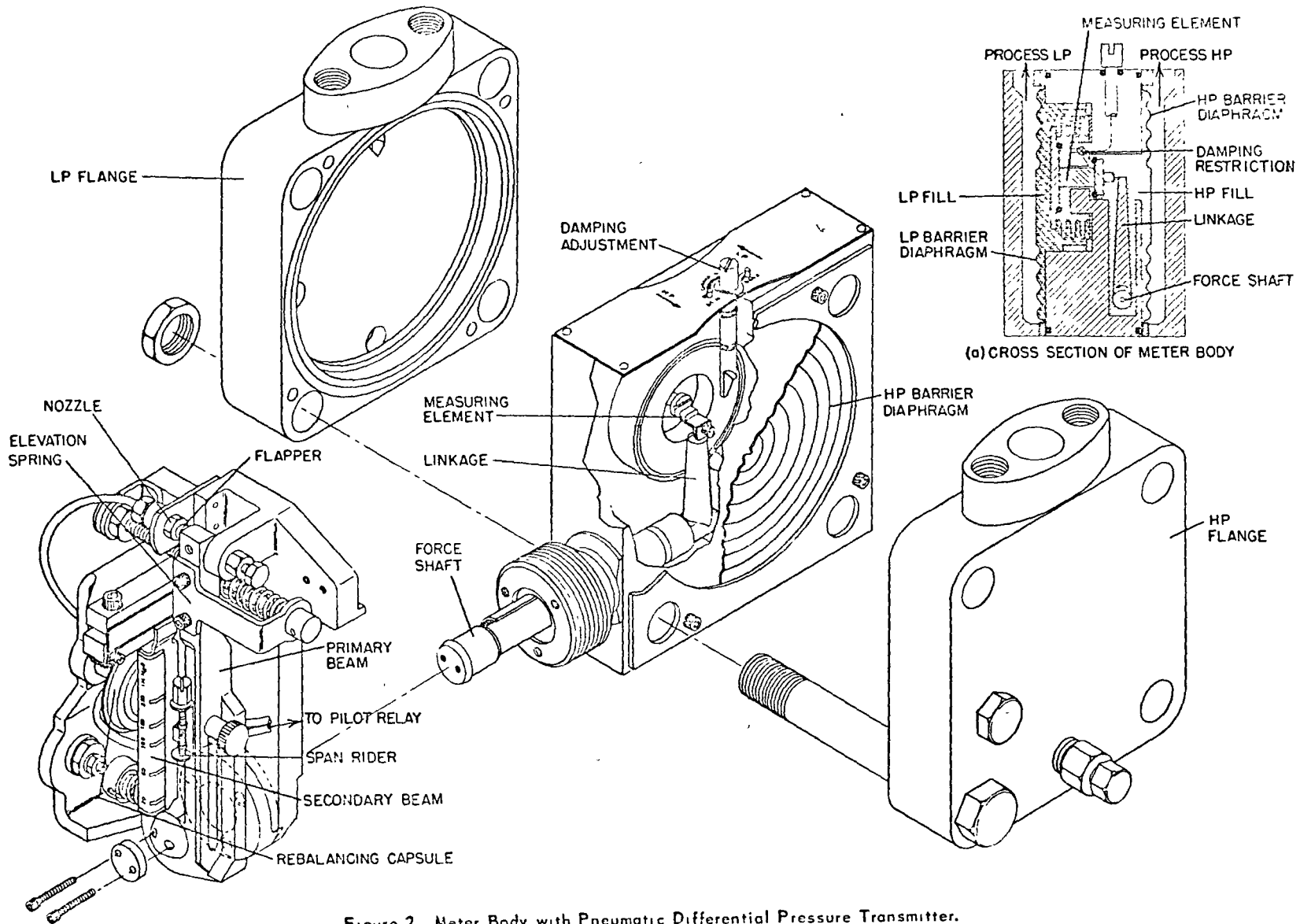


Figure 2. Meter Body with Pneumatic Differential Pressure Transmitter.  
 Insert (A) shows cross-section of Meter Body.

# PRINCIPLE OF OPERATION OF THE AIR-O-LINE CONTROLLER

## DESCRIPTION

The Brown *Air-O-Line* controller, shown schematically in Figure 1499-1, is composed of three main assembly units: the set point index setting mechanism, the *Air-O-Line* control unit, and a non-bleed pilot relay.

## OPERATION

The *Air-O-Line* controller develops an output pressure, within the range of 3 to 15 psi, which is proportional to the relationship between the set point and the process variable. This pressure is regulated by a nozzle-flapper combination differentially linked to the set point index and the instrument pen or pointer. Changes in their relative position move the flapper, which changes the nozzle back pressure. The pilot relay amplifies the back pressure, changing the controlled air pressure to the final control element.

The output pressure is fed back to a follow-up bellows to stabilize the flapper in the position which is proportional to the amount of deviation of the variable. Automatic reset, produced by a second bellows, further modifies this action so that positioning of the final control element also compensates for load changes.

### Proportional Position Action

When a change in the measured variable changes the position of the pen or pointer, this movement actuates the differential lever. The center of this differential lever is connected by a removable link to the flapper actuating lever on the *Air-O-Line* unit. Consequently, a change in the controlled variable is converted into a rotation of the flapper actuating lever. The rotation of the flapper actuating lever positions the flapper on the nozzle of the *Air-O-Line* unit.

The resultant change in nozzle back pressure is transmitted to the larger bellows in the pilot relay. The controlled air pressure is applied to the smaller bellows in the pilot relay. When the forces on both bellows are balanced, the pilot relay flapper covers both the supply and exhaust ports.

With an increase in nozzle back pressure, the larger bellows moves forward, carrying the exhaust nozzle against the pilot relay flapper and thus closing the exhaust port and opening the supply port. The

opposite action takes place when back pressure is decreased.

Any change of pressure in the pilot relay is immediately transmitted to the follow-up bellows in the *Air-O-Line* unit and through the liquid to the inner bellows. These bellows are rigidly connected by a rod. The resulting horizontal movement of the rod is transmitted through the adjustable lever system to the flapper, and moves the flapper in a direction opposite to the movement originally caused by the rotation of the flapper actuating lever.

The ratio of the movement of the connecting rod to the movement of the flapper is determined by the proportional band setting. Thus, air pressure to the pilot relay is stabilized at a value proportional to the deviation of the pen or pointer from the set point.

The proportional action described produces a definite position of the final control element for every deviation of the pen or pointer from the set point. The pen or pointer, however, would have to remain away from the set point in order to maintain a new pressure on the final control element.

### Automatic Reset Action

Automatic reset causes a new controlled air pressure in addition to that produced by proportional action. In effect, reset action shifts the proportional band to bring the controlled variable (and, therefore, the pen or pointer) to the set point. Thus, when the pen or pointer returns to the set point, the final control element assumes a new position.

The liquid fills between the large and small bellows in each half of the *Air-O-Line* unit are connected by a passage in which there is an adjustable needle valve. The two small inner bellows are spring-loaded and will return to their normal position when the liquid pressures in the two bellows assemblies have been equalized by a flow of liquid between them. As these pressures are equalized and the connecting rod moves toward its normal position, the position of the flapper is again changed with respect to the nozzle. This change produces a further change in the controlled air pressure in the same direction as the initial change, and in turn a further flow of liquid through the needle valve. The effect of the original proportional action, therefore, is repeated at a rate determined by the needle valve setting (automatic reset dial).

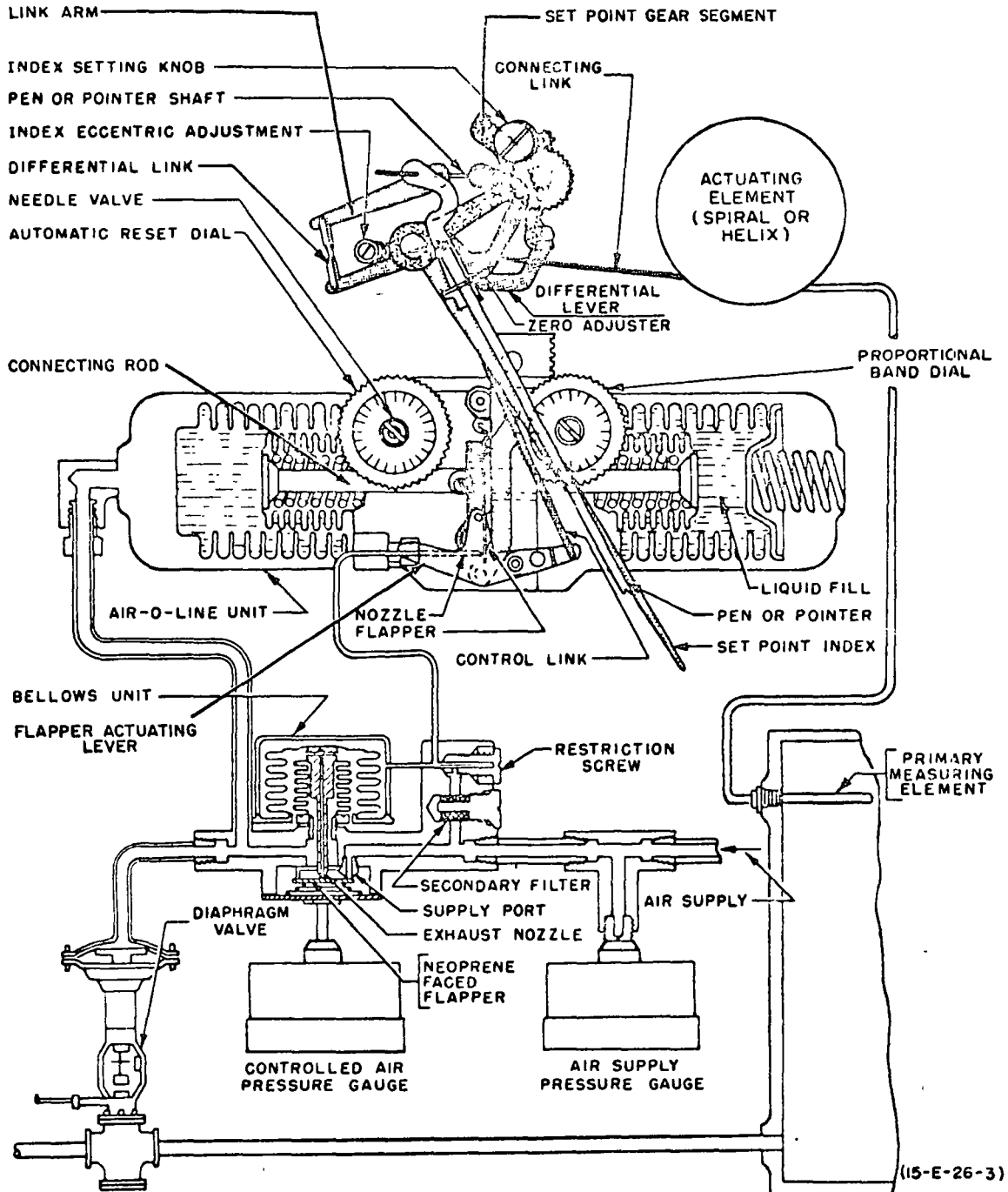


Figure 1499-1  
**SCHEMATIC VIEW, AIR-O-LINE CONTROLLER  
 FOR THERMOMETER OR PRESSURE GAGE**

This cumulative action continues as long as the pen or pointer deviates from the set point index.

**Net Effect of Proportional Plus Reset Actions**

The result of proportional plus reset actions is to

return the instrument pen or pointer to the index, and to increase or decrease controlled air pressure to the final control element to correct for both the amount and the length of time the controlled variable has deviated from the set point.

INSTRUCTION NO. A1162-3  
INTEGRAL ORIFICE ASSEMBLY  
FOR SERIES 608 D/P TRANSMITTER

1. General (See Figure 1)

The Model 608 Pneumatic Differential-Pressure Transmitter with integral orifice measures flow differential-pressure and transmits it as a proportional 3-15 psi pneumatic signal. It may be installed in the process line; a suitable bypass with cutoff valves should be used to allow instrument servicing without disrupting the process.

The downstream pressure is measured by a tap having an integral connection to the low side of the transmitter. The upstream pressure is measured by having the flow run through the high side of the transmitter. The resulting differential pressure is proportional to the square of the flow rate; output of the square root version is proportional to flow.

The orifice assembly may be moved to the opposite side of the transmitter to reverse flow through the instrument, but flow always runs through the high side.

Refer to Instruction No. A1162 covering the Model 608MA for specifications and theory of operation.

2. Installation (See Dimension Drawing, Figure 2)

The transmitter with integral orifice may be mounted either vertically or horizontally; the square root version (Model 608M2A) must be mounted vertically. Pressure connections are shown in the Dimension Drawing.

NOTE: A reasonable degree of cleanliness is required of the process fluid to preclude the possibility of plugging the orifice.

Carefully check the O-rings shown in Figure 1 following any disassembly and replace if damaged or distorted.

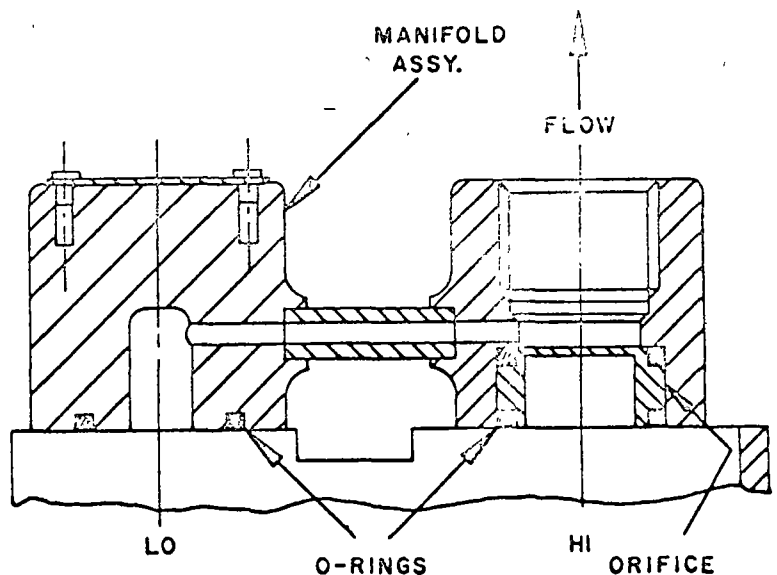


FIGURE 1. INTEGRAL ORIFICE ASSEMBLY

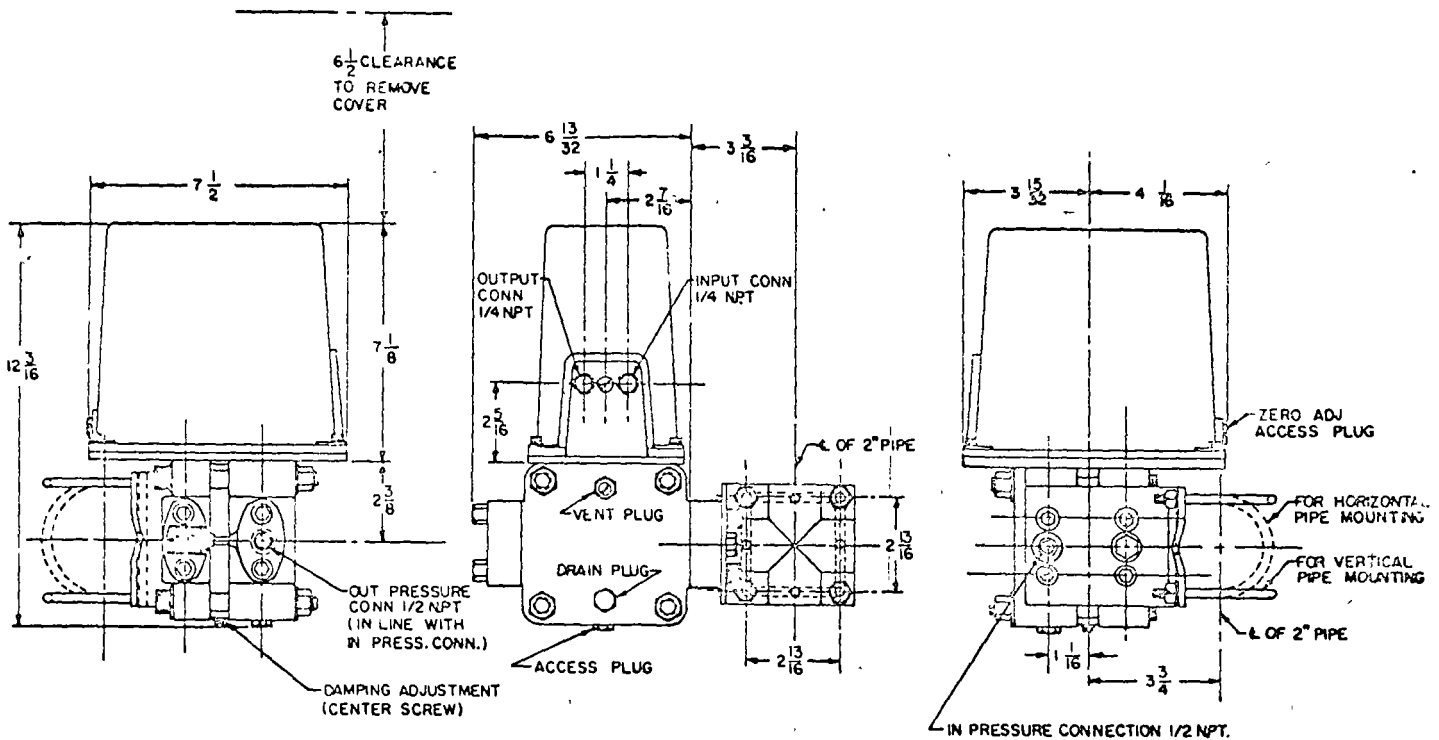


FIGURE 2. OVERALL DIMENSIONS

### 3. Flow Characteristics (See Fig. 3)

The relationship between flow and differential pressure for any standard orifice may be determined by drawing a straight line across the nomograph from the orifice point to the differential pressure and reading flow at the point of intersection on the center scale.

For Example: At 100" H<sub>2</sub>O D/P, flow through a 0.090" orifice would be approximately 0.40 gal./min. (water) or 1.57 SCFM (air). Therefore, a transmitter calibrated for a 0-100" H<sub>2</sub>O D/P range with a 0.090" bore orifice would be useful over a flow range of 0.08 gal/min. (20% flow) to 0.40 gal./min. (100% range).

All flows must be converted to equivalent values for water or air at standard conditions by using the following formula (without regard to viscosity effects):

- a. water - equivalent flow in gal./min. =  $V\sqrt{G}$   
 $V$  = required process liquid flow in gal./min.  
 $G$  = specific gravity of process liquid at operating conditions.

Using the water-equivalent flow and the nomograph, the required orifice size and calibration can be determined.

- b. Air - equivalent flow in SCFM =  $V\sqrt{14.7 GT/530P}$   
 $V$  = required process gas flow in SCFM.  
 $G$  = specific gravity of process gas at standard temperature and pressure referred to air at standard temperature and pressure.  
 $P$  = absolute pressure of process gas in psi.  
 $T$  = absolute temperature of process gas (460 + temp. in degrees F).

Using the air-equivalent flow and the nomograph, the required orifice size and calibration can be determined.

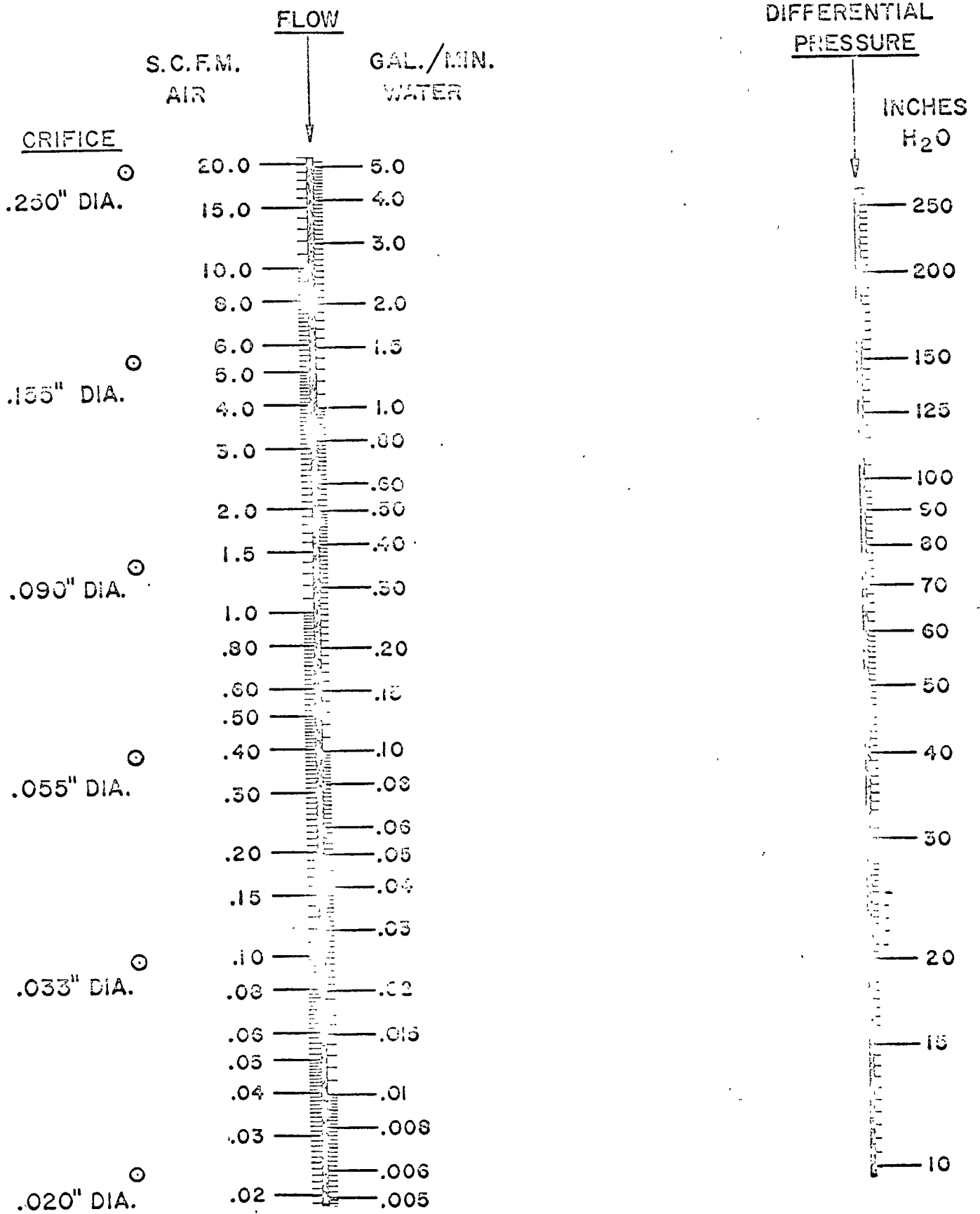


FIGURE 3. FLOW NOMOGRAPH

4. Parts List

317975-00-4	Manifold Assembly
314129-00-6	O-Ring
317219-00-6	Bolt (7/16-20 x 1 3/4")
317960-00-8	Spacer
317955-01-2	0.020" Orifice
317955-02-0	0.033" Orifice
317955-03-9	0.055" Orifice
317955-04-7	0.090" Orifice
317955-05-5	0.155" Orifice
317955-06-3	0.250" Orifice
370257-01-4	Nameplate
370260-01-5	Rivet

## STEADY-STATE PROPORTIONAL BAND WITH PROPORTIONAL-PLUS-RESET A/D CONTROL UNITS

**INTRODUCTION** It is intended that the contents of this data sheet show how the steady-state proportional band influences the amount of deviation from the setpoint when steady-state conditions have been reached. A proportional-plus-reset A/D control unit,<sup>†</sup> such as shown in Figure 1, is considered throughout the text and is assumed to have been installed in a loop where large load changes are experienced.

**DEFINITIONS.** For convenience, three prominent terms are defined below.

1. *Offset* is the amount of deviation between the setpoint and the measured variable when load changes are experienced in a control system.
2. *Proportional Band in Percent* is a term defining the sensitivity or gain of a control unit with respect to the percent of input measurement span (scale or chart) through which the measured variable must travel, in order to give a full range of controller output.
3. *Gain* is defined as the change in output signal of a control unit divided by the change in input signal. The relationship between the controller gain and the proportional band in percent is:

$$\text{Gain} = \frac{100}{\% \text{ Proportional Band}}$$

The steady-state proportional band, therefore, is the reciprocal of steady-state gain. In any controller, the steady-state gain changes as the proportional band is changed.

**PROPORTIONAL-PLUS-RESET CONTROL UNITS.** It has generally been said that a proportional-plus-reset control unit will prevent offset when employed in a control system. The amount by which the offset can be reduced depends on the steady-state gain or the steady-state proportional band of the particular control unit involved.

**NEGATIVE FEEDBACK.** In most pneumatic-type controllers, negative feedback is employed to reduce the sensitivity of the error detecting system (nozzle and baffle) so that a usable signal can be obtained.

**PROPORTIONAL BAND OR GAIN ADJUSTMENT.** If we look at Figure 2, it can be seen that the sensitivity of the control unit depends on the ratio of L2 to L1. L2 is the multiplication of the negative feedback signal, and L1 is the lever arm for the multi-

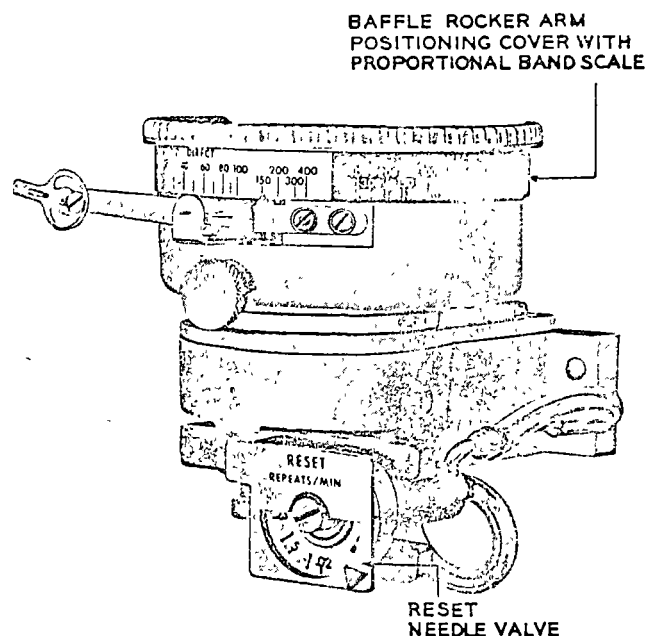


Figure 1. (Photo 6256) Bristol Proportional + Reset A/D Control Unit.

plication of the error signal. In the A/D control unit, the ratio is changed by rotating the baffle rocker arm so that L1 becomes a maximum when L2 is a minimum, and vice versa.

The position of the baffle rocker arm then determines the gain or proportional band, as indicated on the scale of the baffle rocker arm cover.

When L2 is a maximum value and L1 is a minimum value, the negative feedback is at a maximum value and the gain is minimum (proportional band 400% or greater).

When L2 is the minimum value (negative feedback approaches zero), L1 is at maximum, and the gain is also maximum. At this ratio, the sensitivity is the highest, and the proportional band approaches zero percent.

Thus, it can be seen that the amount of negative feedback actually determines the sensitivity or proportional band of the control unit.

**STABILITY.** The combination of all the various components in the control loop determines what proportional band setting can be used to produce a stable or non-cyclic type of control system operation.

<sup>†</sup>The A/D control unit operation is described fully in Bristol Product Data A120.4-4.

In considering the control loop, it is found that the gain in the loop must be less than one to produce a non-cyclic type of response to a disturbance. However, the need for the low gain in the control system is a transient one. It is required only as long as the error signal is changing due to either a changing set-point or measured variable signal.

When the error signal ceases to change, the gain of the control loop can be increased to a very high value. This will not cause cycling in the control loop because it is the change in output over the change in input that equals the gain, or the change in output is equal to the gain times the change in input. When the change in input is almost equal to zero, even a large gain causes no further change in output. Using the Greek letter Delta ( $\Delta$ ) to denote change, the equation for gain can be shown as:

$$\frac{\Delta_o}{\Delta_i} = G \text{ or } \Delta_o = G \Delta_i$$

**PROPORTIONAL-PLUS-RESET OR VARIABLE GAIN.** In a control system it is necessary to have a low gain only during the time of transient changes in the input. After the change in input has reached a steady value, it would be desirable to increase the gain of a controller to prevent offset from occurring. Thus, it is necessary to have a control unit with a variable gain, which is how a reset control unit is designed.

Figure 2 shows the feedback bellows surrounded by  $P_o$ . The internal pressure in the bellows is noted as  $P_i$ . When these two pressures are equal and constant, no feedback motion occurs, and high-gain operation of the control unit results.

When the pilot valve output pressure changes,  $P_o$  changes instantly.  $P_i$  changes slowly depending on the restriction, due to the reset valve, and on the internal volume of the feedback bellows. In this case, feedback motion occurs and low-gain action results. When  $P_o$  stops changing,  $P_i$  gradually approaches  $P_o$ , and the gain of the control unit again becomes high.

In Figure 3, the variation of a typical controller gain with time is shown drawn on a strip-chart. The time of the pilot valve output pressure change coincides with the increase in the proportional band, up to the maximum as set on the proportional band scale of the A/D control unit. As  $P_i$  approaches  $P_o$ , the time taken for the proportional band to reach the steady-state is given, and examples are shown of average, fast, and slow reset settings.

**RESET ADJUSTMENT--REPEATS PER MINUTE.** The response of the measuring system in units of time (seconds or minutes) to a change in the controller output determines what reset setting can be utilized. If fast response is experienced, fast reset can be used, and the return to high-gain controller conditions is rapid, as shown by Figure 3. When a slow response is experienced, more time must be taken to return to the high-gain condition. The reset valve restriction is nearly closed, therefore it takes a longer time for  $P_i$  to become equal to  $P_o$ .

This is why in adjusting a proportional-plus-reset controller, slow reset settings (low repeats per minute) are always made first and the progressively faster settings of the reset are approached until cycling is experienced. When this occurs, the high-gain condition is being approached too quickly, and instability will result.

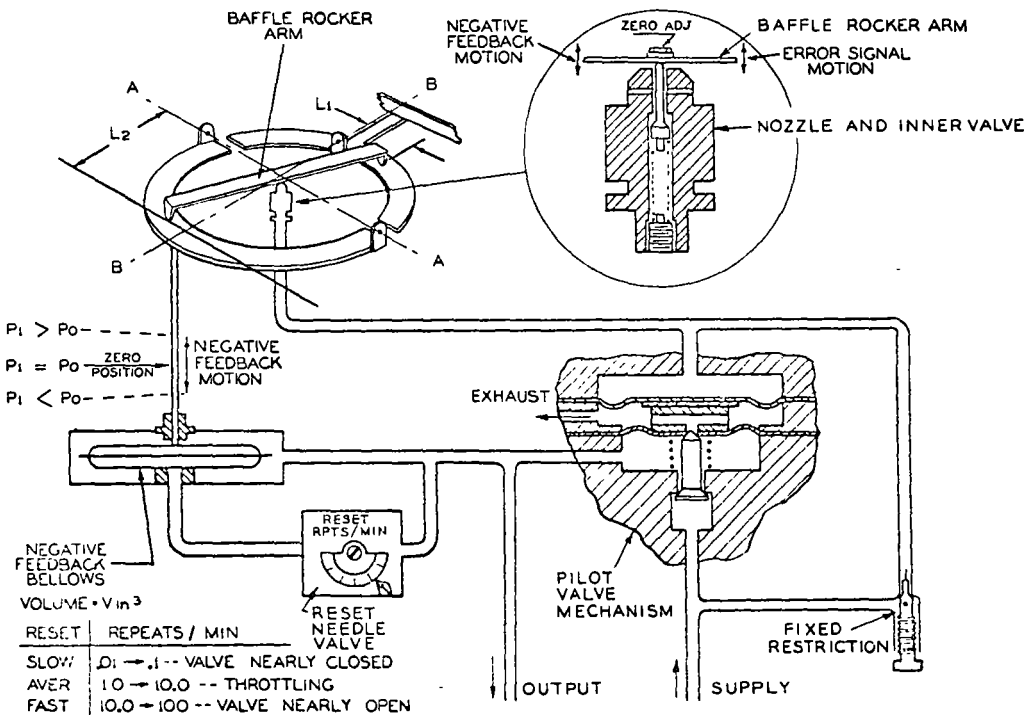


Figure 2. (S.P.D. 6514) Schematic of the Proportional + Reset A/D Control Unit.

**HOW TO MEASURE THE STEADY-STATE PROPORTIONAL BAND OR GAIN OF A CONTROL UNIT.**  
 As previously stated, the steady-state gain of the A/D control unit is a function of the effective lengths L1 and L2 as shown in Figure 2. These values change as the proportional band setting of the unit is adjusted. Therefore, it is necessary to follow a step procedure and plot a curve of the steady-state values of the gain against the actual proportional band settings on the drum. Figure 4 illustrates this point.

A simple technique for measuring the steady-state gain characteristics of a controller involves using a control unit having a 3-15 psi output signal and a 3-15 psi measured variable signal, hooked up in re-

verse action so that the unit will control itself. For this test, it is also necessary to use a biasing relay that is adjustable, so that a full range of controller output pressure (3-15 psi) can still be used to maintain a constant input measured variable signal to the control unit. See Figure 5. The P<sub>o</sub> and MV pressures are directed to two mercury columns. By comparing the differential pressure readings on the mercury columns, observations can be made on the steady-state gain changes for various proportional band settings.

By way of an example, if the proportional band of the control unit is set at 50%, and the setpoint is 50% of the 3-15 psi input range, then the measured variable signal must be maintained at 9.0 psi. At zero bias, the output of the control unit would be 9.0 psi.

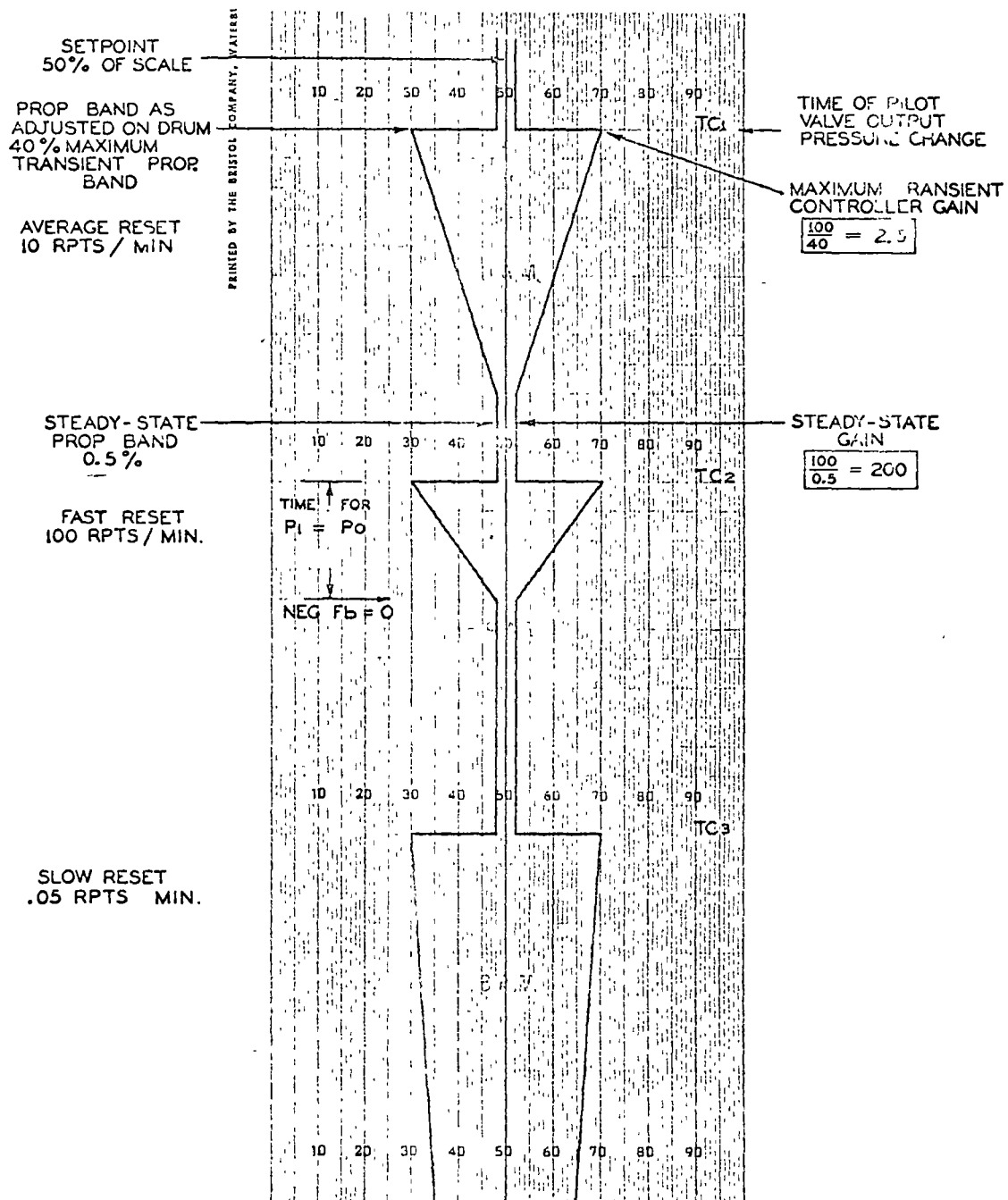


Figure 3. (S.P.D. 6515) Variation of Controller Gain with Time.

With a plus 6.0 psi bias setting, controller output would be 3.0 psi, therefore,  $3.0 + 6.0 = 9.0$  psi MV signal input.

With a minus 6.0 psi bias setting, controller output would be 15.0 psi, thus  $15.0 - 6.0 = 9.0$  psi MV signal input.

These figures are for a perfect controller with an infinite steady-state gain. In actual practice, with a plus 6.0 psi bias, output of the controller may stabilize at 3.02 psi. The measured variable signal would be 9.02 psi. Similarly, with a minus 6.0 psi bias, controller output would stabilize at 14.98 psi. The measured variable signal then becomes  $14.98 - 6.00 = 8.98$  psi.

$$\begin{aligned} \text{Steady-State Proportional Band} &= 9.02 - 8.98 = .04 \\ &= \frac{.04}{12.00} \times 100 = .33\% \end{aligned}$$

$$\text{Steady-State Gain} = \frac{100}{.33} = 333 \text{ at } 50\% \text{ prop. band}$$

This example can then be repeated for proportional band settings of 100%, 200%, etc.

**STEADY-STATE PROPORTIONAL BAND CURVES.** Referring again to Figure 4, the "A" curve shows a typical industrial controller that has no form of compensation to insure that a low value of the steady-state proportional band is maintained as the proportional band adjustment is increased.

Curve "B" shows that when design precautions are taken, such as in the A/D control mechanism, a low value of the steady-state proportional band can be maintained even though high proportional band settings are made on the controller.

Closer control can be obtained with the A/D control unit which has a high steady-state gain. In considering a typical control application where the temperature controller has a measurement span of 0-100° and a 200% proportional band setting, it is easy to compare the closeness of control that may be obtained with proportional-plus-reset controllers of the types shown by curves "A" and "B".

The type "A" industrial controller at a 200% proportional band setting has a steady-state proportional band of approximately 3.5%. This means the control action would deviate between +1.75° to -1.75°, if a full 3-15 psi output from the controller were required to meet control load conditions.

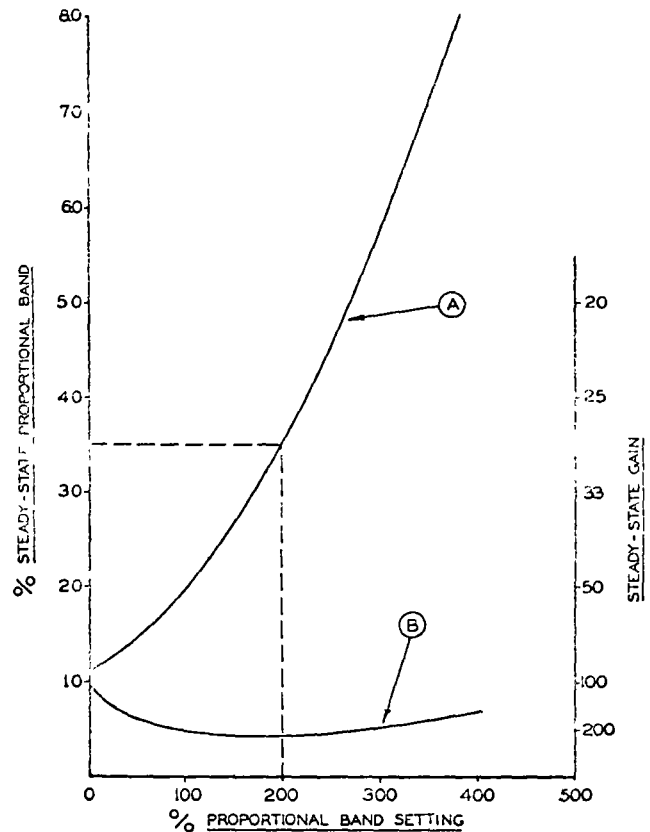


Figure 4. (S.P.D. 6516) Percent Steady-State Proportional Band vs Proportional Band setting.

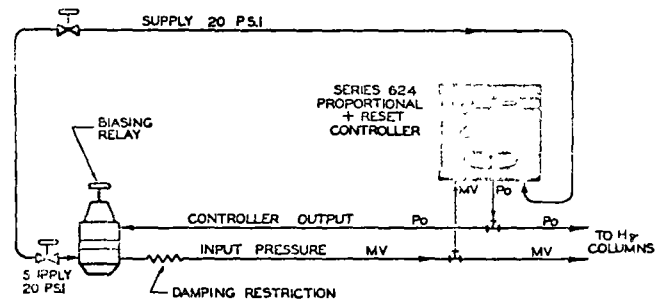


Figure 5. (S.P.D. 6517) Measuring Steady-State Gain Characteristics of a Controller.

If a controller of the A/D design (curve "B") is used in the same circumstances, the steady-state gain would be approximately 200, or 0.5% steady-state proportional band. Under identical load conditions to those for the type "A" controller, this unit would control the temperature to within  $\pm 1/4^\circ$ .

It can be seen that under almost all conditions the type "B" controller outperforms the type "A" unit and gives closer control of the measured variable, especially when wide-band conditions are reached.

## INSTRUCTION NO. A1142

### BRISTOL SERIES 624 ADVANCED-DESIGN INDICATING PNEUMATIC TRANSMITTER

Herewith: Sheet 019029

**NOTE:** This instruction covers only the transmitting system. See separate instructions covering measuring system.

#### SECTION I — GENERAL DESCRIPTION

The Bristol Series 624 Pneumatic Transmitter measures process variables, such as pressure, temperature, flow, etc., and converts this variable to an air-pressure signal (3-15 psi output pressure is standard) for transmission to remote indicating or recording receivers or controllers.

The instrument consists of three major units: the measuring system, the pointer mechanism, and the A/D transmitting unit. Any one of these can be separately removed from the case. The A/D transmitting unit contains in a compact package, the nozzle-baffle, amplifying pilot valve, and the feedback bellows.

As the measuring element moves with changes in the measured variable, the relation between nozzle and baffle is varied, thus altering the nozzle back pressure which in turn is amplified by the self-contained pilot valve, producing the output air pressure. These changes in output air pressure also cause changes in the length of the feedback bellows which through a simple lever system tends to restore the original relation between nozzle and baffle. The amount of input and feedback motions to the baffle are adjustable by rotating the cover on the A/D Transmitter unit, thus providing a span adjustment.

A scale and pointer are provided showing values of the measured variable.

#### SECTION II — INSTALLATION

##### A. Mounting

The transmitter may be mounted on a panel or wall. Universal mounting brackets are provided for either location. A pipe mounting attachment is also available. Choose a place as free as possible from dust, dirt, vibration, corrosive fumes and extremes of temperature.

For panel mounting the cut-out dimensions are 7 9/16" high by 7 3/16" wide with square to 1/2" radii corners.

Flowmeters and differential pressure instruments have a threaded socket for a 2" pipe fitting to permit instrument to be mounted on a floor stand, panel or wall support.

Remove any string, rubber bands, cardboard guards, etc., that are used for packing and shipping the instrument.

If possible, locate the instrument and all piping where the temperature never goes below

freezing. Condensed moisture may freeze in any part, stopping the transmitter. Insulate the lines if necessary.

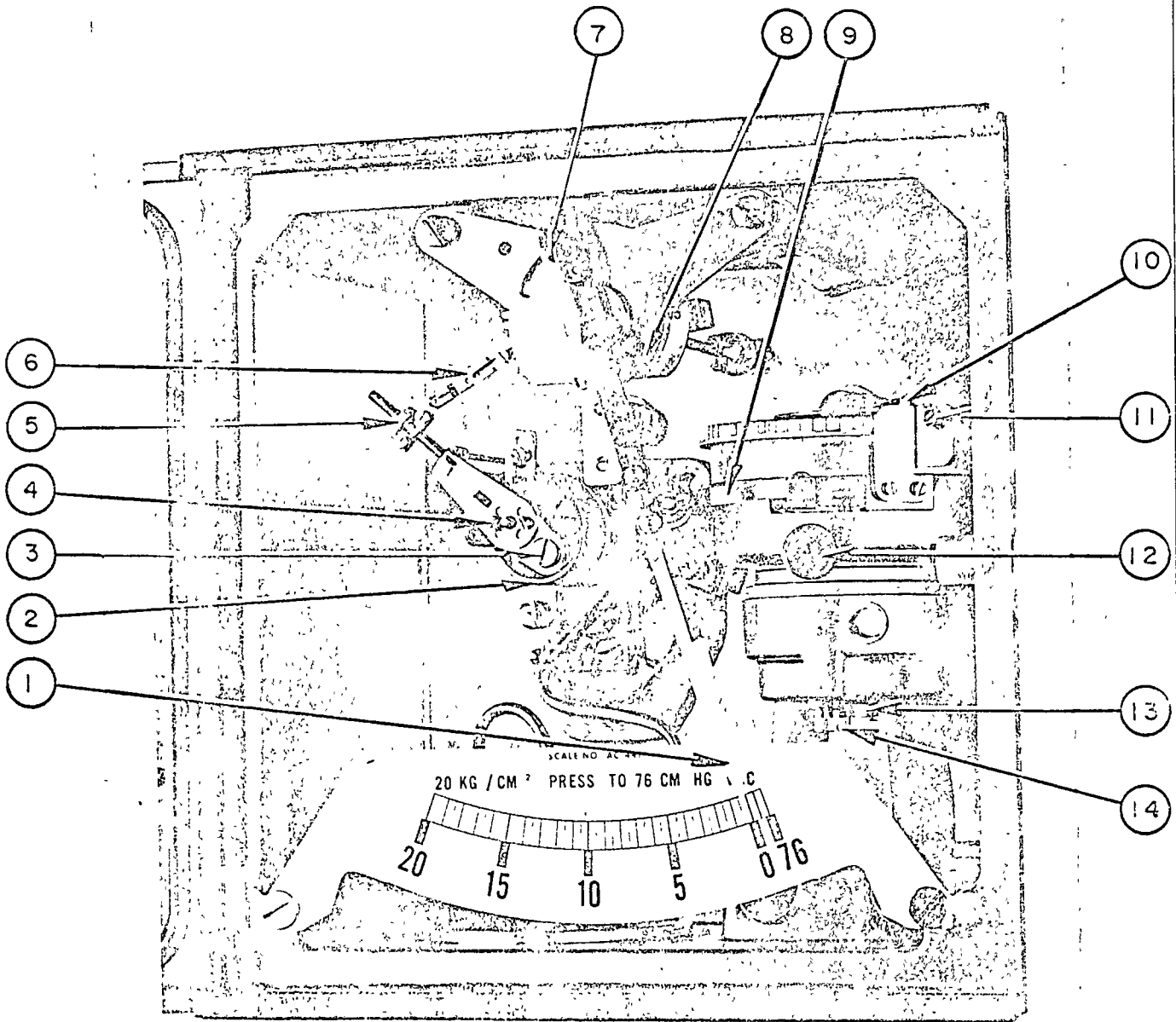
##### B. Air Connections

The air connections, one for supply and one for output, are located on the bottom of the case. Located just behind them is a bleed vent which must be left open.

##### C. Supply Air

It is strongly recommended that the air supply to the transmitter be clean, dry and oil free. Air compressors should be equipped with air filters and condensate traps and should be frequently serviced. Most difficulties in pneumatic systems are caused by dirty, wet or oily air supplies.

The supply air pressure to the instrument must be 20 pounds per square inch (psi).



- |   |   |
|---|---|
| 1. Indicating Pointer                         | 8. Pointer zero adjustment                    |
| 2. Measuring element                          | 9. Input lever arm                            |
| 3. Fine zero adjustment (measuring element)   | 10. Coarse span adjustment (transmitter unit) |
| 4. Coarse zero adjustment (measuring element) | 11. Fine span adjustment (transmitter unit)   |
| 5. Span adjustment (measuring element)        | 12. Nozzle back-pressure check opening        |
| 6. Linearity adjustment (measuring element)   | 13. Valve plug                                |
| 7. Zero adjustment (transmitter unit)         | 14. Restriction screw                         |

FIGURE 1. MODEL 624 A/D INDICATING PNEUMATIC TRANSMITTER

The transmitter is equipped with a screen type filter in the supply connection. However, it is recommended that a reducing valve and filter be used in the supply line to supply clean 20 psi air to the instrument. A combination unit, such as Bristol's part Al405 or equivalent, may be used instead of the two separate units. This combination unit has a capacity of 5-cubic feet of free air per minute. The reducing valve itself consumes 0.2 cubic feet of free air per minute. Minimum air pressure to the reducer must be not less than 25 psi. Maximum air pressure to the reducer must not exceed 150 psi.

The transmitter consumes 0.03 standard cubic feet of free air per minute.

The transmitter is capable of supplying 3.0 cubic feet and exhausting 4.0 cubic feet of free air per minute.

**D. Supply Air Piping**

A typical installation is included with this instruction. Install the supply air lines to slope away from the transmitter so that condensed moisture cannot drain into the instrument. Connect the instrument supply air lines to the top of the main air line to prevent condensate from entering.

To avoid trouble from pipe scale or rust which occur in iron pipe, it is recommended that 3/8" O.D. annealed copper tubing and compression fittings, or 1/4" brass pipe be used for both supply air and output air lines. Ream the ends of all tubing to remove burrs. Clean scale, rust, dirt and oil out of all pipe or tubing and blow them out thoroughly with compressed air before installation.

**Manual Shut-off Valve.** It is recommended that an inexpensive globe valve be installed in the supply air line, upstream from the reducer, so that the air may be shut off by hand for service to the controller, filter, reducing valve, etc.

**E. Output-air Piping**

It is recommended that copper tubing be used between all instruments or equipment. The size of tubing to be used must be determined by the user and is based on such factors as the distance between the instruments and the permissible time lag for the particular installation. The following table gives the approximate time lag to be expected for different sizes and lengths of copper tubing with a standard 3-15 psi pressure element connected at the end of the tubing.

TUBING SIZE	TIME LAG IN SECONDS			
	200 FOOT LENGTH	500 FOOT LENGTH	1000 FOOT LENGTH	2000 FOOT LENGTH
3/16" O.D. x 1/8" I.D.	.8	4.4	17.0	68.0
1/4" O.D. x 3/16" I.D.	.3	1.7	7.7	30.8
3/8" O.D. x 5/16" I.D.	.1	.6	2.9	11.6

**Example:**

If a length of 1000 feet is involved and a time lag of 8 seconds can be tolerated, the 1/4" O.D. copper tubing can be used.

If the fastest response possible is desired for any length of tubing, the 3/8" O.D. copper tubing should be used.

**SECTION III — OPERATION**

Do not start the transmitter until the pointer of the instrument indicates that the measuring system is working correctly and accu-

rately. See separate instructions covering the measuring system.

**SECTION IV — SERVICE**

In discussing service and maintenance, we assume that the measuring system is working properly. If not, repair it before attempting to service the transmitter.

the bottom of the air-filter sump should be drained out daily. Open the drain valve for a few seconds with the supply air turned on.

**A. Routine Maintenance**

**1. Air-filter Sump**

Moisture, oil and dirt which collect in

**2. Lubrication**

No lubrication of any sort is required. If the bearings become sticky, clean them with carbon tetrachloride or Inhibisol.

**B. Trouble Shooting**

1. **Symptom.** Output air pressure (as shown on the output air gauge) is continuously high, regardless of the position of the indicating pointer.

**Possible Faults**

The nozzle may be plugged or the restriction screw may not be fully seated, causing high nozzle back pressure. The pilot valve may not be seating properly.

The nozzle can be cleaned by injecting cleaning fluid in the nozzle back-pressure check opening (item 12, fig. 1) while loosening the restriction screw.

To check seating of pilot valve, unscrew plug, (item 13, fig. 1) and remove valve plunger. The plunger may be cleaned with cleaning fluid. The valve seat may be cleaned with a lint-free swab such as a Q-tip.

2. **Symptom.** Output air pressure (as shown on the output air gauge) is continuously low, regardless of the position of the pointer.

**Possible Faults**

The output air line leaks; the nozzle back pressure is too low because of leaks; the pilot valve is not opening properly; the A/D transmitter unit during service may have been assembled without the valve spring; the restriction screw may be plugged.

**C. How to Remove and Replace the A/D Transmitter Unit**

The A/D Transmitter Unit can be easily removed from the case and reinstalled or replaced by another transmitter unit.

To remove a transmitter unit, proceed as follows:

Disconnect input lever arm of unit from the link connected to the pointer mounting.

Remove the two transmitting-unit mounting screws and lift the unit up and out.

To install a transmitter unit, first insert the two silicone rubber connections into

their sockets in the case making sure that the screen filter is in the supply connection. Then, place the transmitter unit into the case, inserting the two dowel pins into the holes in the back of the case. Place the two rubber connections into the sockets of the transmitter unit and tighten the two transmitter-unit mounting screws.

Connect the adjustable link from the pointer mounting to the input lever arm of transmitter unit.

Connect a 20 psi air supply to instrument supply connection and proceed with calibration check below.

**D. Calibration Check of Transmitter Unit**

To make a calibration check, it is necessary to provide a means of operating the measuring element through the full range of the instrument. It is also necessary to employ proper standards to measure the true values applied to the measuring element.

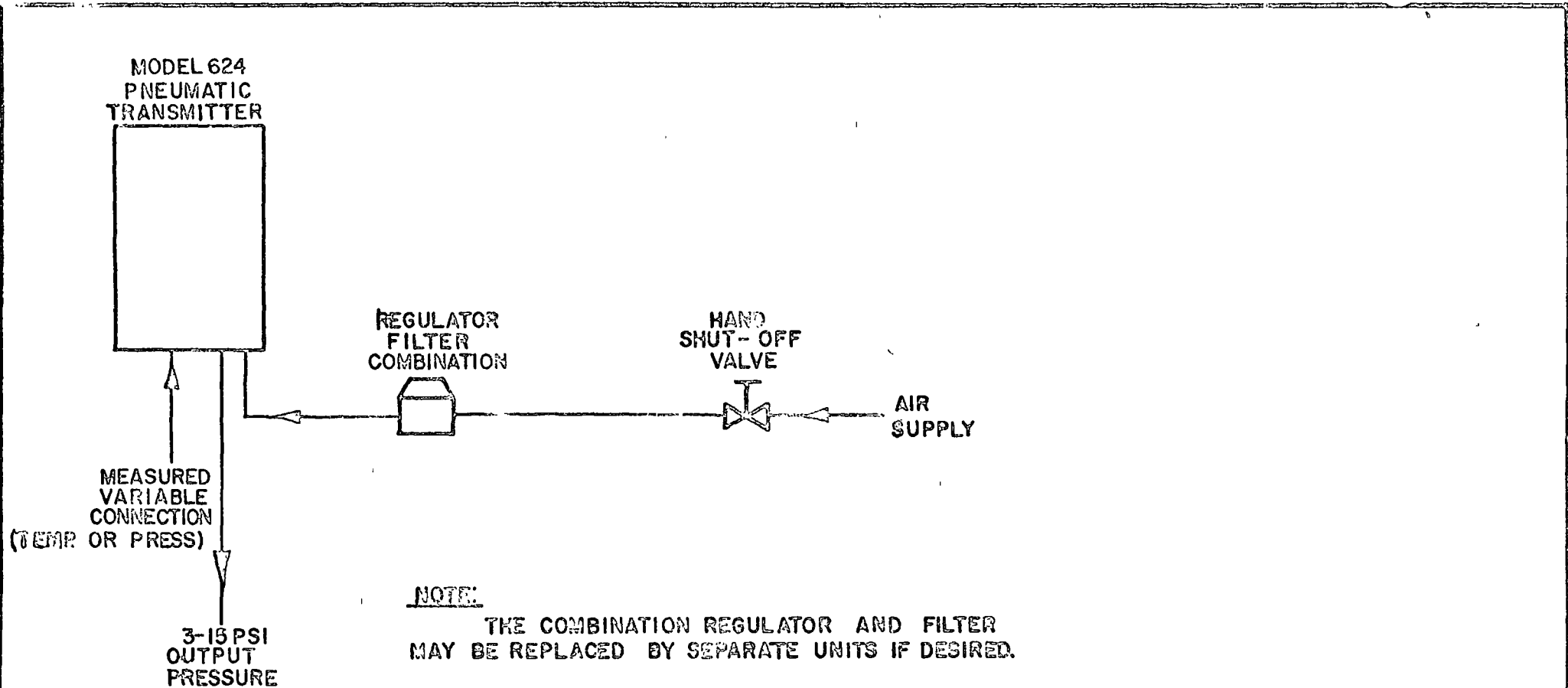
First, adjust the measured variable to the true value corresponding to the lowest reading on the instrument scale. Output pressure should be 3 psi. If it is not 3 psi, adjust segment gear on pointer mounting after first loosening zero screw (item 7, fig. 1).

Next, adjust and hold the measured variable to a value representing the high end of the instrument scale. Output pressure should be 17 psi. If it is not 15 psi, adjust fine span adjustment (item 11, fig. 1). If this adjustment is not sufficient, then loosen the two screws (item 10, fig. 1) and rotate top cover until proper output pressure is obtained.

After adjusting the span check again at zero or low end of scale. Readjust low end calibration if necessary. Repeat span and zero checks until both are correct.

**E. Calibration Check of Measuring System**

Calibration of the measuring system is covered in the standard instructions W18042 covering calibration of link type instruments.



NO. 019029

TYPICAL PIPING DIAGRAM  
MODEL 624 A/D PNEUMATIC TRANSMITTER

THE BRISTOL COMPANY  
WATERBURY, CONN. U.S.A.

DRAWN HRS		DATE 6/9/31	
TRACED JAD	CHECKED	APPROVED	
SCALE		FILE DR. 21	
NO.		019029	

REVISIONS



## BRISTOL A/D CONTROL UNITS

The text of this data sheet describes the operation of Bristol A/D control units (Figure 1) in terms of the available control modes that are given below:

- Section A - Proportional
- Section B - Proportional + Reset
- Section C - Proportional + Derivative
- Section D - Proportional + Reset + Derivative
- Section E - Differential Gap

## SECTION A---PROPORTIONAL CONTROL

Figure 2 shows major components of the A/D control unit with the interconnecting signals between components. The proportional control mechanism is schematically illustrated in Figure 3. A cutaway view appears in Figure 4.

**MEASURING ELEMENT.** This can be any standard high-quality Bristol measuring element for pressure, temperature, differential pressure, flow, or level.

**PRIMARY ERROR DETECTOR.** As outlined in Figure 3, the primary error detector is not part of the A/D control unit, but is part of the pointer mounting assembly. The differential beam of the assembly moves to give a motion error-signal proportional to the deviation of the measured variable from setpoint. This error signal is fed into the input lever arm on the A/D control unit.

**ADJUSTABLE GAIN--SECONDARY ERROR DETECTOR.** The input lever moves a "C" shaped input beam that is pivoted along the axis B-B. Also, a "C" shaped feedback beam is pivoted along the A-A axis by the feedback capsular element. The baffle rocker-arm is pivoted on the two beams which are arranged to form a circle. Rotating the baffle rocker-arm will place its pivot points anywhere on this circle.

When the pivot points are close to the B-B axis, the input motion is at a minimum and the feedback motion to the baffle is at a maximum, thus providing low gain or a wide proportional band (approximately 400%).

With the pivot points close to the A-A axis, input motion is at a maximum, and the feedback motion to the baffle is at a minimum. This provides high gain or a narrow proportional band (approximately 1%).

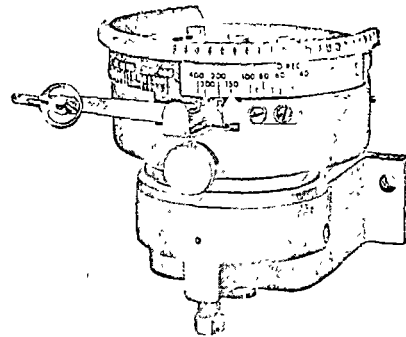


Photo 6255 - Proportional

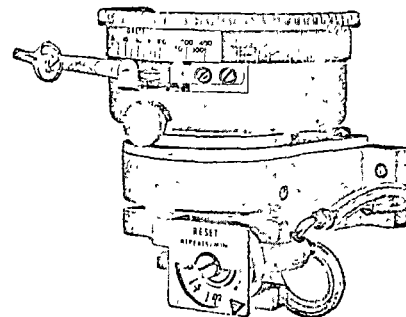


Photo 6256 - Reset

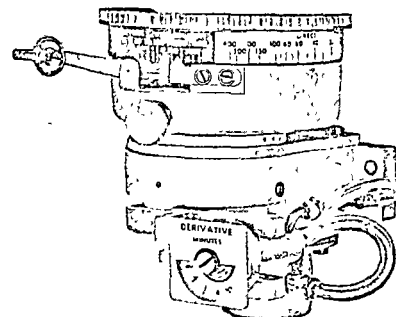


Photo 6257 - Derivative

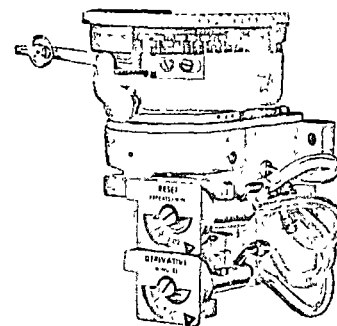


Photo 6258 - Three-Mode

FIGURE 1. (PHOTOS 6255-6258) A/D PNEUMATIC CONTROL UNITS.

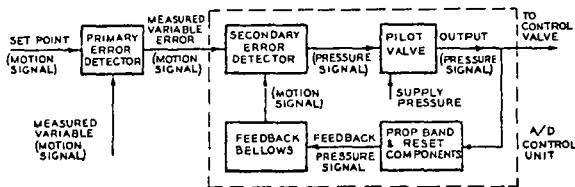


FIGURE 2. (S.P.D. #5365) BLOCK DIAGRAM OF A/D CONTROL UNIT.

Because the drum-type cover of the A/D control unit is attached to the baffle rocker-arm, rotating the cover will rotate the baffle rocker-arm and change the proportional band of the controller. Position of the drum scale to the pointer (shown in Figure 1) indicates the setting.

Moving the pivot point across the B-B axis changes the unit from direct to reverse acting.

**NON-BLEED PILOT VALVE.** The pilot valve which senses the nozzle back pressure is standard non-bleed type, and has a proven history for reliability. It has high capacity with balanced supply and exhaust characteristics, and provides fast response with economy in air consumption. Large diameter connections to the A/D unit and the instrument case enable the full pilot valve capacity to be utilized to the control valve.

**FEEDBACK ELEMENT.** The capsular element is made of Ni-Span-C<sup>+</sup> for thermal stability, with a push-rod connection to transfer the feedback motion to the feedback beam. Referring to Figures 3 and 4, it can be seen that the feedback element chamber is part of the output pressure chamber of the pilot valve.

**MATERIALS OF CONSTRUCTION.** The Basic A/D control unit is made of cast aluminum. Most working parts are made of stainless steel or aluminum. The diaphragms in the pilot valve are reinforced neoprene. Snap-in tubes for pneumatic supply and output are of silicone rubber. Internal connections to gauges are of tygon tubing.

**FREQUENCY RESPONSE.** Cut-off frequency is defined as the point where the gain ("magnitude ratio", "output/input") rises to 1.414 or drops to 0.7. From the frequency response curves in the upper half of Figure 5, it can be seen that the cut-off frequency of the A/D unit is approximately 300 to 400 cpm. The high cut-off frequency permits this controller to handle disturbances to the control loop that would upset or pass through slower-acting units. Thus a more constant value of the measured variable is maintained during upsets to the process.

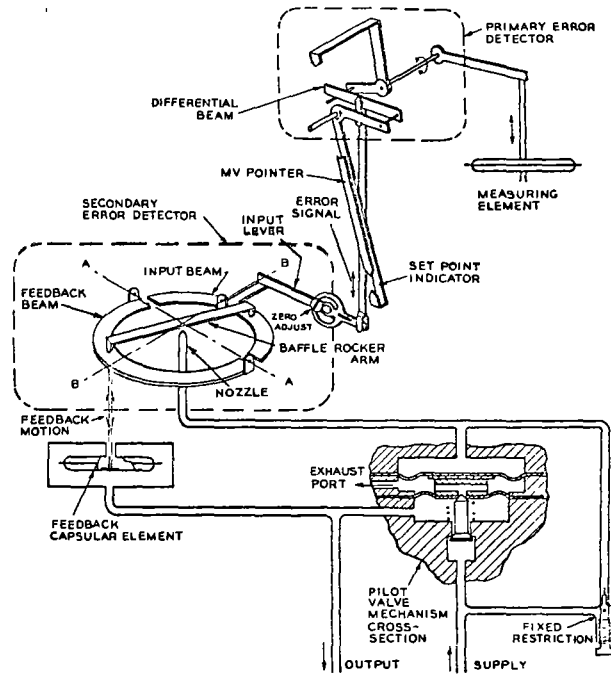


FIGURE 3. (S.P.D. #6342) SCHEMATIC OF A/D PROPORTIONAL CONTROL MECHANISM AS USED IN SERIES 624 INDICATING CONTROLLER.

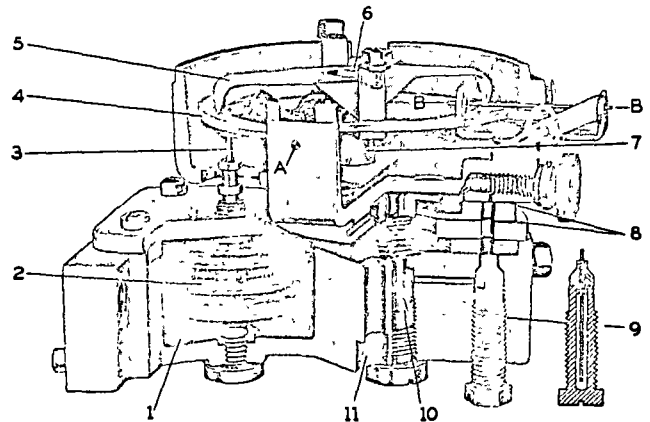


FIGURE 4. (PHOTO 5290) CUTAWAY OF PROPORTIONAL A/D CONTROL UNIT.

A combination of several characteristics contribute to the high cut-off frequency rating of the A/D control unit. For example, the nozzle is mounted directly at the pilot valve resulting in fast response. Also, the feedback element chamber is part of the pilot valve output pressure chamber, and as such, permits high stability in addition to fast response. Capacity of the pilot valve is high, and large diameter connections to the unit and instrument case enable full pilot valve capacity to be utilized to the control valve. Other pertinent characteristics are listed in Table 1.

<sup>+</sup>Registered Trademark of the International Nickel Company, Inc.

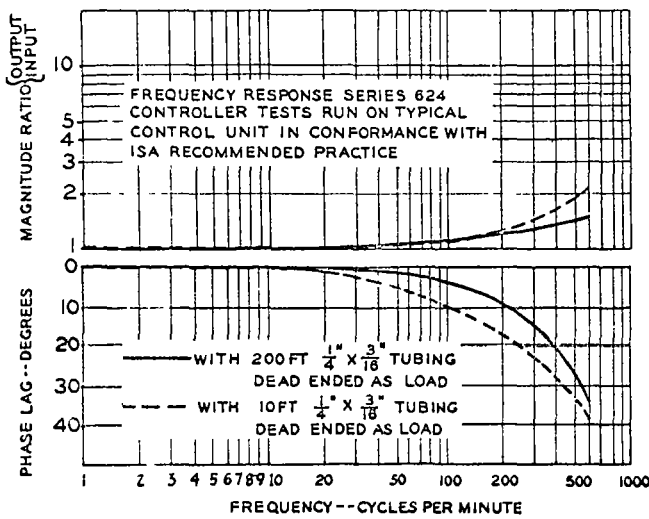


FIGURE 5. (S.P.D. #5421) FREQUENCY RESPONSE OF THE A/D CONTROL UNIT.

**Proportional Band:**  
1-400% continuously adjustable,  
1-500% on 3-mode continuously adjustable.  
Direct- or reverse-acting.

**Reset:**  
0.02 to 70 repeats per minute.

**Derivative:**  
0.2-20 minutes.

**Air Supply Pressure:**  
20 psig standard.

**Output:**  
3-15 psig standard. Other ranges up to 12-60 psig available.

**Air Consumption:**  
0.1 scfm or less with 20 psi air supply.

**Pilot Capacity:**  
Over 3 scfm, delivery or exhaust.

**Frequency Response:**  
Flat to 100 cycles per minute (proportional unit).  
300 cycles per minute or better with proportional + reset, proportional + derivative, and 3-mode units.

**Temperature Stability:**  
Approximately  $\pm 1\%$  change in output pressure for 100°F temperature change of the instrument.

**Materials:**  
Aluminum housing. 316 stainless steel working parts. Ni-Span-C feedback elements.

**Response Level:**  
Controller responds if input changes as little as .006%.

TABLE 1. A/D CONTROL UNIT CHARACTERISTICS.

### SECTION B---PROPORTIONAL + RESET CONTROL

A schematic of the proportional + reset unit with internal feedback is shown in Figure 6. Where external feedback is required, the schematic of Figure 7 applies.

The only changes in this unit from the proportional unit are:

- The nozzle, and baffle rocker-arm assembly.
- The feedback element arrangement.
- The addition of the reset needle-valve.

**FEEDBACK SYSTEM.** The reset feedback signal is fed to the inside of the feedback element through the reset needle-valve. Proportional feedback pressure connects to the outside of the same element. This combined motion signal from the feedback element goes to the feedback beam of the secondary error detector, and reverses the feedback signal from that of a proportional unit.

An inner valve assembly is used in the proportional + reset unit.

The reset needle-valve is a direct-reading type, and is continuously adjustable between .02 and 70 repeats per minute.

### SECTION C---PROPORTIONAL + DERIVATIVE

See Figure 8 for a schematic diagram of the proportional + derivative control unit. This unit is essentially the same as the proportional unit with the following additions:

- A derivative needle-valve, range 0.2 to 20 minutes.
- A derivative bellows chamber.

The derivative feedback motion is transferred to the proportional feedback element by a rod. This arrangement and the calibration of the needle-valve permits easy adjustment of derivative time settings, which is important to many processes where only small derivative times can be tolerated. Zero derivative effect can be achieved by opening the needle-valve completely.

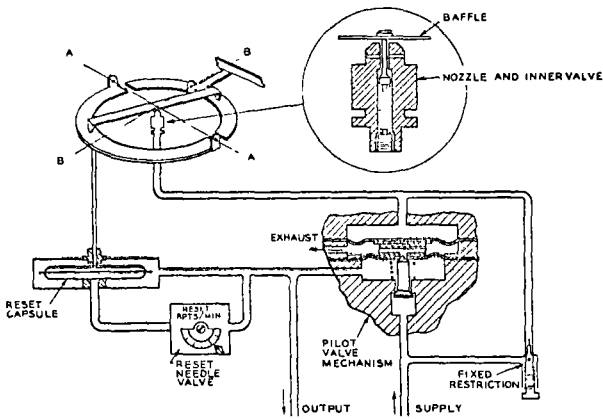


FIGURE 6. (S.P.D. #6340) SCHEMATIC OF THE PROPORTIONAL + RESET A/D UNIT, WITH INTERNAL FEEDBACK.

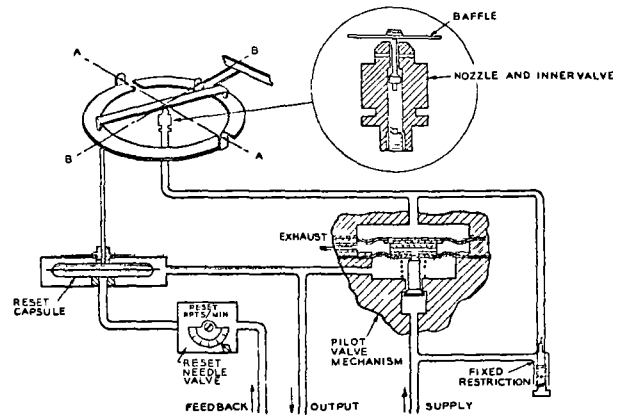


FIGURE 7. (S.P.D. #6339) PROPORTIONAL + RESET A/D UNIT, WITH EXTERNAL FEEDBACK.

SECTION D---THREE-MODE CONTROL

Figure 9 schematically illustrates the three-mode (proportional + reset + derivative) control unit. In this unit, as in the reset unit, an inner valve and nozzle is used rather than the flapper nozzle of the derivative unit.

The inner valve works in reverse of the flapper nozzle. As the baffle moves downward, it pushes down on the inner valve pin and the back pressure decreases. In the case of the nozzle flapper device, downward movement of the baffle closer to the nozzle increases the back pressure.

Two feedback elements are used in the three-mode controller, and are yoked together so that increasing internal pressures within the elements cause opposing forces. Output pressure from the pilot valve passes through separate needle valves to the two elements.

In Figure 9, the lower bellows initiates negative feedback response, since its action on the feedback pin opposes the initial signal change. The derivative needle-valve delays this negative feedback temporarily thereby producing derivative response.

Action of the upper capsule opposes the lower bellows motion and gives positive feedback. The reset needle-valve, by restricting the output pressure fed into the reset capsule, delays the positive feedback and reset action takes place.

When starting up a process with a three-mode controller, it is sometimes desirable to eliminate the derivative action without changing the derivative setting. For this reason, a derivative by-pass valve has been included which can be opened to eliminate derivative action, and closed to restore the action.

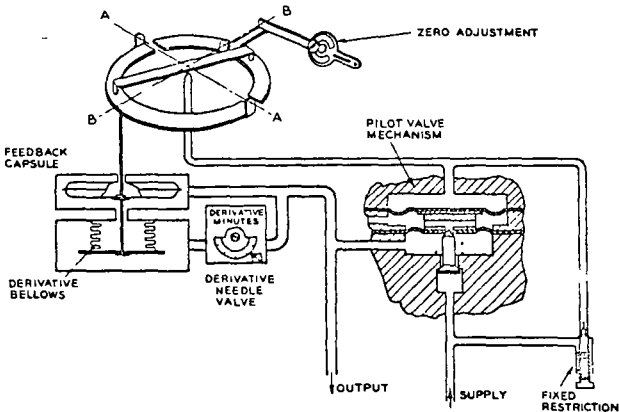


FIGURE 8. (S.P.D. #6343) SCHEMATIC OF PROPORTIONAL + DERIVATIVE A/D UNIT.

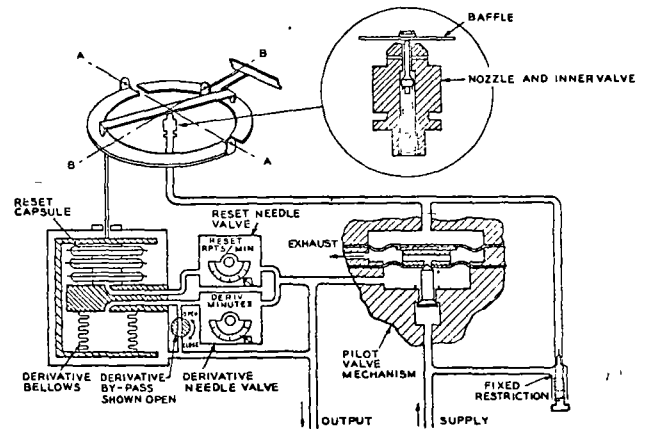


FIGURE 9. (S.P.D. #6341) THREE-MODE UNIT SHOWN SCHEMATICALLY.

## SECTION E---DIFFERENTIAL-GAP CONTROL

The differential-gap controller utilizes the same basic unit as the proportional controller, except that an inner valve assembly with rocker-arm assembly and drum scale, like the ones used in the reset controller, are employed. This has the effect of making the feedback signal a positive feedback instead of the usual negative. The positive feedback signal is additive to the error signal, and results in a snap-acting on-off output signal.

Width of the differential gap is adjustable anywhere between 2% and 100% of span. The gap width is set exactly the same way as the proportional band of a proportional controller,--by turning the drum of the control unit by hand. Setpoint

indication shows the center of the differential gap and may be moved anywhere on the scale.

For example, assume a Model OG1G624AG differential-gap controller with a scale of 0 to 100 and with the gap set at 40% "reverse acting". Assume the setpoint indicator is set at 60 on the scale. The differential of 40, is located approximately half below and half above the setpoint, or 40 to 80. When the measured variable is below 40 (the low end of the gap), the output pressure is 20 psi. It remains 20 psi until the measured variable increases to 80 (the high end of the gap) at which point the output pressure drops to 0 psi. The output pressure now remains at 0 psi until the measured variable decreases to the low end of the gap.

## SUMMARY OF A/D CONTROLLER FEATURES

*Excellent Frequency Response.* Far better than most comparable control units.

*Low Air Consumption.* Non-bleed pilot.

*Easy Maintenance and Interchangeability.* Plug-in units, simple to work and calibrate.

*Long Life:* All working parts of aluminum or stainless steel.  
Rugged construction.

*Stability:* Highly stable--high pilot valve capacity.

*Wide Range Adjustment of Control Modes.* 400% proportional band. Direct-reading reset and derivative needle valves.

*Ambient Compensation.* Wide-range temperature and pressure compensation, so that control unit does not shift its setpoint.



Revised February 1966 by the Product Sales Department.

## SERIES 624 A/D PNEUMATIC CONTROLLERS

Fast response and highly stable control action are key features of the Bristol Series 624 Controllers. As shown in Figures 1 and 2, the instrument has single-pointer indication, and contains the A/D (Advanced Design) control unit, which is available in five control modes. With suitable Bristol precision measuring elements, the Series 624 A/D controller will measure and control pressure, absolute pressure, temperature, flow, differential pressure, liquid level, or humidity.

**OPERATION.** The block diagram in Figure 3 schematically illustrates how the control unit operates<sup>1</sup>.

A primary error detector mechanism in the pointer assembly computes the measured variable error, which is the difference between setpoint and measured value. A single link transmits this "measured variable error" as a motion signal to the A/D control unit.

The A/D control unit contains the secondary error detector mechanism, pilot valve, feedback bellows, and adjustments for setting the proportional band and selecting either direct or reverse-acting control. Figure 4 shows an A/D control unit removed from the controller case.

In proportional + reset models, the A/D control unit also contains a reset needle valve which is a single-turn, direct-reading type. Continuous adjustment may be made from .02 to 70 repeats/minute. Proportional + derivative models have a similar type needle valve with continuous derivative time adjustments between 0.2 and 20 minutes. The three-mode controller has both needle valves mounted on the A/D unit. Such a unit appears in Figure 2.

The Series 624 A/D controller has been engineered for compactness, and is constructed of materials that

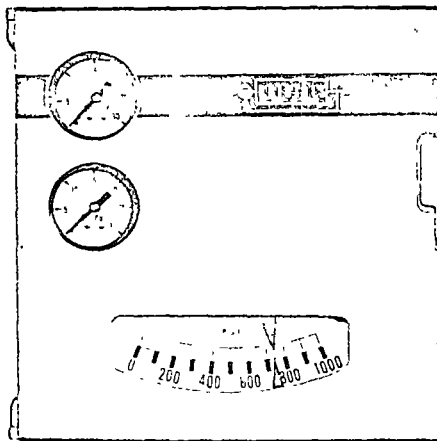


FIGURE 1. (PHOTO 5436A) SERIES 624 A/D CONTROLLER.

have been carefully selected to give dependable service with a minimum of maintenance. Because of these features, the Series 624 controller is especially suitable for field-mounting, and other types of installations where a control record is not required.

### PRESSURE MODELS.

Helical Element	Capsular Element	Control Modes
OG1G624B	OG2G624B	Proportional
OG1G624C	OG2G624C	Proportional + Reset
OG1G624D	OG2G624D	Proportional + Derivative
OG1G624E	OG2G624E	Proportional + Reset + Derivative
OG1G624AG	OG2G624AG	Differential Gap (Indirect Set)

Helical or capsular design elements in type 316 stainless steel, Ni-Span-C<sup>+</sup>, phosphor bronze, beryllium copper, and trumpet metal measure pressure and vacuum in ranges from 0-3" H<sub>2</sub>O through 0-15,000 psig. Seals can also be accommodated in most cases, when required.

Reference: Product Data A120.4.1-4 for ranges and spans of capsular and helical elements for Series 624 A/D controllers.

### ABSOLUTE PRESSURE MODELS (BARTON 224).

- OE3P624B - Proportional
- OE3P624C - Proportional + Reset
- OE3P624D - Proportional + Derivative
- OE3P624E - Proportional + Reset + Derivative

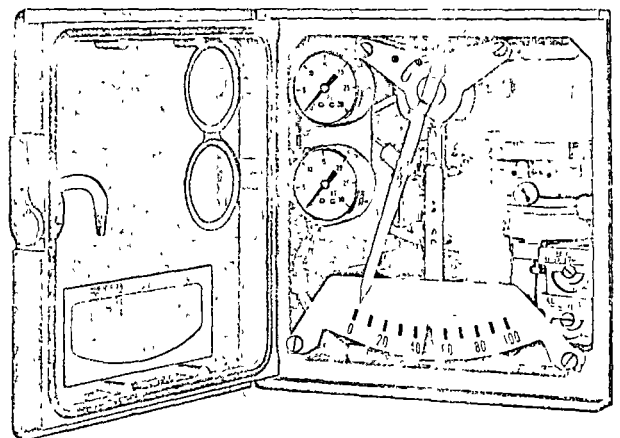


FIGURE 2. (PHOTO 6175) SERIES 624 CONTROLLER WITH THREE-MODE A/D CONTROL UNIT.

<sup>1</sup>For a detailed description of the A/D control unit operation, see Bristol Product Data A120.4-4.

<sup>+</sup>Registered Trademark of The International Nickel Company, Inc.

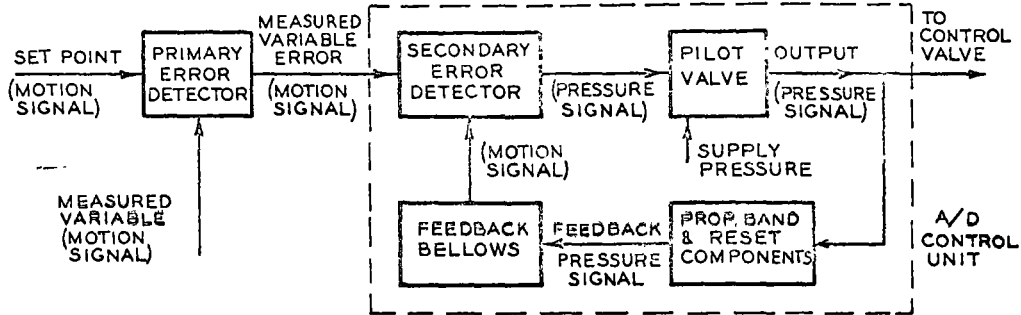


FIGURE 3. (S.P.D 5365) BLOCK DIAGRAM OF A/D CONTROL UNIT.

**TEMPERATURE MODELS.**

- OT624B - Proportional
- OT624C - Proportional + Reset
- OT624D - Proportional + Derivative
- OT624E - Proportional + Reset + Derivative
- OT624AG - Differential Gap (Indirect Set)

Adding a suffix to the model number indicates the class of filled thermal system; for example, Model OT624B-3B has a Class 3B Thermal System.

Bristol standard filled-system thermometers will measure temperatures from -350°F to +1200°F.

**References:**

- Product Data T801-4, "Class 1 Thermometers"
- Product Data T802-2, "Class 2 Vapor-Pressure Thermometers"
- Product Data T803-2, "Class 3 Gas-Filled Thermometers"
- Product Data T805-2, "Class 5 Mercury-Filled Thermal Systems"

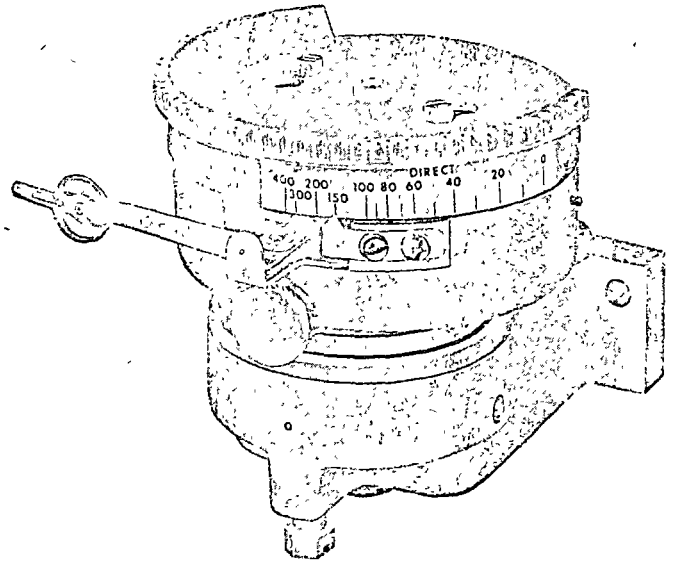


FIGURE 4. (PHOTO 6254) PROPORTIONAL A/D CONTROL UNIT WITH THROW-AWAY RESTRICTION VALVE TIP.

Because the manometer is heavier than the Series 624 case, the controller is mounted on the front of the manometer, and the entire assembly is pipe- or bracket-mounted.

*Bristol Dri-flo Models:*

- OER624B - Proportional
- OER624C - Proportional + Reset
- OER624D - Proportional + Derivative
- OER624E - Proportional + Reset + Derivative
- OER624AG - Differential Gap (Indirect Set)

*Barton 199 Dry-Type Differential Pressure Models:*

- OEP624B - Proportional
- OEP624C - Proportional + Reset
- OEP624D - Proportional + Derivative
- OEP624E - Proportional + Reset + Derivative
- OEP624AG - Differential Gap (Indirect Set)

*Barton 224 Differential Pressure Models:*

- OE2P624B - Proportional
- OE2P624C - Proportional + Reset
- OE2P624D - Proportional + Derivative
- OE2P624E - Proportional + Reset + Derivative
- OE2P624AG - Differential Gap (Indirect Set)

**HUMIDITY MODELS.**

- OHC624B - Proportional
- OHC624C - Proportional + Reset
- OHC624D - Proportional + Derivative
- OHC624E - Proportional + Reset + Derivative
- OHC624AG - Differential Gap (Indirect Set)

Standard Bristol hygroscopic humidity elements are used, and will measure ranges of relative humidity between 0 to 100%. The hygroscopic element is mounted in a protective housing at the rear of the controller case.

**Reference:**

- Product Data H1010-2, "Bristol Hygroscopic Elements"

**FLOW AND DIFFERENTIAL PRESSURE MODELS.**

**Mercury U-Tube or Bell Type Manometers:**

- OF624B - Proportional
- OF624C - Proportional + Reset
- OF624D - Proportional + Derivative
- OF624E - Proportional + Reset + Derivative
- OF624AG - Differential Gap (Indirect Set)

**DIFFERENTIAL LIQUID LEVEL MODELS.**

For measuring and controlling liquid level, using either mercury manometers or dry-type differential-pressure units. The model numbers are the same as for flow, except that the suffix number 17 is added to the model number instead of suffix number 45.

**GENERAL SPECIFICATIONS.**

*Case:*

Weatherproof, die-cast aluminum case with gasketed aluminum door.

*Finish:*

Gray enamel standard, black optional.

*Case Dimensions:*

7-3/4 inches wide x 8 inches high x 5 inches deep.

*Panel Cutout Dimensions:*

7-3/16 inches wide x 7-9/16 inches high.

*Mounting:*

Interchangeable flush or surface mounting. Optional brackets and U-clamps available for 2-inch pipe mounting.

*Weight:*

Approximately 8 pounds with pressure measuring element.

*Indicating Scales:*

Segmental, 3-1/4-inch calibrated length. Black numerals on white background. Fluorescent pointers for measured variable and setpoint.

*Output:*

3-15 psig standard. Other ranges available up to 12-60 psig. Reversible control action.

*Air Supply:*

20 psig standard for 3-15 psig output range.

*Connections:*

Supply and output, 1/4-inch NPT female at bottom of case.

**OPERATING CHARACTERISTICS.**

*Calibrated Accuracy:*

Temperature:  $\pm 0.5\%$  of span.  
Pressure and vacuum:  $\pm 0.5\%$  of span.  
Absolute and differential pressure:  $\pm 0.5\%$  of span.  
Flow:  $\pm 0.5\%$  of full-scale value (from 20% to 100% of range).

*Control Actions:*

Proportional; proportional + reset; proportional + derivative; proportional + reset + derivative; or differential gap.

*Mode Adjustments:*

Proportional band: 1 to 400%.  
Reset rate: 0.02 to 70 repeats per minute.  
Derivative time: 0.2 to 20 minutes.  
Differential gap: 0.5 to 100% or 2 to 100%.

*Response Level:*

0.006% of span.

*Frequency Response:*

Response curve flat to 400 cpm with proportional control unit; to 300 cpm with proportional + reset, and 3-mode units.

*Pilot Capacity:*

3 scfm, exhaust or delivery, for 1 psi change in output pressure. (2 scfm exhaust and 1.7 scfm delivery with differential gap control units).

*Air Consumption:*

0.1 scfm at balance with 20 psig air supply.

*Temperature Stability:*

$\pm 1\%$  of span change in output pressure for 100°F change in ambient temperature.

**ATTACHMENTS**

Attachment Specification	Description
M9	Vent Connection on Standard Case for Gas Operation, 1/2" N.P.T.
V9	External Setpoint Adjustment Knob
V10	No Supply or Output Gauges
V11	Case Drill for On-Valve Mounting
V12	Blow-Out Grommet
V15	Pneumatic Setpoint with Indicator Stops (All except derivative model)
V24D	Internal Two-Position Man-Auto By-Pass Valve
V33BX	Pneumatic Setpoint with Indicator Stops for Derivative Models
V33X	External Reset Feedback Connection
Z31	Shatterproof Glass for Three Cutouts in Door
Z32	Pipe-Mounting Bracket and U-Clamp for 2-inch Pipe (For OE2P624 only)
Z32A	Pipe-Mounting Bracket and U-Clamp for 2-inch Pipe (all other 624 models)

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that proper record-keeping is essential for transparency and accountability, particularly in the context of public administration and financial management. The text notes that without reliable records, it is difficult to track the flow of funds and ensure that resources are being used as intended.

2. The second part of the document addresses the challenges associated with data collection and analysis. It highlights that while modern technology offers powerful tools for data processing, the quality and consistency of the data itself can be a significant barrier. The document suggests that standardized protocols and regular training for data entry personnel are necessary to overcome these challenges and ensure that the information being collected is both accurate and usable.

3. The third part of the document focuses on the role of communication in the success of any project or initiative. It argues that clear and consistent communication is vital for ensuring that all stakeholders are aligned and that any potential misunderstandings are resolved promptly. The text recommends the use of regular meetings, progress reports, and open channels for feedback to foster a collaborative and productive environment.

4. The fourth part of the document discusses the importance of flexibility and adaptability in the face of changing circumstances. It notes that while a solid plan is essential, it is equally important to be able to adjust that plan as new information is gathered and conditions evolve. The document encourages a mindset of continuous improvement and the willingness to pivot when necessary to stay on track and achieve the desired outcomes.

5. The fifth and final part of the document provides a summary of the key points discussed and offers some concluding thoughts. It reiterates that success is not achieved through a single action but through a combination of careful planning, diligent execution, and effective communication. The document concludes by expressing confidence that the principles outlined will be helpful in navigating the complexities of the current environment.

## CONTROLADOR BAILEY TIPO "AN" CON BANDA PROPORCIONAL FIJA

### Descripción de Operación.

Referirse a la figura No. 5 para esta descripción. Seis diafragmas flexibles dividen el controlador en 7 cámaras de presión. Las cámaras E1, E2 y E3 son las cámaras de entrada de presión. Las cámaras de venteo están abiertas a la atmósfera y sirven únicamente para separar las cámaras E1, E2 y E3. Todos los diafragmas se mueven simultáneamente ya que están sujetos por su centro por el conjunto sujetador de diafragmas. Un resorte de carga ajustable está unido a uno de los extremos de el sujetador del diafragma. El suministro de aire entra por debajo del asiento de la válvula de entrada.

En operación, la presión en la cámara de señal de salida está balanceada contra la presión total efectiva de las cámaras de entrada y la fuerza de resorte de carga. Cuando la presión se aplica a las cámaras de entrada, el conjunto sujetador de diafragmas se mueve hacia abajo para cerrar la válvula de escape y abrir la válvula de suministro de aire. Esto aumenta la presión en la cámara de salida hasta que es suficiente para regresar el sujetador del diafragma y hacer que el vástago de la válvula vuelva a su posición original. La presión de salida será entonces igual al efecto total de la presión de entrada y la fuerza del resorte de carga.

Las presiones suministradas a las cámaras E1 y E3 actúan para mover el conjunto sujetador del diafragma hacia abajo. Las presiones suministradas a la cámara E2 (y la presión de salida) ejercen una fuerza hacia arriba. La presión de salida resultante está expresada como sigue:

$$E1 - E2 + E3 + K = \text{Presión de salida} = Eo$$

Donde:

E1, E2 y E3 son presiones de entrada y K es la fuerza ejercida por el resorte de carga. Los valores de las señales son 3 a 15 libras por pulgada cuadrada.

Las conexiones en la base de montaje y la posición del múltiple programador pueden variarse para suministrar funciones al controlador que están enlistadas en la tabla A, el múltiple programador transfiere las presiones de entrada desde la base de montaje a la cámara adecuada al controlador para efectuar la función particular deseada. Cuando el múltiple programador está en la posición "Integral" (reposición), se tiene una vál-

vula de estrangulamiento en la base de montaje conectada entre la cámara de salida y la cámara de presión E3 para efectuar la acción integral. La válvula de estrangulamiento puede ajustarse para suministrar desde 0.05 a 100 repeticiones por minuto. Funciones adicionales, algunas de las cuales requieren entubado especial ó accesorios, se muestran en la figura No. 2.

### Como Controlador.

Esta unidad se utiliza para modo de control "Integral" (ó acción de reposición), ó para modo de control derivativo, no está diseñado para obtener los dos modos en una unidad, sino sólo uno ú otro.

#### I Modo Integral, Fig. 2

Cuando las señales de entrada E1 y E2, son de igual valor, el sistema está en balance y la presión de salida se mantiene en un valor. Es decir:

$$E1 = E2, E3 = E0$$

- a. Si en cierto momento,  $E1 > E2$ , la válvula de admisión de aire se abre incrementándose la presión en la cámara E0
- b. Un incremento en la cámara E0, provoca un incremento en E3 ya que están comunicadas a través de una válvula de aguja (ajuste de velocidad de la acción integral calibrada en repeticiones/minuto), este incremento en E3 abre nuevamente la válvula de admisión de aire incrementando nuevamente a E0 y así sucesivamente.

Por lo tanto el incremento de presión en la cámara E0, es continuo e ininterrumpido mientras  $E1 > E2$ .

Si E1 vuelve a igualarse a E2, entonces la acción integral termina y el sistema vuelve al estado de balance.

- c. Si en cierto momento  $E1 < E2$ , la válvula de escape de aire se abre a la atmósfera disminuyendo la presión en la cámara E0 y por lo tanto también en E3 y en forma sucesiva y continua hasta que E1 se iguale a E2.

#### II Modo Derivativo, Fig. 2

Para obtener esta acción de control, la señal de entrada se conecta a cámaras E1, E2 y E3. La conexión a las cámaras E3 y E2, se hace a través de una válvula de aguja; cuando el sistema está en balance:

$$E_1 = E_2 = E_3, \quad E_3 = E_o$$

Es decir, que la señal de salida  $E_o$  es igual a la señal de entrada  $E_1$ .

- a. Cuando existe un incremento en la señal de entrada  $E_1$ , la válvula de admisión de aire se abre, incrementandose en la misma cantidad la presión de salida  $E_o$ .
- b. Ahora bien, la nueva presión de entrada también se aplica a las cámaras  $E_3$  y  $E_2$  a través de las válvulas de aguja. Las cámaras son de acción opuesta de modo que si las válvulas se ajustan con la misma ~~señal~~ área de paso, la señal de entrada se aplica con la misma velocidad a las dos cámaras y la acción derivativa se anula.
- c. Acción derivativa  $V_{E3} > V_{E2}$ .  
Cuando la válvula de la cámara  $E_3$  está más abierta que la de la cámara  $E_2$ , la presión de la cámara  $E_3$  se iguala a la presión de entrada con mayor velocidad que la presión de la cámara  $E_2$ . La acción resultante se muestra en la figura No. 5a.

Se observa en la misma figura, que para mayor abertura de la válvula de  $E_3$ , mayor será el incremento total inicial que se obtiene en la señal de salida, antes de igualarse al nuevo valor de la presión de entrada. Esta característica es realmente la acción derivativa comúnmente usada.

- d. Acción derivativa  $V_{E3} < V_{E2}$ .  
Cuando la válvula de la cámara  $E_3$  está más cerrada que la de la cámara  $E_2$ , la presión de la cámara  $E_3$  se iguala a la presión de entrada con menor velocidad que la presión de la cámara  $E_2$ . La acción derivativa resultante se muestra en la figura No. 5b, se observa en esta figura, que el resultado es una acción de retardo y esta acción definitivamente no es recomendable para los sistemas de control.

Debido a este efecto, normalmente no se recomienda la válvula a la entrada de la cámara  $E_3$  y en esta forma el incremento en la señal de entrada se aplica simultáneamente a las cámaras  $E_1$  y  $E_3$  y con solo ajustar la válvula en  $E_2$ , se consigue el efecto correcto de la figura 5a.

## Como Relevador Computador.

Esta unidad se utiliza también para funciones de computación y limitación.

### I Extractor de mitad.

Según se muestra en la fig. 2 (medidor), la señal de entrada se conecta con la cámara E1; y la cámara Eo (señal de salida), se conecta con la cámara E2.

De la ecuación de equilibrio:

$$E_o = E_1 - E_2 + E_3 + K$$

pero debido a la forma de conectar

$$E_2 = E_o, \quad E_3 = 0$$

Por lo tanto:

$$E_o = E_1 - E_o + K$$

$$2E_o = E_1 + K$$

y los incrementos:

$$2\Delta E_o = \Delta E_1 + \Delta K$$

pero K es fijo ó sea  $\Delta K=0$

$$\text{Por lo tanto } \Delta E_o = \frac{\Delta E_1}{2}$$

### II Doblador.

Según se muestra en la fig. 2 (doblador), la señal de entrada se conecta con la cámara E1 y E3 (señal entrada =E1)

De la ecuación de equilibrio:

$$E_o = E_1 - E_2 + E_3 + K$$

pero debido a la forma de conectar

$$E_3 = E_1, \quad E_2 = 0$$

Por lo tanto:

$$E_o = E_1 + E_1 + K$$

$$E_o = 2E_1 + K$$

Hablando de incrementos:

$$K = \text{fijo}, \quad \Delta K = 0$$

$$\text{y} \quad \Delta E_o = 2 \Delta E_1$$

### III Diferencia.

Según se muestra en la fig. 2 (diferencial), las señales de entrada son E1 y E2.

De la ecuación de equilibrio:

$$E_o = E_1 - E_2 + E_3 + K$$

tenemos

$$E_3 = 0$$

por lo tanto:

$$E_o = E_1 - E_2 + K$$

Hablando de incrementos:  $\Delta K = 0$

$$\Delta E_o = \Delta E_1 = \Delta E_2$$

### IV Suma.

La suma de dos señales de entrada se consigue, conectando las mismas a las cámaras E1 y E3.

De la ecuación de equilibrio:

$$E_o = E_1 - E_2 + E_3 + K$$

pero

$$E_2 = 0$$

Por lo tanto:

$$E_o = E_1 + E_3 + K$$

Hablando de incrementos:

$$\Delta K = 0$$

$$\Delta E_0 = \Delta E_1 + \Delta E_3$$

V Totalización.

La resultante de totalizar los valores de tres señales de entrada es la ecuación completa de equilibrio:

$$E_0 = E_1 - E_2 + E_3 + K$$

y hablando de incrementos:

$$\Delta K = 0$$

$$\Delta E_0 = \Delta E_1 - \Delta E_2 + \Delta E_3$$



b

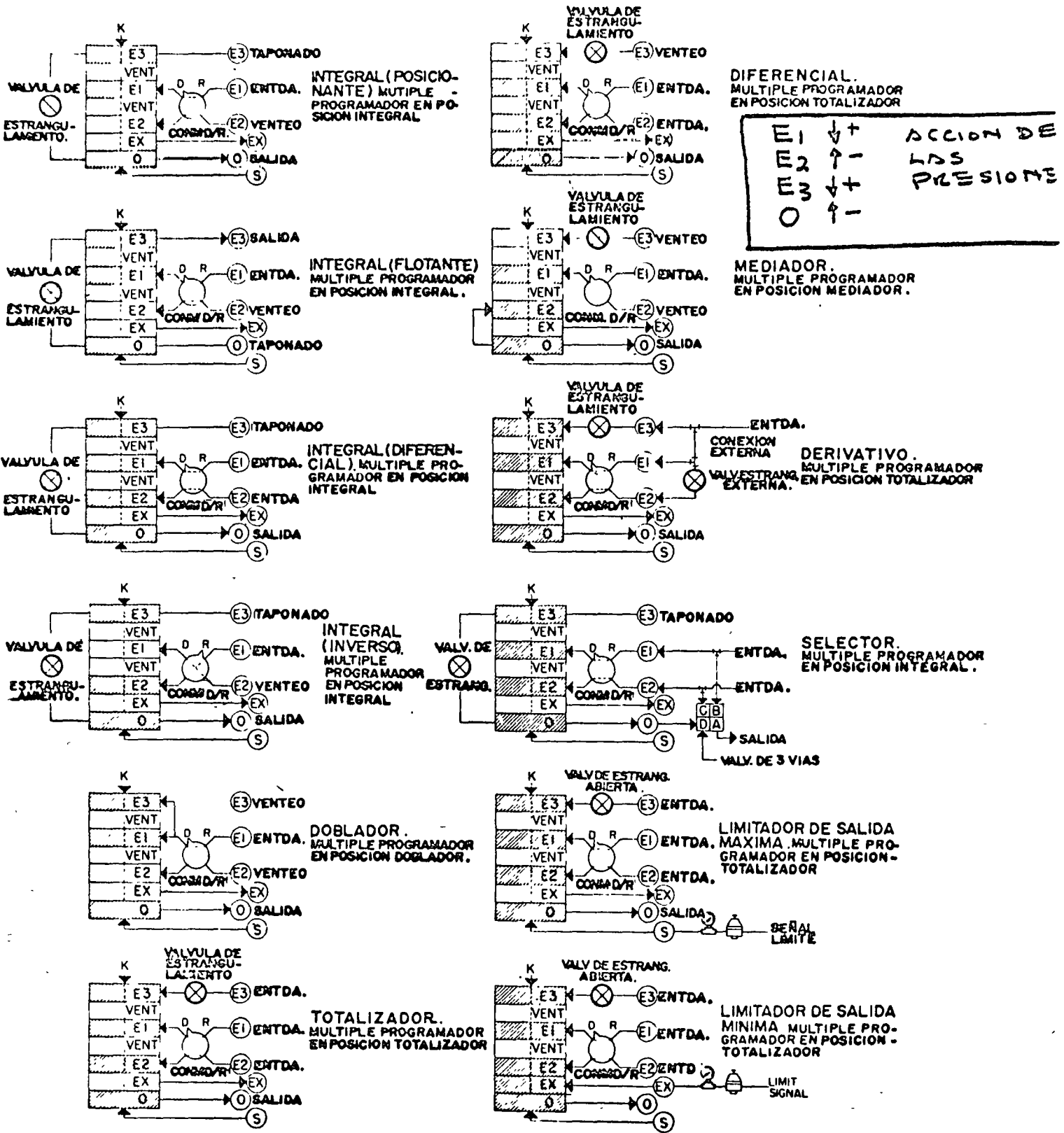
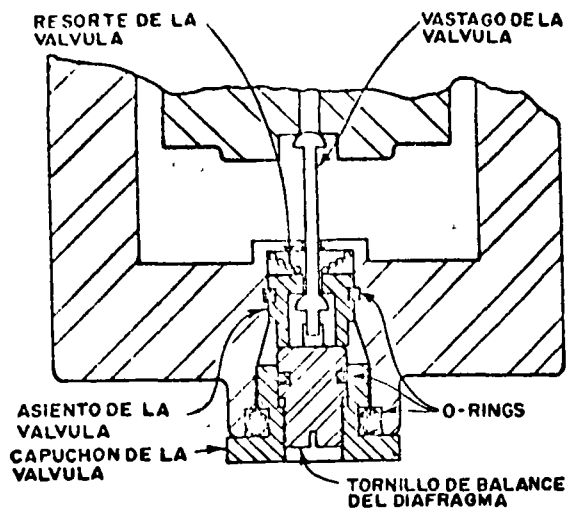
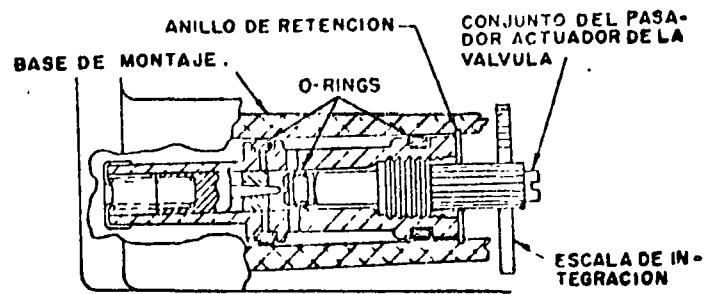


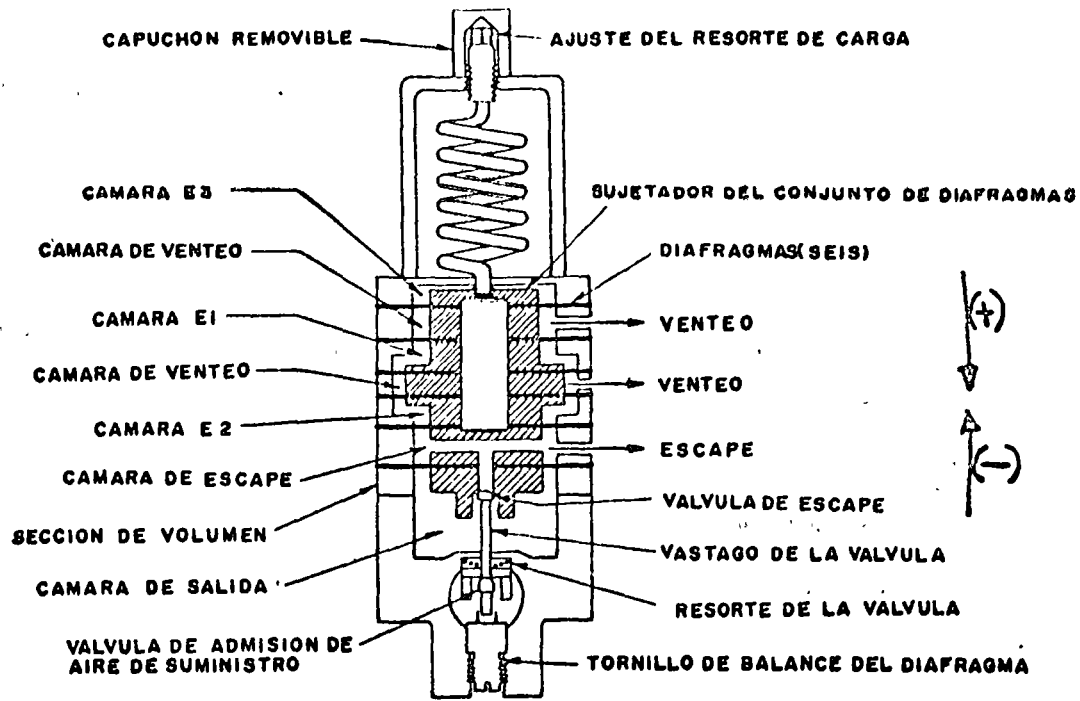
FIGURA 2. CONEXIONES DE ENTUBADO PARA APLICACIONES TÍPICAS DEL CONTROLADOR TIPO AN



**FIGURA 3** - ESQUEMA DEL CONJUNTO DE LA VALVULA ADMISION-ESCAPE



**FIGURA 4** - CONJUNTO DE LA VALVULA DE INTEGRACION



**FIGURA 5 . ESQUEMA DE CONTROLADOR TIPO AN**

# CONTROLADOR AN (BAILEY).

2

$VE3 > VE2$

$VE3 < VE2$

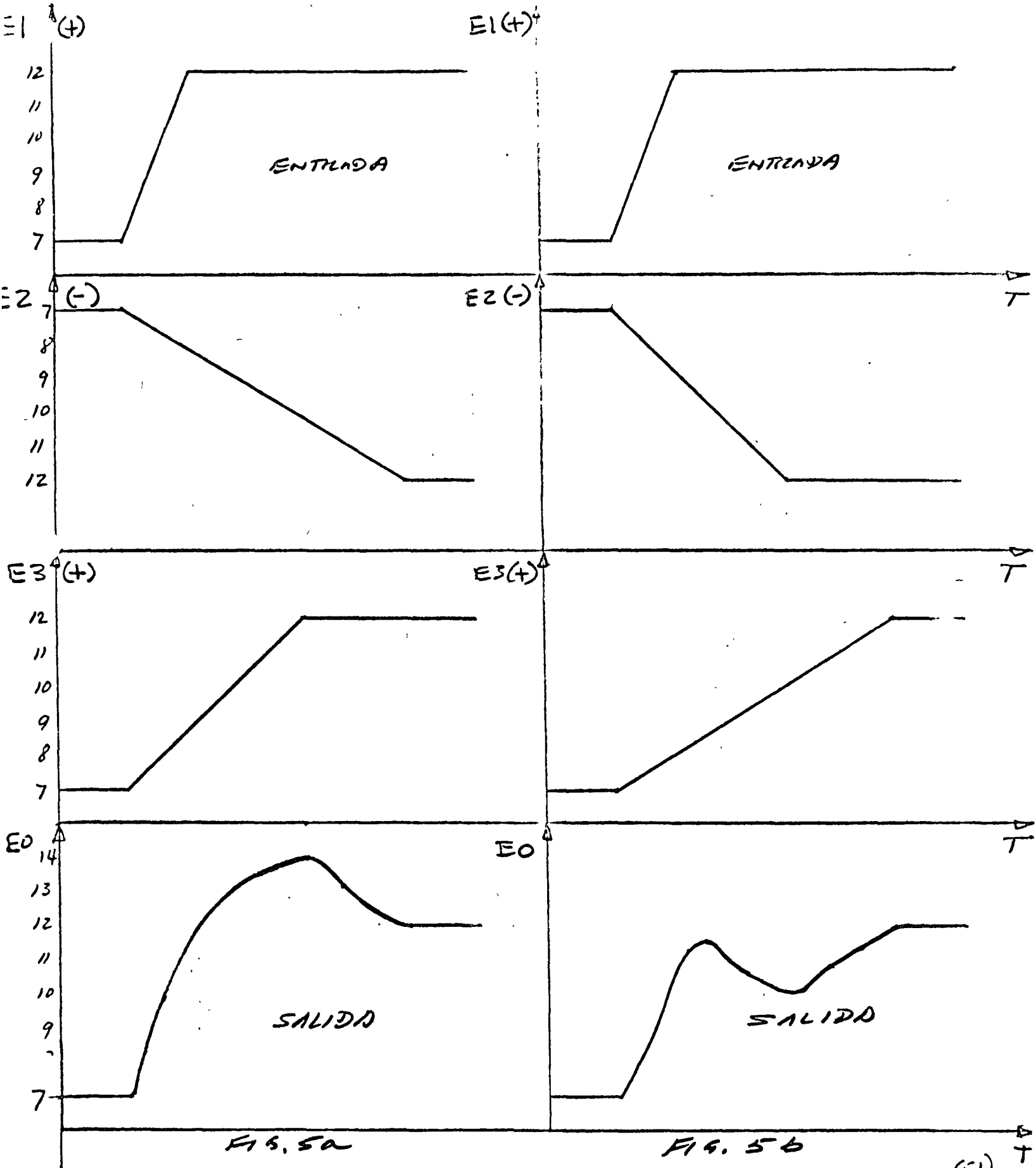


FIG. 5a

FIG. 5b

(E1)

T



CONTROLADOR BAILEY CON BANDA PROPORCIONAL AJUSTABLE.

Descripción de Operación.

El mecanismo se muestra esquemáticamente en la figura No. 3 y se compone de dos porciones; el mecanismo de medición y el mecanismo de transmisión.

Mecanismo de Medición.

Consiste de dos fuelles montados sobre una placa fija, los extremos móviles de estos fuelles van unidos a una viga móvil

La viga móvil gira sobre un pivote central, de modo que la acción del fuelle "A" es contraria a la acción del fuelle "B" sobre el giro de esta viga. El balance de este sistema se efectúa por medio de un resorte montado a un extremo de esta viga.

En el otro extremo se encuentra el tirante de la lengüeta que obstruye en mayor ó menor grado, al orificio de descarga de aire de la tobera.

Mecanismo de Retroalimentación.

Este mecanismo consiste de un arreglo similar al anterior y se compone de los fuelles "C" y "D".

El propósito del mecanismo es restablecer la tobera a la posición de equilibrio del sistema.

Relevador.

Esta unidad detecta la presión de la tobera y en función de esta presión el relevador abre ó cierra la válvula de suministro de aire ó la válvula de desfogue para así aumentar ó disminuir la presión de salida hacia el sistema restablecedor y hacia el exterior.

<u>Presión tobera</u>	<u>Acción Relevador</u>
P > 2 psig	Incremento presión salida
P = 2 psig	Mantiene presión salida.
P < 2 psig	Disminución presión salida

Esto significa que la presión es de 2 psig en la tobera cuando el sistema está en balance.

Balance y Desbalance.

El sistema está en balance cuando la presión de salida se mantiene en un valor fijo.

Cuando en alguna viga el equilibrio de fuerzas de los fuelles y el resorte se efectúa en una posición diferente al paralelismo entre viga y base, entonces el sistema está fuera de balance.

En esta condición de desbalance la presión de la tobera es diferente de 2 psig y por lo tanto la presión de salida esta variando en su valor, buscando la condición de balance.

Ganancia.

Por definición de ganancia tenemos.

$$G = \frac{\text{Cambio en la presión de salida}}{\text{Cambio en la presión de entrada}} = \frac{\Delta D}{(\Delta A - \Delta B)}$$

La presión de salida equivale a la presión del fuelle "D".

La presión de entrada equivale a la diferencia de los fuelles "A" y "B".

Para una calibración dada, G es un valor constante y podemos escribir.

$$\Delta D = G (\Delta A - \Delta B)$$

En No. "G", es una constante de proporcionalidad entre D y (ΔA-ΔB).

Sabemos que % banda proporcional =  $\left(\frac{1}{\text{ganancia}}\right) 100$

$$\text{ó sea \% B.P.} = \frac{100}{G}, \quad G = \frac{100}{\%BP}$$

$$\text{por lo tanto } \Delta D = \frac{100}{\%BP} (\Delta A - \Delta B)$$

Esta constante de proporcionalidad se obtiene mecánicamente y consiste en la relación entre el desplazamiento de la lengüeta y el movimiento de la viga A - B.

El valor de esta relación se obtiene, variando el "ángulo" entre la lengüeta y el brazo del sector, según se muestra en la figura 6.

El desplazamiento de la lengüeta es igual al desplazamiento que la tobera debe efectuar para encontrar el balance.

El desplazamiento de la tobera lo efectúa un incremento de presión en "D" ( $\Delta D$ ), por lo tanto dicho ángulo relaciona al movimiento ( $\Delta A - \Delta B$ ) y al resultado  $\Delta D$ .

#### Ecuación del Controlador.

Hasta el momento hemos mencionado la relación que existe entre las cámaras A, B y D, y lo anterior es correcto si consideramos presión cero en dicha cámara C.

Ahora bién; la acción de la presión sobre la cámara C es opuesta a la de la cámara D, por lo tanto podemos escribir.

$$(\Delta D - \Delta C) = G (\Delta A - \Delta B)$$

Hablando de presiones valores absolutos y considerando que:

1°  $R_{AB}$  = Fuerza del resorte en viga A - B

$R_{DC}$  = Fuerza del resorte en viga D - C

2° Signos (+) para incrementos en cámara que resulten en incrementos en salida.

Signos (-) para incrementos en cámara que resulten en disminución en salida.

D (+), C (-), A (+), B (-)

Según esto: La ecuación general del controlador es en el momento de balance:

$$(D - C \pm R_{DC}) = G (A - B \pm R_{AB})$$

Por lo tanto  $(D - C) = G (A - B \pm R_{AB}) \pm R_{DC}$ .

Esta ecuación es la de una función lineal (recta) y su interpretación se tiene en la figura 8.

En sistemas de computación y control se da el ajuste de acuerdo al comportamiento deseado (fig. 8), y una vez ajustado los valores  $R_{AB}$  y  $R_{DC}$  son constantes y en la mayoría de los casos, lo que interesa es la relación entre los incrementos y no de los valores absolutos ya que estos últimos son valores arbitrarios.

en esta forma,  $\Delta R_{DC} = 0$ ,  $\Delta R_{AB} = 0$

por lo tanto  $(\Delta D - \Delta C) = G (\Delta A - \Delta B)$

$$\Delta D = G (\Delta A - \Delta B) + \Delta C$$

$$\delta \quad \Delta D = \frac{100}{B.P.} (\Delta A - \Delta B) + \Delta C$$

### Como Controlador.

Esta unidad puede operar como un controlador con los diferentes modos de control y estos se consiguen haciendo ciertos arreglos de interconexión entre las cámaras C, D y el relevador amplificador de transmisión (Booster).

### I Controlador con Acción Proporcional.

La acción proporcional es la relación lineal ajustable entre la señal de entrada y la señal de salida (fig. No. 8).

Como se ilustró anteriormente, el ajuste de esta relación se llama banda proporcional. Supongamos que hemos ajustado el valor de banda proporcional en 50% y hemos variado el valor de la señal de entrada en 2 psi, tendremos

$$(\Delta A - \Delta B) = 2$$

Por lo tanto:

$$(\Delta D - \Delta C) = \frac{100}{\%BP} (2)$$

$$(\Delta D - \Delta C) = \frac{100}{50} \times 2 = 4 \text{ psi}$$

ahora bien, para el control de acción proporcional el fuelle C va a la atmósfera con su válvula de aguja totalmente abierta (fig. 5b).

$$\Delta D = 4 \text{ psi (señal de salida)}$$

La variación de 4 psi puede ser en más ó en menos dependiendo del signo del termino  $(\Delta A - \Delta B)$ .

### II Controlador con Acción Integral.

Esta acción se consigue interconectando los fuelles C y D a través de una válvula de aguja situada a la entrada del fuelle C (figura 5a).

Cuando el sistema está en equilibrio, la presión en el fuelle C es igual a la presión en el fuelle D.

y podemos escribir  $\Delta D = \Delta C$

y sustituyendo en la ecuación tendremos:

$$0 = G (\Delta A - \Delta B)$$

Sabemos que G es diferente de cero, por lo tanto, debe cumplirse:

$$\Delta A = \Delta B$$

Si la señal de entrada al fuelle A es la variable, entonces la señal al fuelle B es el valor de control deseado (set point neumático) y viceversa.

En algunos casos el set point neumático es sustituido con un set point mecánico mediante un ajuste en el resorte  $R_{AB}$ .

El valor del set point se compara continuamente con el valor de la señal de entrada y si no tienen el mismo valor entonces se provoca una posición de desbalance variando la presión de la tobera y por lo tanto variando también la señal al fuelle D en la señal de salida. La nueva presión en D, tiende a reposicionar a la tobera a su posición de balance pero en ese momento la nueva presión del fuelle D se aplica paulatinamente al fuelle C, oponiéndose a la acción de balance del fuelle D en forma continua.

Esto quiere decir que el valor de la señal de salida estará variando en forma ininterrumpida hasta que se cumpla la igualdad  $A = B$ , es decir que el valor de la variable sea igual al valor del set point.

Controlador con Acción Derivativa.

Para conseguir esta acción, se instala un fuelle doble en la posición "D" como se muestra en la figura 7.

El fuelle D interno se conecta directamente a la señal de salida del Booster y el fuelle D externo se conecta también a la señal de salida excepto que se hace a través de una válvula de aguja ajustable.

Por otro lado:

$$\frac{\text{Area fuelle D externo}}{\text{Area fuelle D interno}} = 7$$

Para entender esta acción derivativa, pensemos que la válvula de aguja esta cerrada e incrementamos la presión en el fuelle "A".

Este incremento produce un aumento en la señal de salida, hasta un balance que podemos escribir:

$$\Delta C = 0$$

Por lo tanto:

$$7 \Delta D = G (\Delta A - \Delta B)$$

Esto significa que el balance se obtiene con siete veces el valor normal, que se consigue cuando se aplica a toda el área del fuelle D.

Si ahora abrimos un poco la válvula de aguja, la presión de salida se aplica lentamente al fuelle exterior y paulatinamente irá descendiendo la presión de salida hasta el valor normal:

$$\Delta D = G (\Delta A - \Delta B)$$

cubriéndose la acción derivativa.

Como Relevador Computador.

I Extractor de Mitad.

Para conseguir esta función, la señal de entrada se conecta al fuelle "A" y la banda proporcional se ajusta en 200%

haciendo  $\Delta C = 0$ ,  $\Delta B = 0$  (atmósfera)

sustituyendo en:

$$\Delta D - \Delta C = \frac{100}{B.P.} (\Delta A - \Delta B)$$

queda:

$$\Delta D = \frac{100}{200} (\Delta A)$$

$$\Delta D = \frac{1}{2} \Delta A$$

II Doblador.

Para conseguir esta acción, se considera el caso anterior excepto que ahora B.P. = 50, entonces:

$$\Delta D = \frac{100}{50} \Delta A$$

$$\Delta D = 2 \Delta A$$

### III Acción Suma.

Para conseguir esta acción, se conectan las señales de entrada a los fuelles A y C, la banda proporcional se ajusta en 100% y entonces  $(\Delta D - \Delta C) = \frac{100}{100} (\Delta A - \Delta B)$

o sea:

$$\Delta D = \Delta A - \Delta B + \Delta C$$

se hace  $\Delta B = 0$  (atmósfera)

por lo tanto  $\Delta D = \Delta A + \Delta C$

si hacemos B.P. diferente de 100, la acción sería "proporcional + suma".  $\Delta D = \frac{100}{B.P.} \Delta A + \Delta C.$

### IV Acción Diferencia.

Para esta función se conectan las señales de entrada a fuelles A y B, el fuelle C se ventea a la atmósfera de modo que con banda proporcional = 100 tenemos:

$$\Delta D = \Delta A - \Delta B$$

si hacemos B.P. diferente de 100, entonces la acción sería "diferencia + proporcional".  $\Delta D = \frac{100}{B.P.} (\Delta A - \Delta B).$

### V Suma y Diferencia Simultáneas.

Esta acción involucra tres señales de entrada a los fuelles A, B y C, por lo tanto:

$$\Delta D = \frac{100}{B.P.} (\Delta A - \Delta B) + \Delta C$$

se ajusta la banda proporcional en 100 y entonces:

$$\Delta D = \Delta A - \Delta B + \Delta C$$

si la B.P. es diferente de 100 entonces la acción sería "diferencia + proporcional + suma".

$$\Delta D = \frac{100}{B.P.} (\Delta A - \Delta B) + \Delta C.$$

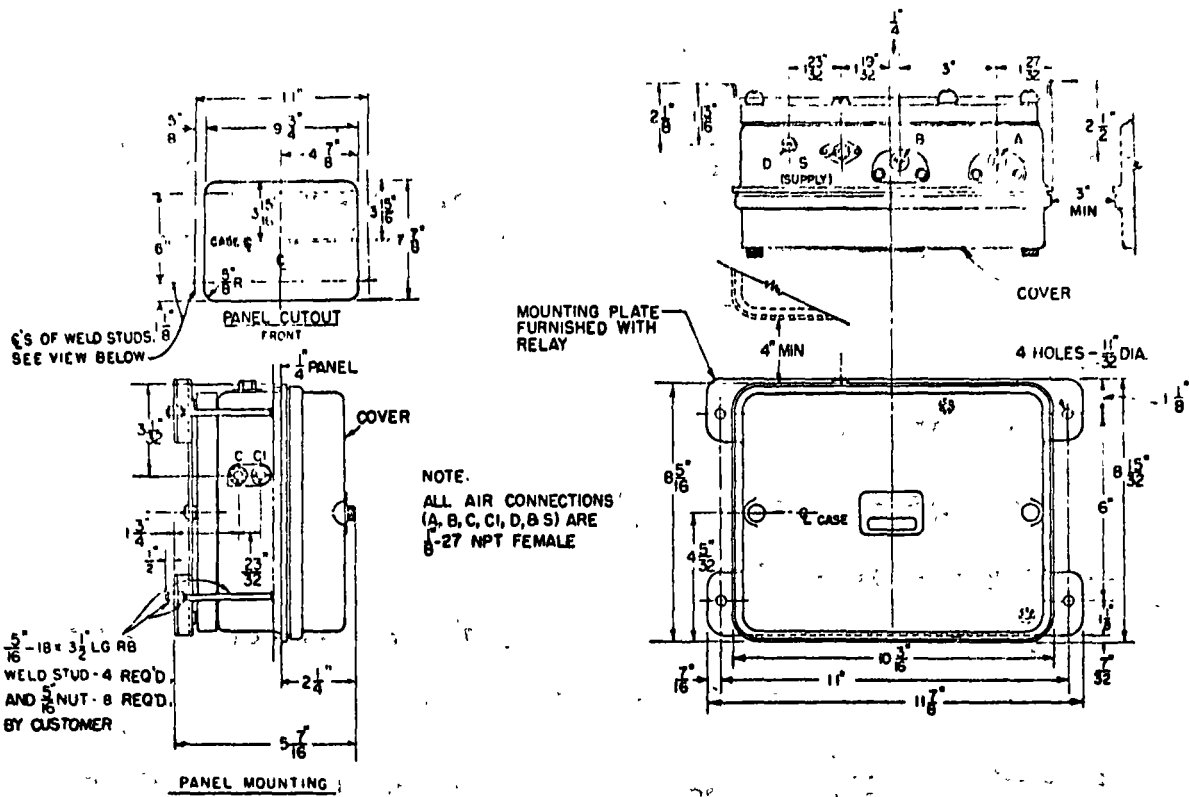


FIGURE 1—Relay Mounting Dimensions

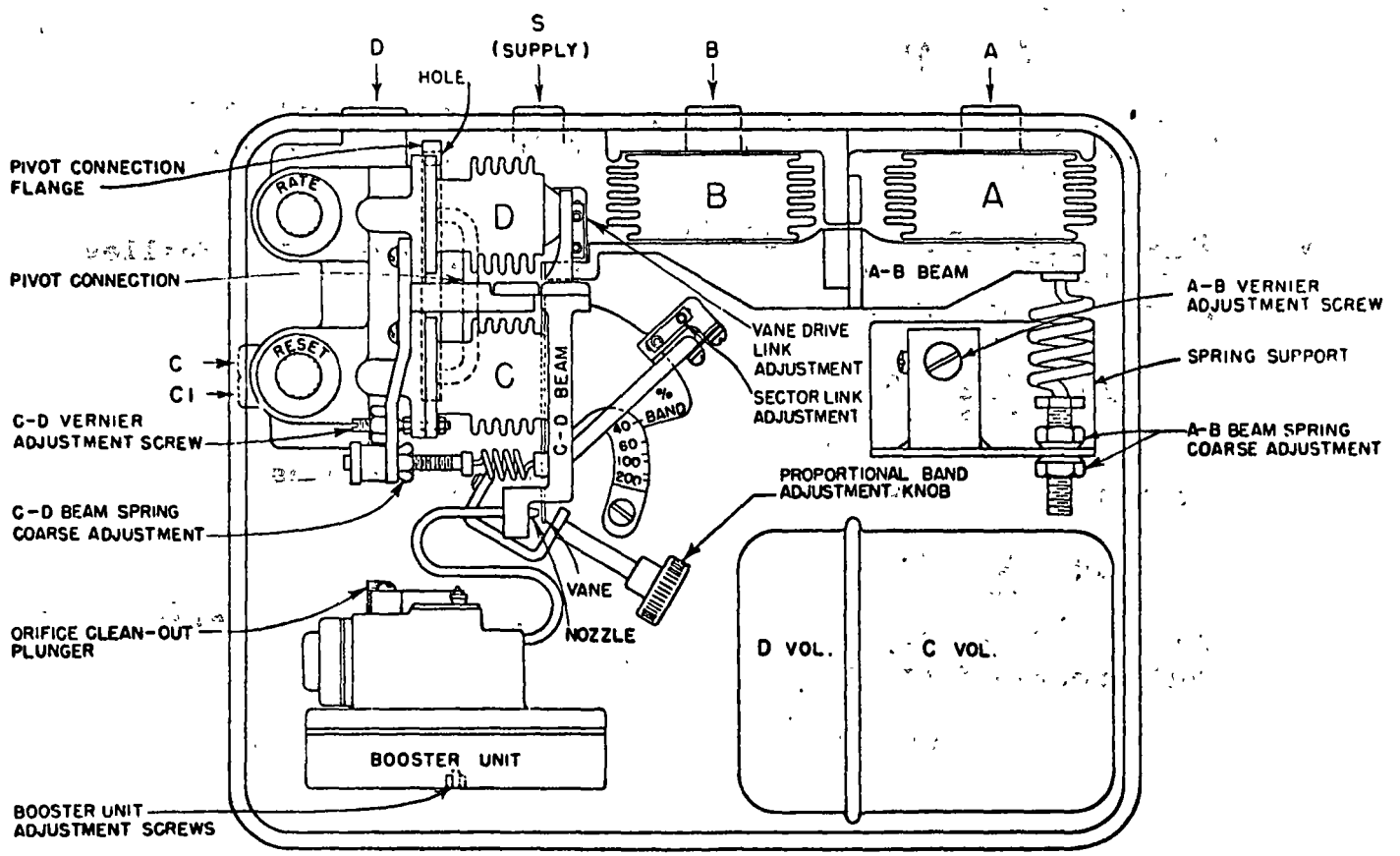
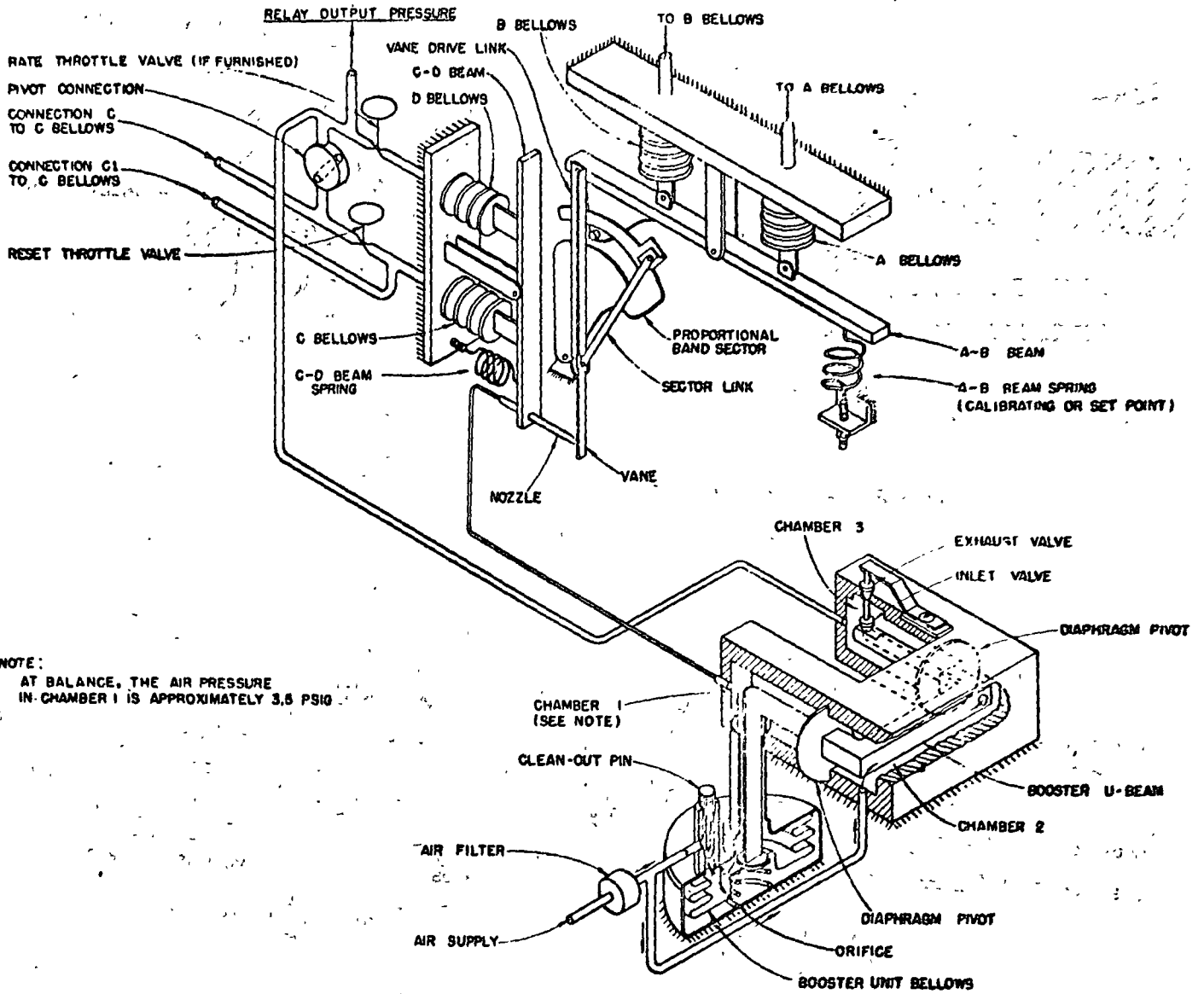


FIGURE 2—Relay Adjustments



NOTE:  
 AT BALANCE, THE AIR PRESSURE  
 IN CHAMBER 1 IS APPROXIMATELY 3.5 PSIG

FIGURE 3—Relay Mechanism Shown Schematically

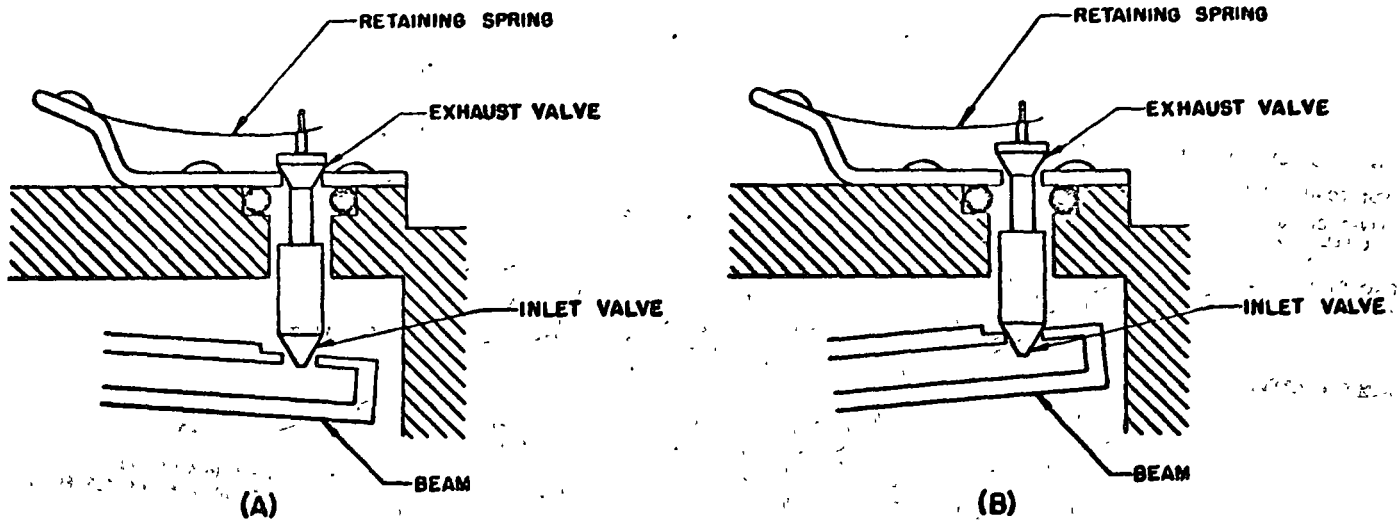


FIGURE 4—Operation of Inlet - Exhaust Valve in Booster Unit

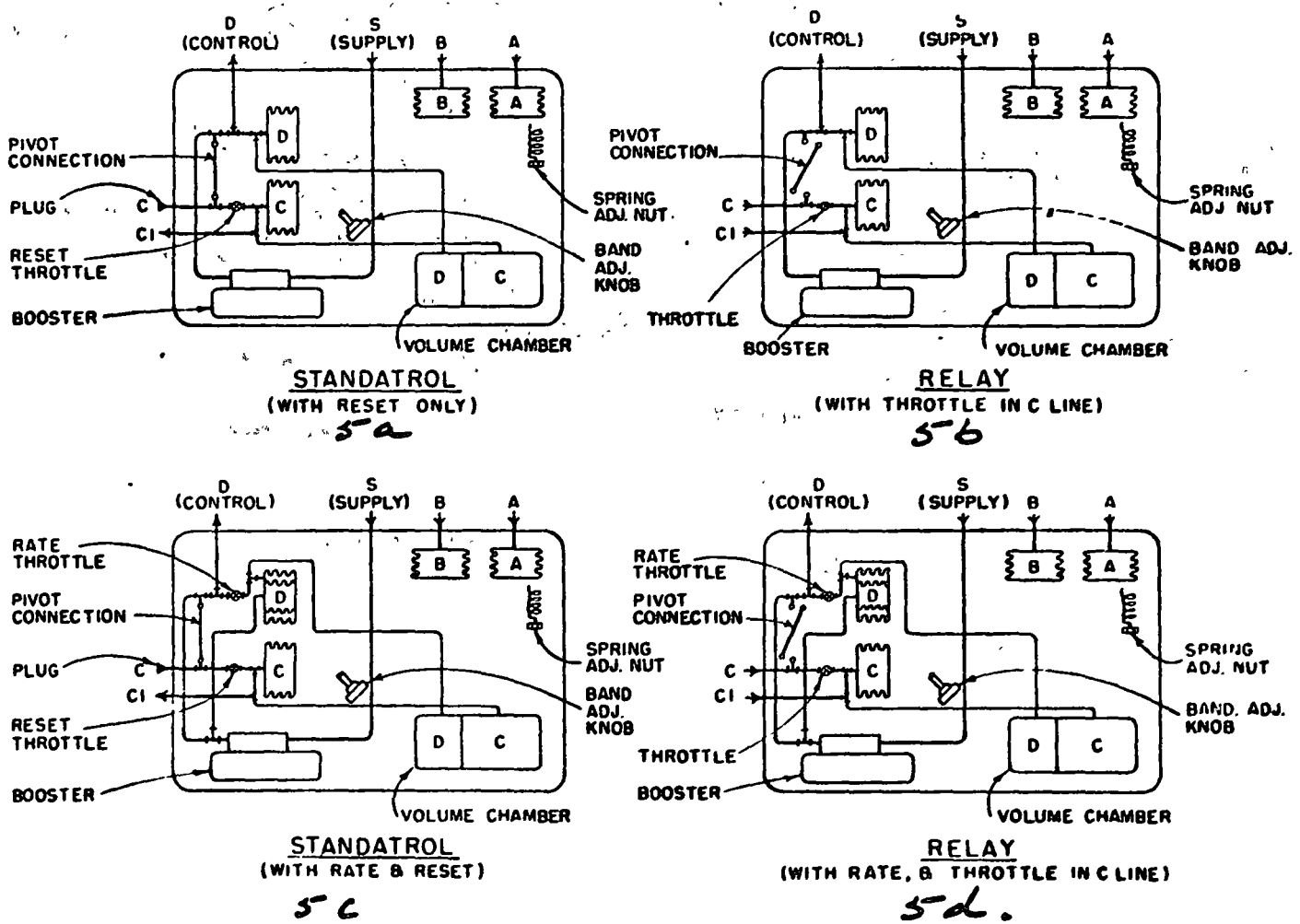


FIGURE 5—Internal Piping Arrangements

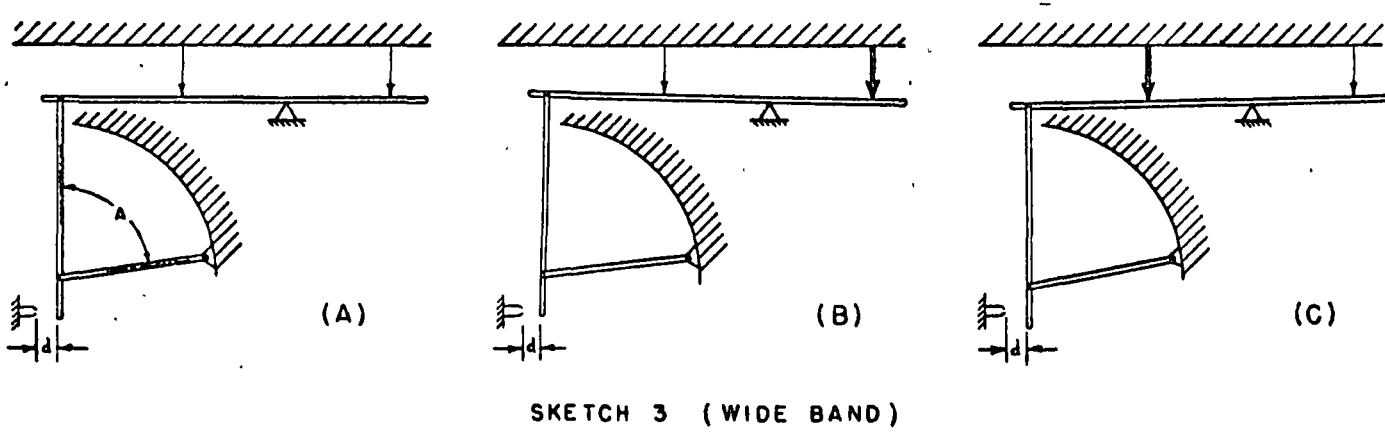
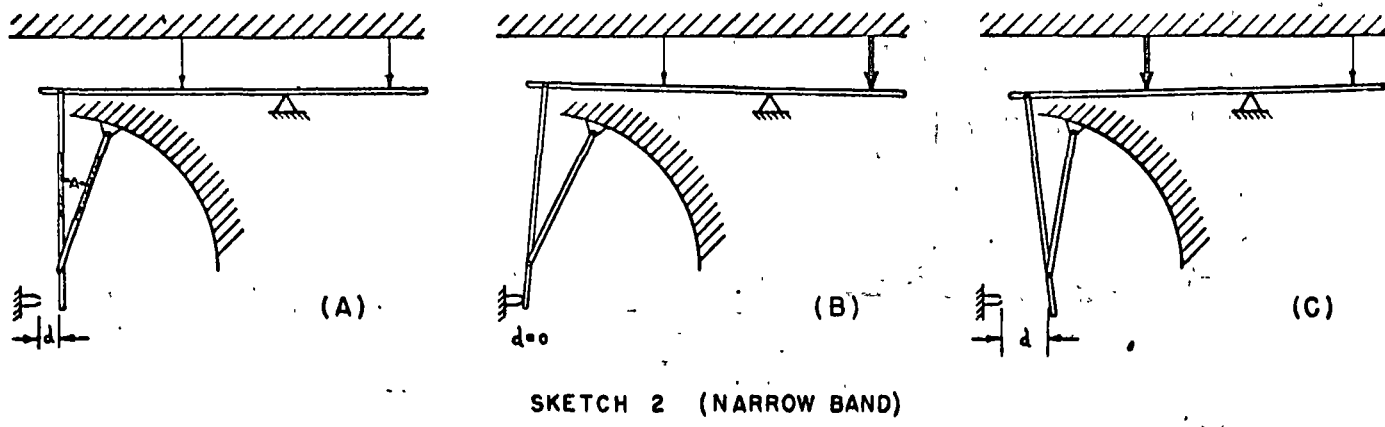
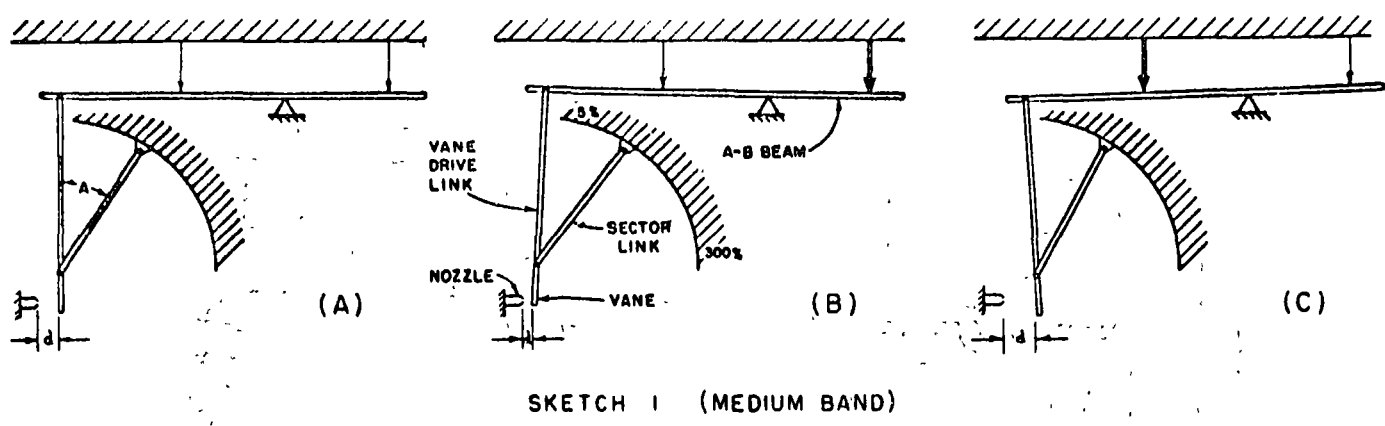
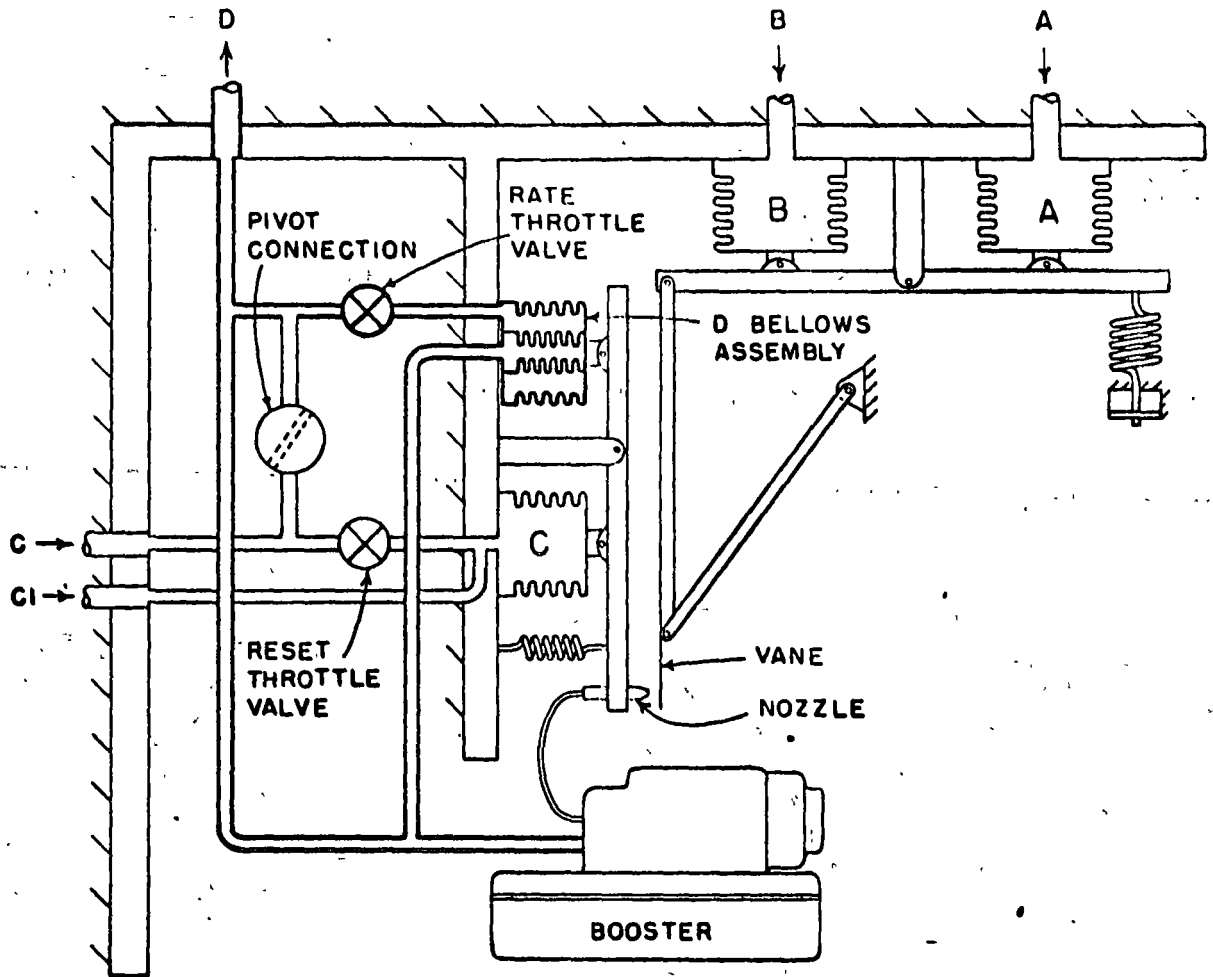


FIGURE 6—Positions of Vane and Nozzle for Different Proportional Band Settings



**FIGURE 7—Relay Mechanism for Providing Rate Action**

Ecuación del controlador,  
 con banda proporcional ajustable.

f

$$(D-C) = G(A-B \pm R_{AB}) \pm R_{DC}$$

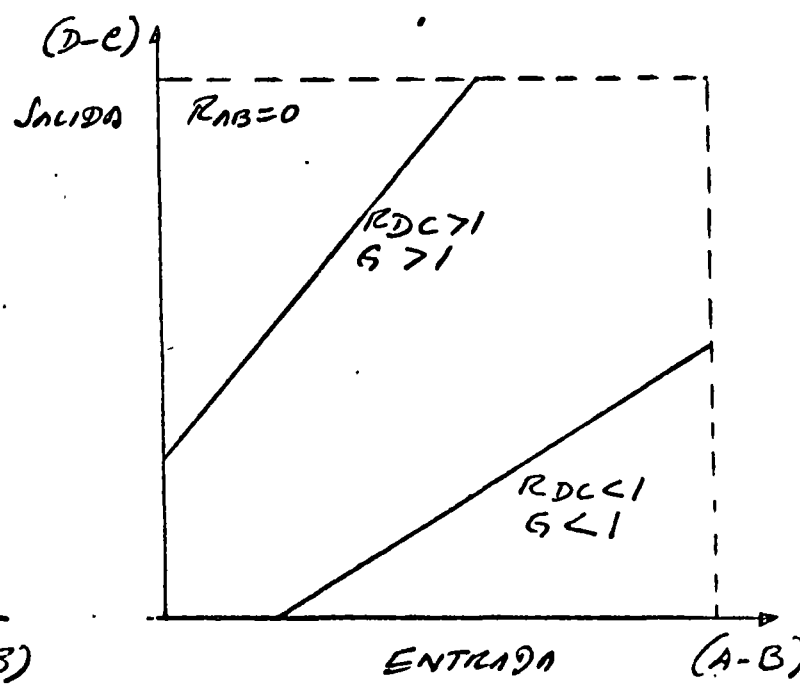
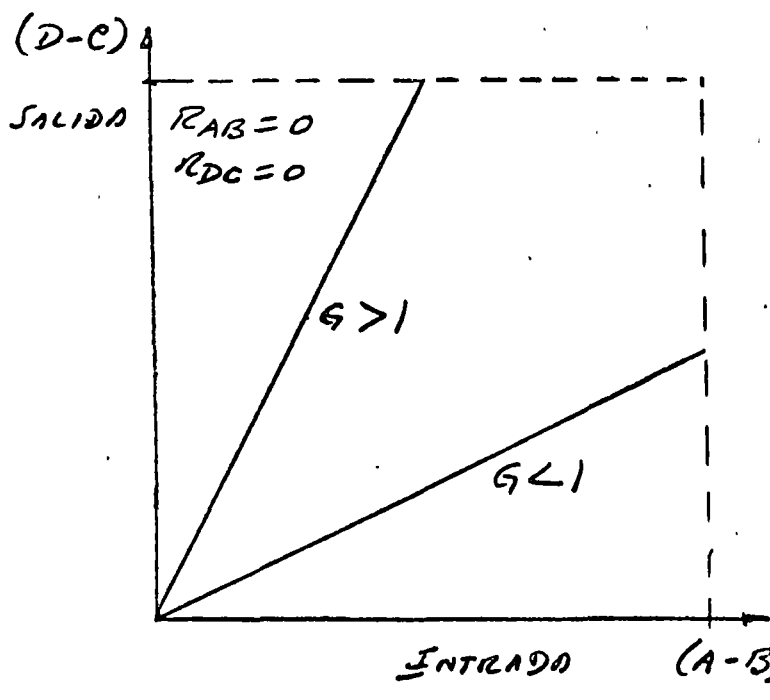
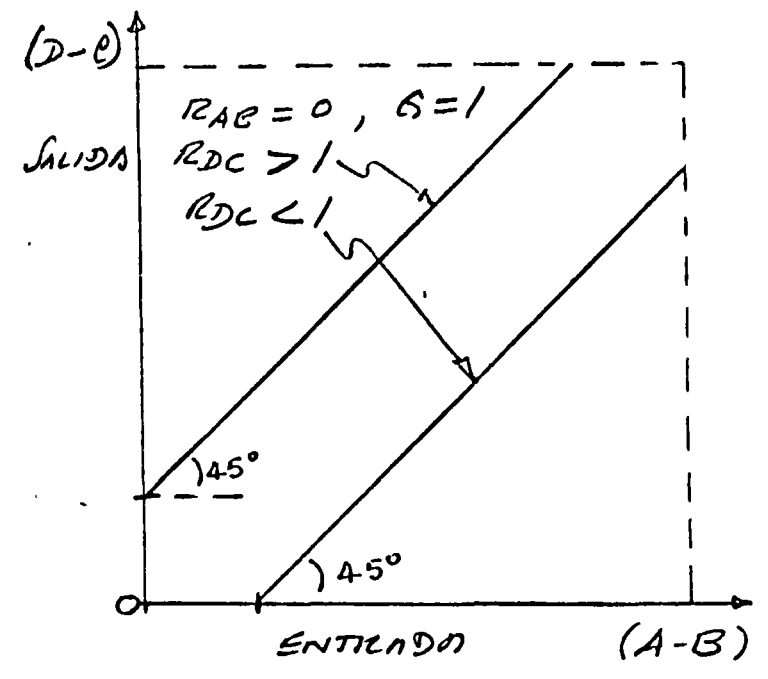
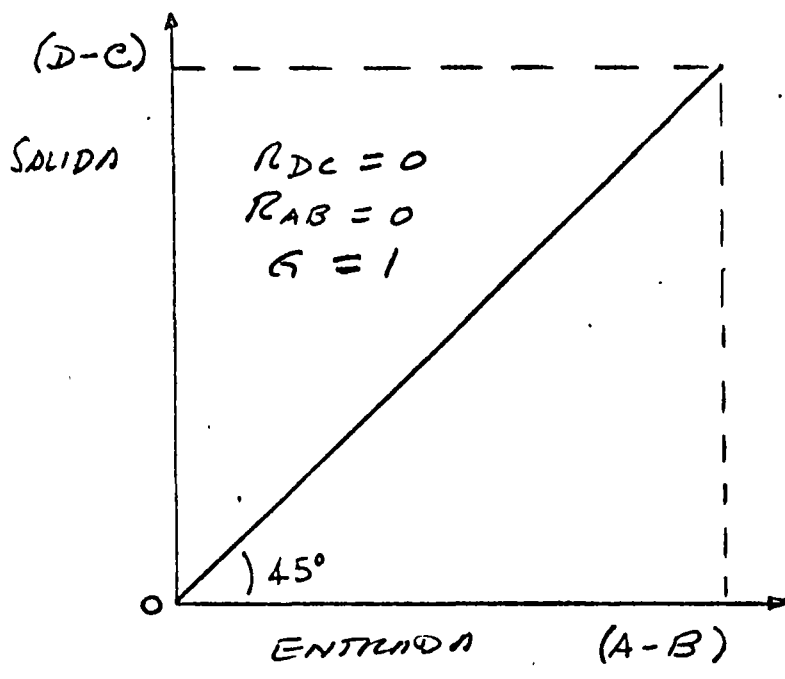


Figura No 8

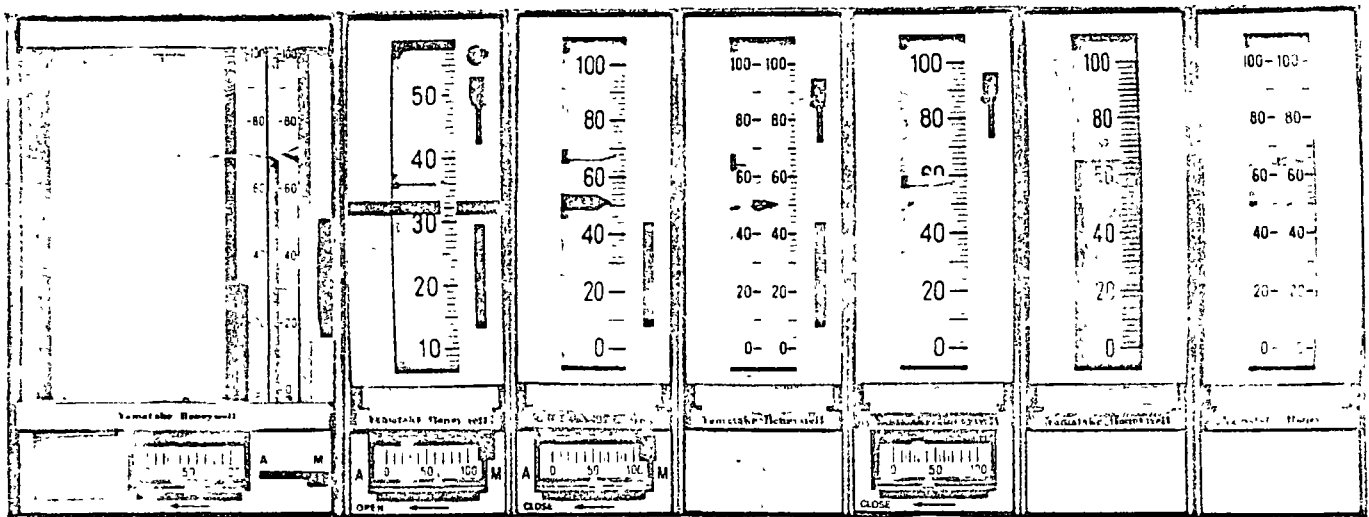




Table of Contents

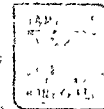
- 1. System Composition of VumatiK Line
- 2. Features of VumatiK Line
- 3. List of VumatiK Line Instruments
- 4. Specification Sheets of VumatiK Line
- 5. Installation of VumatiK Line

VumatiK Line



# SYSTEM COMPOSITION OF VUMATIK LINE

# SPECIFICATION SHEET



## The Miniature, High-Performance Pneumatik Instrument System

### —Vumatik Line—

The Vumatik Line is the newest miniature pneumatic instrument series providing a wide model selection from VSI to the recorder series. It features a force-balance type controller that adopts a fluidic potentiometer gain mechanism, and a balanceless • bumpless Auto/Man. transfer system. The standard case (600 mm depth) and the short case (400 mm depth) are provided.

The Vumatik Line models are listed below.

### List of Vumatik Line Instruments

Description				Model No.			
				St'd Case	Short Case		
Vumatik Line	Vertical Scale Indicator	Indicator controller	Deviation indication	Cascade set-point	NUS 02, 03	—	
				Manual set-point (Local)	NUL 01, 02, 03	—	
			Fixed scale indication	Cascade set-point	NUC 52, 53	—	
				Cascade set-point (w/o Man. setting)	NUR 52, 53	—	
				Manual set-point (Local)	NUL 51, 52, 53	—	
			Control station	Deviation indication	Cascade set-point	—	NUS 09
					Cascade set-point (w/o Man. setting)	NUR 00	—
				Fixed scale indication	Manual set-point (Local)	NUL 00	NUL 09
					Cascade set-point	—	NUC 59
				Cascade set-point (w/o Man. setting)	NUR 50	NUR 59	
			Manual set-point (Local)	NUL 50	NUL 59		
		Indicator	Pointer indication	Single	NUF 70	NUF 79	
				Dual	NUF 80	NUF 89	
			Screen indication	Single	NUG 70	NUG 79	
				Dual	NUG 80	NUG 89	
			Manual loader		NUH 90	NUH 99	
			Precision manual setter		NUI 90	NUI 99	
			Ratio/Bias station		NUB 90	NUB 99	
			Jack board unit		NUJ 90	NUJ 99	
			Separate mount control unit		—	NUE 91, 92, 93	
	Recorder	Recorder	1-pen	NUX 10	—		
			2-pen	NUX 20	—		
			3-pen	NUX 30	—		
		Trend recorder	1-pen	NUT 10	—		
			2-pen	NUT 20	—		
			3-pen	NUT 30	—		
		Recorder controller	1-pen	Cascade set-point (w/o Man. setting)	NUR 12, 13	—	
				Manual set-point	NUL 12, 13	—	
			2-pen	Cascade set-point (w/o Man. setting)	NUR 22, 23	—	
				Manual set-point	NUL 22, 23	—	



# SPECIFICATION SHEET

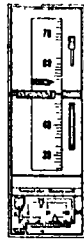
# COMPOSITION OF VUMATIK LINE

## Indicator controller and control station

○ Deviation indicator



NUS 0  
Cascade Set-point



NUR 0  
Cascade Set-point  
(w/o Manual Setting)



NUL 0  
Manual Set-point  
(Local)



NUC 5  
Cascade Set-point



NUR 5  
Cascade Set-point  
(w/o Manual Setting)

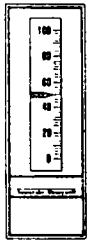


NUL 5  
Manual Set-point  
(Local)

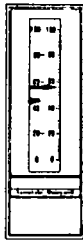
○ Fixed scale indicator

## Indicator

○ Pointer indication



NUF 7  
1 Pt. Ind.



NUF 8  
2 Pts. Ind.



NUG 7  
1 Pt. Ind.



NUG 8  
2 Pts. Ind.

○ Screen indication



NUB 9



NUJ 9

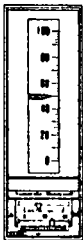
## Ratio/bias station

## Jack board unit

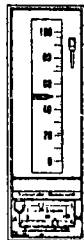
## Manual loader (NUH 9)



NUH 9 □-X-X



NUH 9 □-X-F  
with  
Input  
Indicator



NUH 9 □-X-D  
with  
Input Ind.  
&  
A/M Transfer



NUH 9 □-X-B  
with  
Input Ind.,  
A/M Transfer  
& Bias

## Precision manual setter (NUI 9)



NUI 9 □-X-X



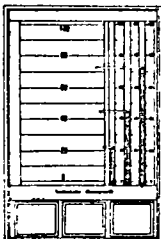
NUI 9 □-X-F  
with  
Input  
Indicator



NUI 9 □-X-D  
with  
Input Ind.  
&  
A/M Transfer

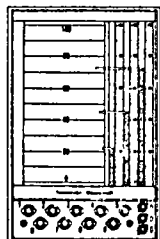
## Recorder, recorder controller and recorder control station.

○ Recorder



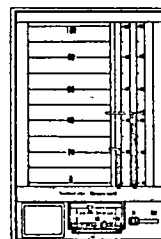
NUX 1  
NUX 2

○ Trend recorder

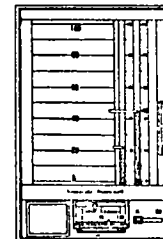


NUT 1  
NUT 2

○ Recorder controller and Recorder control station



NUR 1  
NUR 2



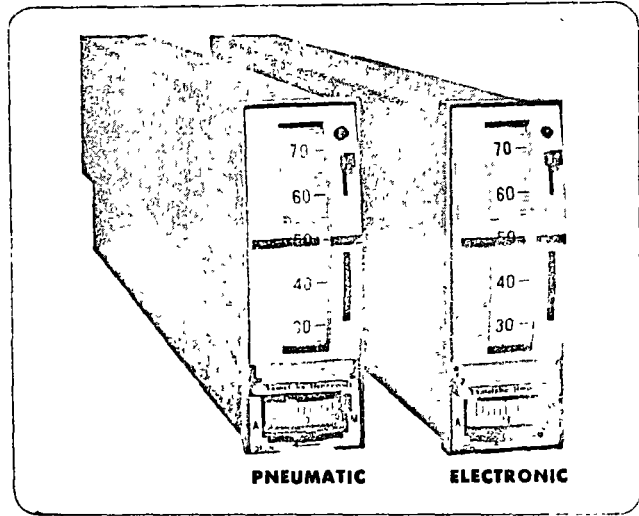
NUL 1  
NUL 2



## FEATURES OF VUMATIK LINE

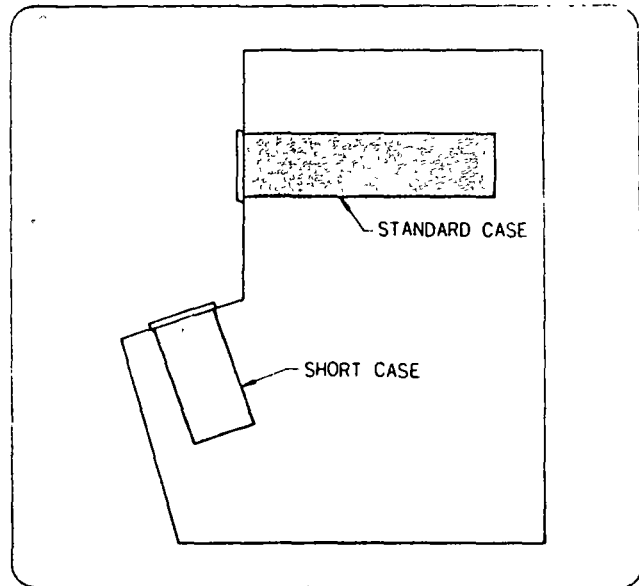
### 1 Refined Human Engineering Design

- ① They present only a 50 mm x 150 mm bezel face, the smallest in the world, suitable for high density mounting.
- ② Despite of it's compact sizing, all operator controls are easily manipulated maintaining a conventional visible scale length for indicators.
- ③ Identical size and mask design with it's electronic counterpart, the NutroniK Line, permits a well balanced panel design when both pneumatic and electronic instruments are mixedly used.



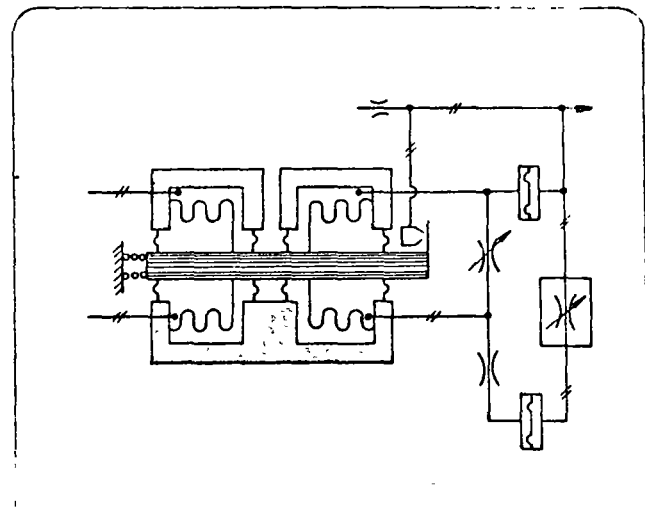
### 2 Broadest Line Instruments

- ④ The Vumatik is equipped with a vertical scale indicator controller, indicator, trend recorder, recorder controller, manual loader, precision manual setter, and a ratio/bias station to match to any type and any size of instrumentation system.
- ⑤ Either standard case of 600 mm length or short case of 400 mm is selectable to facilitate to mount on a panel that has a limited spacing.
- ⑥ Both deviational indication system and fixed scale indication system are adopted for the vertical scale indicators and controllers for a unified and flexible panel design.
- ⑦ Complete force-balance type transmitter series are provided to back-up the versatile instrumentation systems.



### 3 Truly Reliable Controller

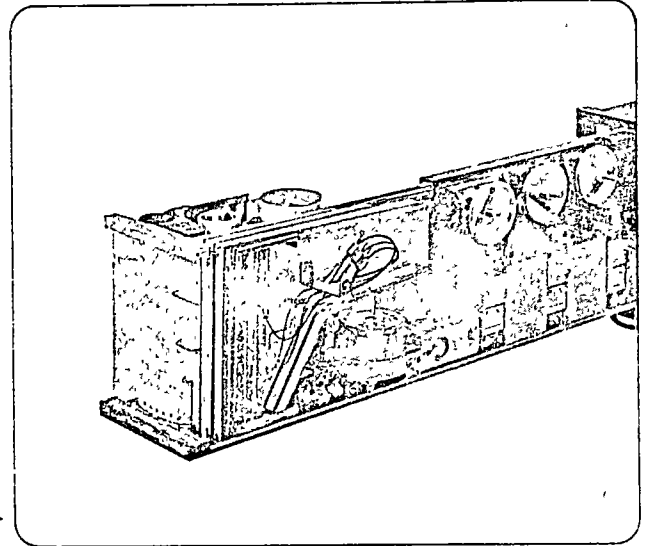
- ⑧ Reliable control actions owing to an adoption of perfect force-balance type mechanism with a proportional band restriction.
- ⑨ Proportional band mechanism that has no mechanical frictions eliminates the troublesome balancing adjustment.
- ⑩ The use of two metallic bellows and the insertion of a rate unit in feedback circuit permit a sharp improvement in offset.
- ⑪ Compact yet large capacited pilot relay (50 NI/min.) results in fast response and better controllability.





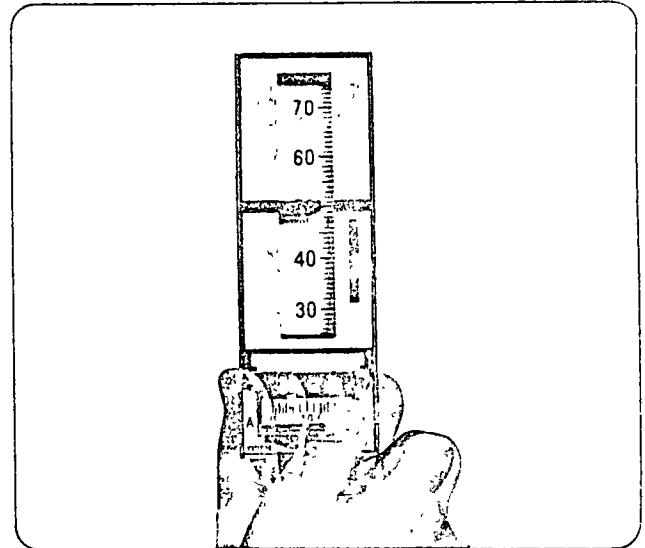
## 4 Easy to Operate Recorder

- Newly designed, powerful pen servo mechanism materializes an accurate recording on chart.
- Vertically moving record pen to be compatible with the vertical scale type instruments.
- Color-coded tapes track with the pens to provide clearly visible bar graph type indication.
- Unique pen drive mechanism permits a smooth recording for the vertical full span of 100 mm.
- Either roll type or folding type record chart is optionally selectable.
- Up to 3 integral alarm lamps are provided for monitoring processes.



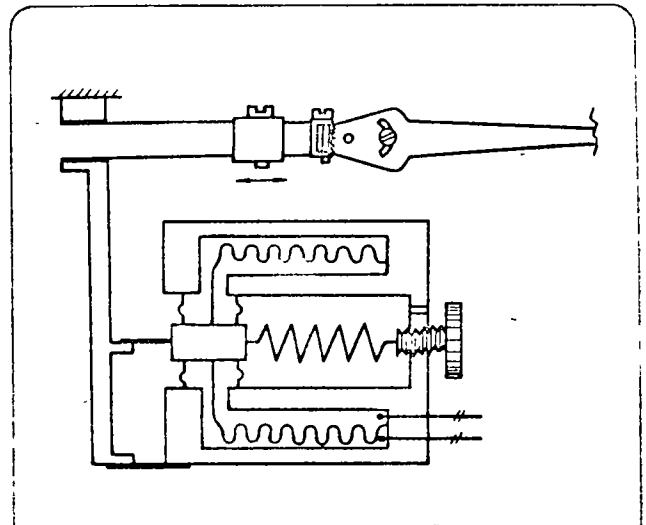
## 5 Easy Operation and Maintenance

- One-touch, balanceless and bumpless, transfer of AUTO-MAN operation.
- A quick-connect method is adopted throughout, both for electrical and pneumatic, to facilitate easy servicing.
- All operator controls required for operation and adjustment, are located in front panel for the convenience of servicing.
- Modular construction permits quick adjustment and replacement of the units.
- Independent automatic and manual control units. The manual control unit is removable in AUTO operation and in MAN the automatic control unit can be detached.



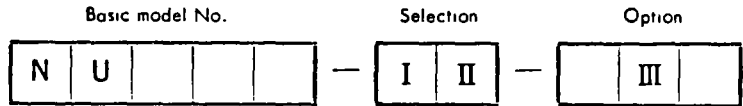
## 6 Highly Reliability

- Metallic bellows are used for every major signal receiver to improve safety.
- The use of non-metallic tubes that have connectors at both ends are minimized. Connections between units are made through manifolds of aluminum diecast.
- Felt filters are placed at the restriction of major units, and metallic filters are inserted to external connection tubes to protect from dirty air supply source.



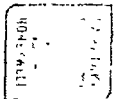
LIST OF RECORDERS, RECORDER CONTROLLERS

SPECIFICATION SHEET



Basic model No.				Selection												Option									
				I						II						III									
Description				0	0	1	2	3	5	3	4	5	6	7	8	R	F	X	1	2	3	5	6	7	G
				Recorder only	Rec. cont. station	Control action				Chart motor power supply						Chart Type		No option	W/lamp (1)	W/Lamps (2)	W/Lamps (3)	PV monitor sw. (1 pt. on 1 PV)	PV monitor sw. (2 pts. on 1 PV)	Deviation Monitor sw.	W/Chart speed selector
				P mode	PI mode	PID mode	PI Batch control	AC 100 V, 50 Hz	AC 100 V, 60 Hz	AC 110/115 V, 50 Hz	AC 110/115 V, 60 Hz	AC 120 V, 50 Hz	AC 120 V, 60 Hz	Roll type	Fold type										
NUL 1	Rec. controller and Rec. control station	Manual S.P. (Local)	1-pen Rec	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
NUL 2			2-pen Rec.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NUR 1		Cascade S.P. (w/o Man. setting)	1-pen Rec.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NUR 2			2-pen Rec.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NUX 1	Recorder	1-pen Rec.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
NUX 2		2-pen Rec.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
NUX 3		3-pen Rec.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
NUT 1	Trend recorder	1-pen Rec.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
NUT 2		2-pen Rec.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
NUT 3		3-pen Rec.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Note) Options of lamps and monitor SW can be used combinedly.



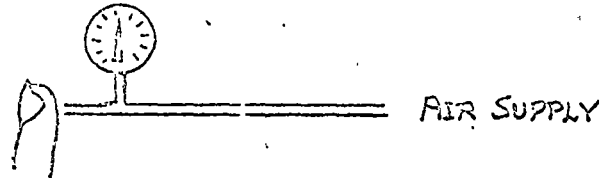
## INTRODUCTION TO PNEUMATIC PROCESS CONTROL - PART 1

Every controller (air or otherwise) contains a device for comparing the desired measurement value with the actual measured value, and, if these are not the same, the controller is supposed to do something about it. This comparison device is customarily called the error detector. The desired value is the set point (SP) and the actual value is called the measured variable (MV).

In simple thermostats, this error detector is a set of points. One point is connected to a dial which is set by hand (SP). The other point is moved by a temperature sensing device, i.e. a bimetallic strip (MV). When the controlled area cools off, the MV point makes contact with the SP point and turns on the heat.

The air controller error detector is somewhat similar to this in action. It uses, however, a "nozzle-baffle" or "jet-vane" device in place of the electrical points. Let us consider, for a moment, the nozzle-baffle principle.

Imagine an air pressure gauge with an open tee in the air supply line and air escaping from the open leg of the tee. If a finger is pressed against the open leg, the gauge pressure will rise.



This pressure rise will be greater as the finger is pressed tighter. Finally, it will be found that a finger movement of a fraction of an inch will produce pressure changes from minimum to maximum.

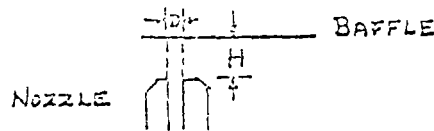
Substituting a thin metal strip for the finger, we have a nozzle-baffle device. We must, however, make some refinements for the best results. The baffle (or "flapper") is to be connected to the measuring element or pen arm and moved by it only. We can't allow the air jet to move the baffle. We must, therefore, reduce air pressure to the nozzle and make the nozzle bore small.

By trial and error, it has been found that a restriction (orifice) in the air line of about 0.010" and a nozzle bore of about 0.010" are workable. Let us consider next the clearance relationships involved in a nozzle-baffle system.

In the following sketch, the area of the cylinder shown by the dotted lines is  $\pi DH$ . Area of the nozzle opening is  $\frac{1}{4}\pi D^2$ . When cylinder area exceeds nozzle opening area, baffle no longer has any effect on nozzle pressure. The limit of baffle effectiveness, therefore, is when:

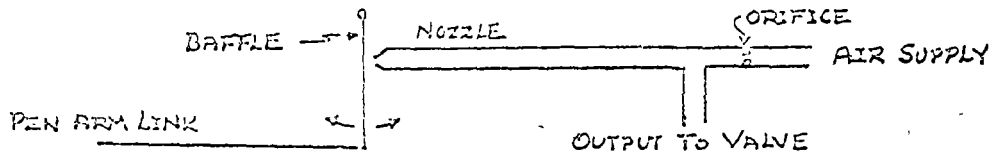
$$\begin{aligned} \text{Cylinder area} &= \text{Nozzle opening area} \\ \text{or: } \pi DH &= \frac{1}{4}\pi D^2 \\ \text{or: (simplifying)} \quad H &= \frac{1}{4}D \end{aligned}$$

If, therefore, we have a nozzle bore of 0.010", the maximum effective travel of the baffle is  $0.010/4$  or 0.0025"!



The nozzle-baffle arrangement, therefore, is extremely sensitive to the position of the baffle. In one respect, this is an advantage, and in others, it is not. We can, however, adapt it to the job.

Let us visualize a simple controller having a nozzle-baffle mechanism only. The pen arm is linked to the baffle, and the set point index, to the nozzle.

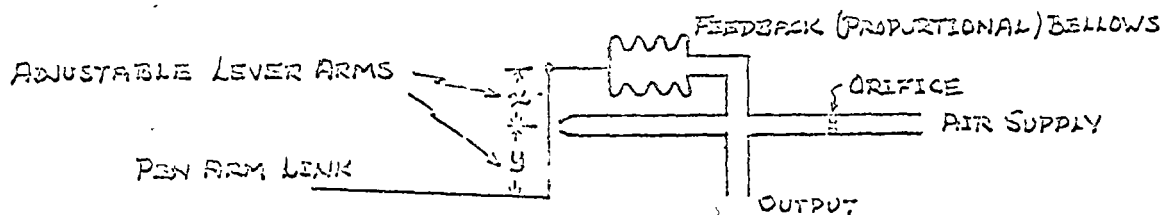


The performance of this simple controller, however, would be unsatisfactory because of:

- (a) Excessive sensitivity and oscillation
- (b) Air output too feeble to give proper response

Item (b) is easily rectified by using an amplifying relay. Item (a) could theoretically be remedied by "gearing down" the linkage, but this is impractical because of excessive friction and limited power of the pen arm. The difficulty, therefore, is solved as follows.

Let us add a bellows to the previous simple controller.



Now, any movement of the baffle by the pen arm link will cause a pressure change which will make the bellows counteract the original baffle movement. Assuming that the bellows has sufficient travel, the degree of counteraction will depend on the lever ratio used. This lever ratio is usually made adjustable, which makes the working range of the controller adjustable. The greater the amount of feedback from the bellows, the farther the pen has to move across the chart to make a change in output pressure. This adjustable working range is known as the "proportional band", and the feedback is called, "negative feedback".

Increasing the amount of negative feedback ( by adjusting the lever ratio ) reduces sensitivity accordingly, and the relatively long travel of the feedback lever system (about 4") minimizes the effects of slippage in the connecting links (which is possibly about 0.001"). The necessary power for moving the lever system is supplied by the air bellows, relieving the measuring element of this load. Let us next consider this term "proportional band" further.

Proportional control means that controller output is proportional to error (deviation of measured variable from set point). Proportional band is the per cent of controller chart span within which all control action takes place. Thus, in a 0 - 100 psi controller, a 20% proportional band means that all control action takes place over a 20 psi spread, 10 psi on each side of the set point. A wide band like 100%, therefore, means gradual (and therefore slow) action, since here the pen would have to travel a distance equal to the entire chart width before the control action would go from one extreme to the other. This gradual action, however, is a great aid in attaining stability, which is, of course, the reason wide band action is so widely used.

Two other words are frequently used to describe proportional controller action. These are "sensitivity" and "gain". They are essentially the reciprocal of proportional band. Thus wide band gives slow, gradual, and stable control that can be thought of as "insensitive". The narrower the band gets, the faster the controller action becomes, making it more sensitive. Narrow band, then, implies high sensitivity and fast (but often unstable) action.

The word "gain" has been borrowed from the electrical field, where it means amplification. An air controller will amplify on bands less than 100%, amplification increasing as the band narrows. On very narrow bands, for example, a small pen movement, i.e. a change in the measured variable, away from the set point will cause a large change in controller output pressure with correspondingly vigorous action by the control valve. In this way, a small "error" signal is amplified. This, of course, is not always desirable. Gain, then, is related to proportional band as follows:

$$\text{Gain} = \frac{100}{\text{Prop. Band}} = \frac{\text{Output change, psi}}{\text{Input change, psi}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{For force-} \\ \text{balance type} \end{array} \right.$$

In summary, proportional band, sensitivity, and gain all refer to the same phenomenon or "mode" of control.

Proportional action, however, causes offset. Offset is a permanent deviation from the desired set point. Imagine a tank of water whose level is controlled by a float valve. Suppose that the ball float has a total vertical travel of 24 inches to change valve setting from tight shut to wide open. This 24 inch travel, then, represents the working band of the float valve. If it is installed in a tank 48 inches deep, the "proportional band" represented by the 24 inch float travel is 24/48 or 50%.

Next, let us assume that the valve is mounted midway in the tank, i.e. 24 inches from the bottom (see attached sketch). The upper limit of float travel is then 12 inches above the valve and 36 inches above tank bottom. At this point the float can go no higher, and the valve is shut off completely. This represents the maximum offset possible here, namely 12 inches or 25%.

If the drain is opened slightly, loss of water will cause tank level to drop. The float will also drop, opening the float valve until enough water enters to make up for the loss through the drain. At this point, the level becomes stable, but the amount of offset has changed.

Additional opening of the drain lowers the level still further, as the falling float opens its valve wider to make up for increased loss. Again there is an offset change when the level restabilizes.

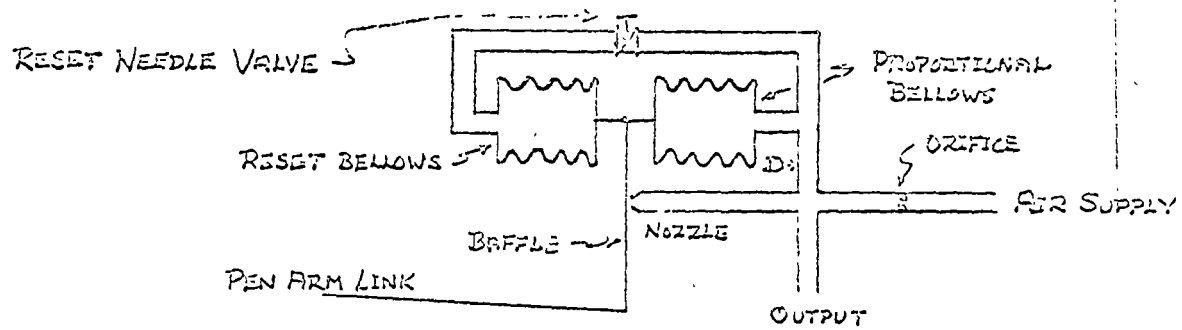
Offset, therefore, increases with load changes. Further, the wider the proportional band (in this case float travel) the greater the offset. Offset can be roughly estimated in advance, but exact calculations of it are not possible in commercial practice. This is true because precise information regarding plant conditions is not available, particularly where heat is involved.

In many control situations, offset cannot be tolerated. Proportional controllers, therefore, are usually fitted with a reset device that eliminates offset by returning the measured variable to the desired value (in this case, level).

In our float valve example, reset could be achieved by working a hand valve in the water supply as required. Such manual reset, however, is impractical for process work. In air (and electric) controllers, automatic reset is realized by a gradual reduction in the negative feedback effect to zero. This involves a simple bleed through a needle valve (or its electrical equivalent). At zero feedback, controller action becomes narrow band or virtually "on-off". Since this has negligible offset, reset has been realized.

This also illustrates the danger of too much reset, in which case the shift to on-off action is so fast that proportionality is practically eliminated.

Returning to our simple controller, let us add a reset device.



It will be seen that the reset bellows simply cancels out the effect of the proportional bellows. The speed with which this happens depends on how far the needle valve is open. If the valve is wide open (or removed completely) there is no effective proportional action. The opposed bellows cancel out one another.

5

If, however, the valve (reset) is partly open, the proportional bellows will act first, followed by a gradual return to the equilibrium position caused by air leaking through the reset needle valve. This "gradual return" is the reset action.

Since proportional action, although giving stability, becomes more sluggish as the band becomes wider, the need arises for some sort of temporary speedup to prevent control from lagging too far behind on wide bands. This speedup effect or mode became known as "rate" action or, from its mathematical expression, "derivative".

Derivative action can be produced in at least two different ways; either by delaying the appearance of proportional action or by simply boosting the controller output pressure temporarily with an added relay. Although practice varies, one-case controllers typically obtain derivative by delaying the negative feedback that is essential for proportional action. This delay is easily produced by partially closing a needle valve in the feedback line.

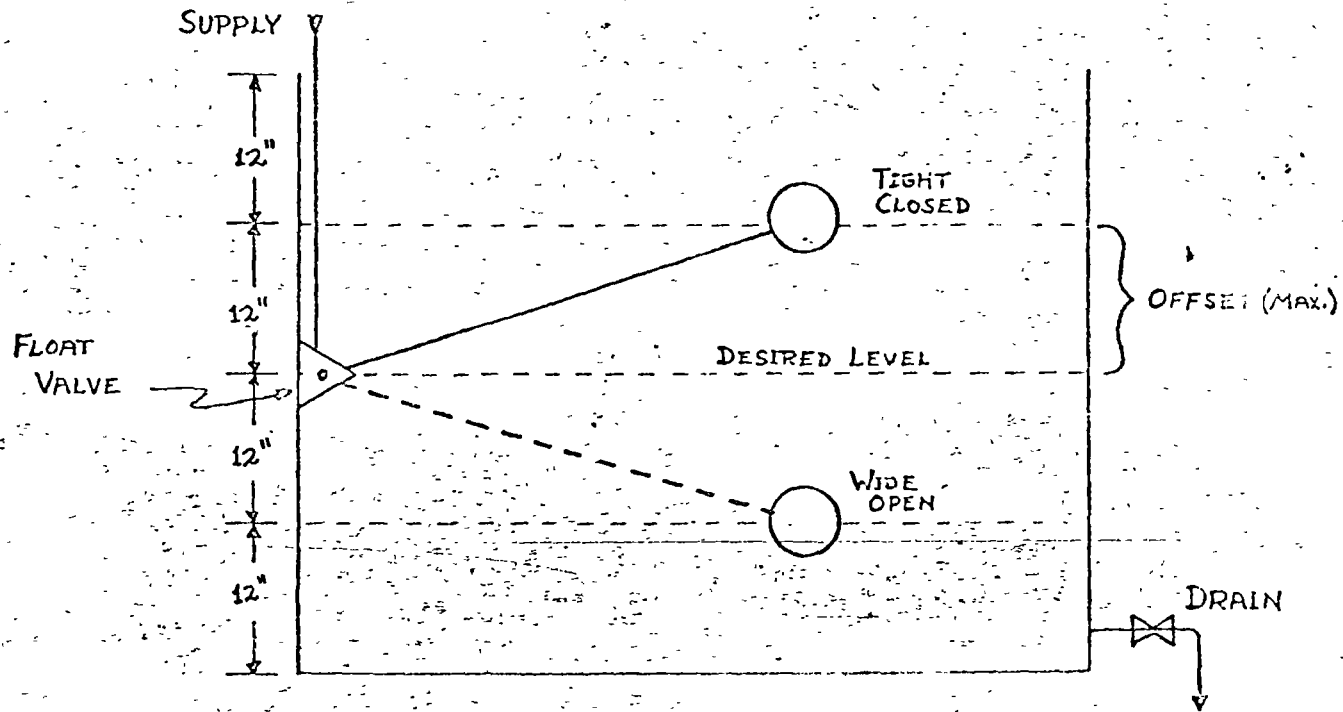
We can, therefore, add derivative to our simple reset controller by a suitable booster relay in the output. An even easier method, however, is to add a needle valve in the feedback to the proportional bellows. Referring to the previous sketch, this would be at point "D".

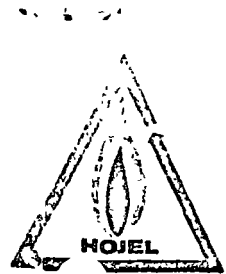
If this valve is closed nearly shut, proportional (feedback) action is delayed, causing a rapid change in output pressure (typical of on-off control). This rapid start, however, will taper off as air leaks through the derivative needle valve, restoring the proportional action.

It will be apparent from the foregoing that adjustment of the reset and derivative needle valves calls for caution and sound judgement, tempered with experience.

# INTRODUCTION TO PROCESS CONTROL

## "OFFSET" AND "RESET"





**C.R. HOJEL & Co., S.A.**

TIBER No. 94

MEXICO, D.F.

Tel. 533-56-35 con 5 líneas

## VALVULAS AUTOMATICAS DE CONTROL

Las Válvulas de Control son el elemento final de control de un proceso y regulan el flujo de un fluido para mantener una variable (temperatura, presión, nivel, flujo) dentro de los límites deseados.

Las Válvulas de Control para su estudio se dice que constan de un cuerpo a través del cual fluye el fluido a manejar y un actuador que es el que proporciona la fuerza para abrir y cerrar el paso a través del cuerpo de la válvula.

### ACTUADOR

Como decíamos anteriormente es el que suministra la fuerza necesaria para abrir y cerrar el paso del fluido a través del cuerpo de la válvula de control. Los actuadores más usuales son los denominados de diafragma llamados así por constar precisamente de un diafragma flexible atornillado en el interior de una caja dividida en dos partes. Si se aplica una presión de aire a uno de los lados del diafragma, la fuerza producida es contrarrestada por un resorte que limita la carrera del actuador.

Existen actuadores de una gran variedad de medidas, suficientes para cubrir un amplio rango de fuerzas. Las medidas nominales son 9, 13, 15, 18 y 24. La mayoría de los actuadores tienen un rango de operación de 3 a 15 psi o sea que con 3 psi de presión de un lado del diafragma éste empieza a moverse, y con 15 psi se ha desplazado toda su carrera.

El resorte es ajustado de tal forma que un aumento de presión superior a 3 psi causará un movimiento del diafragma así como del vástago al cual se encuentra unido el diafragma; así por ejemplo, si se aplican 9 psi de presión al diafragma se mueve la mitad de su carrera.

Debido a que el diafragma está atornillado entre cajas de diámetro interior fijo, dá la impresión de que el área del diafragma permanece igual en cualquier posición de su carrera; sin embargo, esto no es real y puede demostrarse por medio del siguiente experimento: Si a un actuador No. 13 por ejemplo, se le quita el resorte y se coloca descansando en su vástago sobre una báscula, con 10 psi de presión de aire aplicadas al diafragma, leeremos en la báscula una carga total de 1220 lbs; dividiendo 1220 entre las 10 psi aplicadas resulta un área efectiva del diafragma de 122 pulgadas cuadradas. Si ahora cortamos el vástago  $1\frac{1}{2}$ " más corto que el anterior, encontramos que

# C. R. HOJEL & CO., S. A.

TIBER No 94 MEXICO 5, D. F.  
APDO. POSTAL 5-576  
TEL. 5 33-56 35  
CON 5 LINEAS

- 2 -

con las mismas 10 psi de presión hay una carga en la báscula de 970 lbs y un área efectiva en el diafragma de 97 pulgadas cuadradas, lo cual nos está demostrando que el área no permanece constante en diferentes posiciones de su carrera. En la posición superior tenemos el área mayor, la cual se va reduciendo a medida que el diafragma se mueve hacia abajo; el hecho de que el área efectiva del diafragma cambia con la carrera, hace suponer que con un cambio en la presión sobre el diafragma del actuador, nos produciría una función no lineal con respecto a la carrera. En realidad si se experimenta a diferentes posiciones de carrera y se grafica el cambio de área efectiva, a medida que el diafragma se desplaza a la carrera del actuador, se encuentra que la curva resultante de presión sobre el diafragma contra carrera es casi lineal.

Para probar lo anterior tomemos el mismo actuador No. 13 antes mencionado. Sabemos que a cero carrera la presión sobre el diafragma es 3 psi y que a su carrera total de  $1\frac{1}{2}$ " la presión sobre el diafragma es 15 psi; es decir que con 3 psi de presión de aire sobre el diafragma el resorte de la válvula de control está cargado lo suficiente para mantener el diafragma en la posición superior extrema y que con 15 psi el diafragma y el vástago se mueven en una longitud igual a la carrera originando una carga adicional en el resorte. Conociendo la diferencia de carga en el resorte (debida al cambio de posición del diafragma y el vástago) y la carrera del vástago, se puede calcular con exactitud el tipo de resorte requerido para mantener la válvula totalmente abierta con 3 psi de presión y totalmente cerrada con 15 psi de presión de aire, si es que se trata de una válvula que cierra con presión de aire.

Por medio de la siguiente fórmula se puede calcular el resorte requerido en cada caso :  $K = \frac{P_f A_f - P_i A_i}{Y_r}$

K - Carga de Resorte Y<sub>r</sub> - Carrera P - Presión A - área F - final I - inicial  
en nuestro caso actual  $K = \frac{(15 \times 97) - (3 \times 122)}{1.5} = 725 \text{ lb/in.}$

Calculemos ahora la presión actual sobre el diafragma para distintos valores de carrera del vástago, por lo que despejando P<sub>f</sub> de la fórmula anterior tenemos que :

$$P_f = \frac{K Y_r - P_i A_i}{A_f} = \frac{(725 \times 0.75) - (3 \times 122)}{104} = 8.8 \text{ psi}$$

el valor del A<sub>f</sub> se obtiene de las curvas de cambio de área del diafragma a diferentes carreras.

Siguiendo el mismo procedimiento podemos determinar la presión actual sobre el diafragma para carreras de 0.375" y 1.125", encontrando valores de 5.9 psi y 11.8 psi respectivamente.

TIBER No 94 MEXICO 5, D. F.  
APDO POSTAL 5-578  
TEL 5 33-56 35  
CON 5 LINEAS

Con esta información podemos graficar carrera contra presión en el diafragma y vemos que la curva encontrada forma una línea casi recta. De donde deducimos que a pesar de que el área del diafragma no es constante a lo largo de su carrera, si, de todos modos su función es lineal.

Hemos anteriormente hecho mención del resorte del actuador, cuya función decíamos es la de contrarrestar la fuerza producida por la presión aplicada sobre el diafragma, limitando en esta forma la carrera del actuador.

Se ha igualmente mencionado que el rango más usual en los resortes es el de 3-15 psi o sea que con 15 psi depresión sobre el diafragma, obtenemos la fuerza necesaria para vencer el resorte y pasar de la posición totalmente abierta o totalmente cerrada; por tanto la compresión inicial del resorte tendrá lugar a partir de las 3 psi de presión sobre el diafragma.

Para que un actuador pueda manejar el desbalance de fuerzas en el cuerpo de la válvula de control debemos suministrar una fuerza adicional a la que nos permite exclusivamente pasar de posición abierta a cerrada. Esta fuerza adicional puede ser proporcionada por medio del tornillo de ajuste, el cual nos permite dar mayor compresión al resorte de tal forma que el desplazamiento inicial del vástago sea a un valor de presión sobre el diafragma distinto de 3 psi v. gr de 8 psi.

Puede también esta fuerza adicional proporcionarse con un resorte más ligero que termine su carrera a una presión menor de 15 psi v. gr. 11 psi. teniendo en esta forma una presión extra disponible en este caso entre las 11 psi y las 15 psi de presión sobre el diafragma.

## Desbalanceo de Fuerzas en la Válvula de Control

La fuerza necesaria para actuar una válvula de control de ser mayor o igual a la fuerza resultante de las fuerzas actuando en el tapón de la válvula de control. Dentro de las fuerzas que deben ser vencidas por el actuador pueden considerarse las siguientes :

1. Fricción del Vástago. - Esta fuerza se encuentra tanto en las guías del vástago como en el empaque del mismo; correspondiendo a este último la mayor parte de esta fuerza de fricción, que a su vez depende de la edad y lubricación del mismo.
2. Fuerzas Estáticas. - Resultan de la caída de la presión a través de la válvula o sea la diferencia entre la presión de entrada y la presión de salida, produciendo una fuerza en el vástago del tapón de la válvula.

# C. R. HOJEL & CO., S. A.

TIBER No. 94 MEXICO 5, D. F.  
APDO. POSTAL 5-576  
TEL : 5 33-56 35  
CON 8 LINEAS

- 4 -

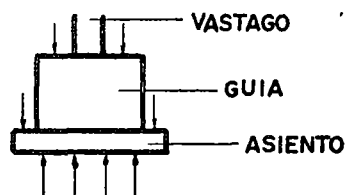
3. Fuerzas Dinámicas. - Una de ellas es la llamada del tapón de baño, el cual tiende a ser succionado a medida que este se aproxima al asiento, debido al aumento de velocidad del fluido al pasar por un espacio reducido, creando un área de baja presión. Otro tipo de fuerza dinámica es la carga lateral sobre el tapón debido al choque del fluido, normalmente esta fuerza es de pequeña magnitud.

Las fuerzas dinámicas son mucho más difíciles de analizar que las fuerzas estáticas.-

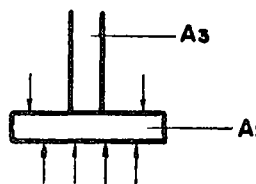
Propiamente para la determinación del actuador adecuado se consideran exclusivamente las fuerzas estáticas; por lo que para nuestro estudio consideramos estas fuerzas actuando sobre una válvula de control de asiento sencillo.

Considerando el cuerpo de la válvula de control sin el tapón de la misma y manejando un fluido, el cuerpo actúa como un recipiente a presión en el cual las fuerzas actúan perpendicularmente a las paredes internas.

Considerando ahora el tapón y el vástago solos instalados en un cuerpo de válvula, de presión del fluido actúa perpendicularmente en todas las superficies expuestas al fluido, por tanto cualquier fuerza actuando sobre un lado del tapón se encuentra balanceada por otra fuerza igual y contraria, por lo que todas las fuerzas horizontales se anulan resultando únicamente fuerzas verticales.



Eliminando la guía del vástago, para fines de cálculo podemos considerar exclusivamente dos áreas sobre las cuales actúa la presión, siendo estas  $A_1$  y  $A_3$ .  $A_1$  es el área del asiento,  $A_1 - A_3$  es el área del asiento menos el área del vástago.



La eliminación del contorno del tapón en el análisis estático, asegura que el tapón está completamente rodeado por las fuerzas que actúan sobre el, lo cual da el mayor cambio en fuerza.

La mayor caída de presión se tiene cuando la restricción es la menor posible, siendo por tanto el valor máximo de dicha  $\Delta P$  cuando la válvula se encuentra totalmente cerrada.

TIBER No. 94 MEXICO 5, D F.  
 APDO. POSTAL 5-576  
 TEL 5-33-5635  
 CON 5 LINEAS

Consideramos primero una válvula operando con el flujo tendiendo a abrir, es decir que el fluido pasa de la parte inferior del asiento a la parte superior del mismo. Sea  $P_1$  la presión de entrada y  $P_2$  la presión de salida.

En el primer caso la válvula se considerará totalmente cerrada.

$$\text{Fuerzas Positivas} = P_1 A_1$$

$$\text{" Negativas} = -P_2 (A_1 - A_3)$$

$$= -P_2 A_1 + P_2 A_3$$

$$\text{Suma de las Fuerzas} = P_1 A_1 - P_2 A_1 + P_2 A_3 = A_1 (P_1 - P_2) + P_2 A_3$$

$$\text{Fuerza Resultante} = P_2 A_3 + A_1 \Delta P \dots (1)$$

Considerando la válvula totalmente abierta, la presión  $P_2$  rodea completamente el tapón y el vástago, . . .  $P_1 = P_2$

$$\text{Fuerzas Positivas} = P_2 A_1$$

$$\text{" Negativas} = -P_2 (A_1 - A_3)$$

$$= -P_2 A_1 + P_2 A_3$$

$$\text{Suma de las fuerzas} = P_2 A_1 - P_2 A_1 + P_2 A_3$$

$$\text{Fuerza Resultante} = P_2 A_3 \dots (2)$$

Comparando las expresiones (1) y (2) vemos que ambas contienen a  $P_2 A_3$  que es el desbalanceo del vástago o sea la fuerza que tiende a empujar el vástago fuera del cuerpo de la válvula, y por tanto esta fuerza de desbalanceo está presente independientemente de si la válvula se encuentra abierta o cerrada. Este desbalanceo, normalmente se ignora debido a que el diámetro del vástago es pequeño con respecto al diámetro del asiento; sin embargo debe ser considerado en aplicaciones de altas caídas de presión.

Consideramos ahora, para efectos del análisis estático de fuerzas; el flujo tendiendo a cerrar la válvula, es decir, que el fluido pasa de la parte superior del asiento a la parte inferior del mismo.

Cuando la válvula se encuentra totalmente abierta  $P_1 = P_2$

$$\text{Fuerzas Positivas} = P_1 A_1$$

$$\text{" Negativas} = -P_1 (A_1 - A_3)$$

$$= -P_1 A_1 + P_1 A_3$$

$$\text{Suma de Fuerzas} = P_1A_1 - P_1A_1 + P_1A_3$$

$$\text{Fuerza Resultante} = P_1A_3$$

Válvula totalmente cerrada

$$\text{Fuerzas Positivas} = P_2A_i$$

$$\begin{aligned} \text{" Negativas} &= -P_1(A_1 - A_3) \\ &= -P_1A_1 + P_1A_3 \end{aligned}$$

$$\text{Suma de Fuerzas} = -P_1A_1 + P_1A_3 + P_2A_i$$

$$\begin{aligned} \text{Fuerza Resultante} &= A_i(-P_1 + P_2) + P_1A_3 \\ &= -A_i(P_1 - P_2) + P_1A_3 \\ &= -A_i\Delta P + P_1A_3 \end{aligned}$$

Por lo tanto en este caso el flujo tiende a mantener la válvula cerrada mientras que  $P_1A_1$  sea mayor que  $P_1A_3$ . Existen casos especiales en los cuales el área del vástago  $A_3$  es mayor que el área del asiento  $A_i$  y entonces la fuerza resultante tiende a abrir la válvula y no a cerrarla como en el caso anterior.

#### Desbalanceo de Fuerzas en las Válvulas de Control de Asiento Doble

Aparentemente estas válvulas se encuentran diseñadas con asientos de áreas iguales, por lo que podría suponerse que con una caída de presión de  $P_1$  a  $P_2$  la fuerza resultante que tiende a abrir la válvula se encontraría desbalanceada por la fuerza resultante tendiendo a cerrarla, por lo que ambas fuerzas únicamente tenderían a separar los tapones del vástago, y si este es lo suficientemente fuerte para resistir dichas fuerzas, llegaremos a la conclusión de balanceo.

Sin embargo, para facilitar el ensamble de una válvula de doble asiento, es necesario tener una diferencia en el área de los asientos, la cual aumenta a medida que aumenta el tamaño de la válvula.

Debido a esta diferencia de áreas encontramos que la fuerza resultante es igual a  $\Delta P (A_1 - A_2)$  y estará en dirección del asiento de mayor área.

Las fuerzas dinámicas en una válvula igualmente son impredecibles y no requieren análisis debido a la pequeña parte en que intervienen en el balance de fuerzas. Sin embargo, debemos recordar el efecto del tapón de la tina de baño en las válvulas de asiento sencillo. Exactamente lo mismo ocurre en las superficies lisas y contorneadas de tapones de válvulas de asiento doble. La fuerza dinámica resultante de este efecto del tapón actúa hacia abajo mientras que la resultante de las fuerzas estáticas actúa hacia arriba en dirección del asiento

de mayor área. A medida que el tapón de la válvula se desplaza de la posición de abierto a cerrado, hay tendencia a haber un cambio de sentido de la fuerza resultante de una dirección a otra, lo que resulta en una tendencia del tapón a atascarse. En válvulas de tamaños abajo de 6" este efecto de atascamiento relativamente no tiene importancia; sin embargo, debe ser considerado en tamaños mayores de 6", por lo que se recomienda en estos casos utilizar un tapón tipo puerto en V en lugar de Parabólico.

### Caida de Presión Permisible

Antes de ver que caída de presión pueden manejar la combinación del cuerpo de una válvula y un actuador determinado; debemos establecer que para determinar el tamaño del cuerpo que permita el flujo de un determinado fluido, debemos considerar la caída de presión actual; mientras que cuando tratamos de determinar el tamaño del actuador debemos considerar la presión de entrada como la caída de presión a través de la válvula, ya que esta será la condición más severa y por tanto requerirá de mayor fuerza proporcionada por el actuador.

La caída de presión permisible es más importante en válvulas de asiento sencillo. En este tipo de válvulas si se instalan con el flujo tendiendo a cerrar existe tendencia del tapón a golpear a medida que se aproxima al asiento; por tanto en aplicaciones de válvulas de un asiento debe evitarse si es posible el flujo tendiendo a cerrar e instalarse siempre con el flujo tendiendo a abrir la válvula de control.

Como via de ejemplo de caída de presión permisible consideramos una válvula de 4" con actuador tamaño No. 13, con carrera de  $1\frac{1}{2}$ , un área inicial del diafragma de 122 pulgadas cuadradas y un área final de 97 pulg. cuad., el cuerpo tiene un área de asiento de 10" cuad. y un área de vástago de 0.2" cuad. Suponemos que esta válvula ha sido seleccionada para manejar un flujo determinado y que estará operando con una presión de entrada de 100 psig. Como primer caso vamos a instalar la válvula con flujo tendiendo a abrir y con un actuador de acción directa instalado para cerrar con aumento en la presión de aire. El actuador trabajará contra una gran fuerza de desbalanceo cuando el tapón esté en la posición de cerrada. Vimos anteriormente en el estudio de fuerzas estáticas que cuando la válvula se encuentra cerrada y el flujo tendiendo a abrir, la fuerza resultante era igual a  $P_{2A3} - \Delta P_{A1}$ , por tanto substituyendo tendremos que  $F. Resultante = 0 (0.2) - 100 (10) = 1000\#$ . En virtud de que con el cambio de presión de 3 a 15 psi sobre el diafragma la válvula pasará de totalmente abierta a totalmente cerrada cuando no hay una caída de presión a través de la válvula,

# C. R. HOJEL & CO., S. A.

TIBER No. 94 MEXICO 5. D. F.  
APDO POSTAL 5-576  
TEL : 5 33-56-35  
CON 5 LINEAS

- 8 -

debemos en este caso que estamos ya aplicando una caída de presión, tener un exceso de presión de aire para vencer la fuerza de desbalance; que será igual al cociente de la fuerza de desbalance entre el área final del diafragma, o sea exceso de presión =  $\frac{1000\#}{97 \text{ in}^2} = 10 \text{ psi}$

deben además, como factor de seguridad, considerarse 2 psi más lo que nos da en exceso igual a 12 psi.

Por tanto para mantener la válvula cerrada contra una caída de presión de 100 psi, será necesario aplicar al diafragma las 15 psi necesarias para mover la válvula a la posición de cerrada más las 12 psi de exceso para mantenerla en esa posición; es decir que la válvula empezará a moverse con 3 psi de presión y no llegará hasta su posición de cerrada hasta que la presión del diafragma llegue a 27 psi.

Con la misma válvula y mismas condiciones, pero utilizando ahora un actuador inverso o sea de acción abre con aire fuerza de desbalance sería también  $P_2 A_3 + \Delta P A_1 = 0 (0.2) - 100 (10) = 1000 \# 3$ . En este caso será necesario ajustar el resorte de tal forma que la compresión inicial sea suficiente para mantener el tapón en la posición de cerrado.

Compresión Inicial de Resorte =  $\frac{1000 \#}{122 \text{ in}^2} = 8.2 \text{ psi} + 2 \text{ psi} = 10.2 \text{ psi}$ . Es decir que será necesario tener ajustado el resorte en tal forma de que cuando se aplique una presión de 10.2 psi sobre el diafragma, éste junto con el tapón empiecen a moverse.

El actuador No. 13 que hablamos seleccionado en nuestro ejemplo tiene una compresión inicial de resorte de 3 psi, por lo que no será suficiente para mantener la válvula cerrada contra la caída de presión; ni aún utilizando rango de 6 - 30 psi tendremos la compresión inicial necesaria en el resorte; debemos por tanto estudiar con el siguiente tamaño de actuador No. 15 que tiene un área inicial de 178 IN<sup>2</sup>.

Compresión Inicial Resorte =  $\frac{1000 \#}{178} = 5.6 + 2 = 7.6 \text{ psi}$ . Aparentemente, este actuador con rangos 3-15 o 6-30 psi tampoco puede manejar la compresión inicial requerida de 7.6 psi, sin embargo, este actuador No. 15 tiene una carrera máxima de 2" por lo que dándole mayor compresión podemos reducir la carrera a 1½" que es la de la válvula de 4" según los datos de este ejemplo; y con esta compresión vemos que el rango del resorte queda de 11-30 psi ó sea que las 11 psi de compresión inicial en el resorte son suficientes para manejar la compresión inicial requerida de 7.6 psi. Por lo tanto deducimos que en este caso es necesario utilizar un actuador No. 15 operando a 1½" de carrera.

# C. R. HOJEL & CO., S. A.

TIBER No. 94 MEXICO 5, D. F.  
APDO POSTAL 5-576  
TEL 5 33 56 35  
CON 5 LINEAS

- 9 -

Veamos ahora al mismo caso anterior pero considerando ahora el flujo tendiendo a cerrar, con acción de la válvula aire para abrir o aire para cerrar. Debemos recordar la tendencia del tapón a golpear a medida que se aproxima al asiento. Se hizo anteriormente mención del efecto del tapón de la tina de baño lo que dificulta grandemente el efectuar un análisis de las fuerzas dinámicas, por lo que en estos casos el tamaño del actuador adecuado se determina por medio de una regla establecida a través de la experiencia; esta regla nos dice que el producto de  $\frac{1}{4}$  del rango del actuador por el área efectiva del diafragma, debe ser mayor que el desbalance estático. Si un actuador se dice tener rango de 3 a 15 psi, el valor de  $\frac{1}{4}$  se toma de la diferencia que es 12 . .  $\frac{1}{4} \times 12 = 3$ . Esta regla para determinar el actuador adecuado, es aplicable en válvulas que van a ser usadas para control; cuando la válvula va a ser utilizada en servicio de apertura rápida o sea abrir y cerrar exclusivamente, en lugar de considerar  $\frac{1}{4}$  de rango, se consideran  $\frac{3}{8}$ .

Aplicando la regla al ejemplo desarrollado con anterioridad, en el cual con una caída de 100 psi teníamos un desbalance resultante de 1000#.

Actuador No. 13, Rango 6 - 30 psi =  $\frac{1}{4}$  (24) (105) = 630 # valor menor que el desbalance.

Actuador No. 15, Rango 6 - 30 psi =  $\frac{1}{4}$  (24) (145) = 870# valor menor que el desbalance.

Actuador No. 18, Rango 6 - 30 psi =  $\frac{1}{4}$  (24) (200) = 1200#.. Es el actuador que debe utilizarse.

Si hacemos finalmente un análisis de los resultados obtenidos en los diferentes casos, encontramos que un actuador No. 13 es el adecuado cuando el flujo tiende a abrir y la acción de la válvula es de cerrar con aire. Un actuador No. 15, es necesario cuando el flujo tiende a abrir y la acción es abrir con aire, y un actuador No. 18 debe emplearse cuando el flujo tiende a cerrar independiente de la acción de abrir o cerrar con aire.

## Actuadores de Pistón

Los actuadores de pistón neumáticamente operados y con posicionador integral están cada día adquiriendo mayor importancia en virtud de que en los diferentes procesos y presiones más altas son manejados.

Los actuadores de pistón son operados por medio de un abastecimiento de aire que varia entre 20 psi mínima y 100 psig máxima, una precarga de 10 psig

# C. R. HOJEL & CO., S. A.

TIBER No. 94 MEXICO 5, D. F.  
APDO. POSTAL 5-676  
TEL.: 5-33-56-35  
CON 5 LINEAS

- 10 -

mínima y una máxima igual a la presión de abastecimiento menos 10 psig.

Fuerza Disponible del Pistón con acción reversa o sea cierra con aire

$$T = Pd \times APo - Fsc$$

T = Fuerza de desbalance en lb.

Pd = Precarga en psig.

Apo = Area superior del pistón en IN<sup>2</sup>

Fsc = Compresión del resorte en lb.

Fuerza Disponible del pistón con acción directa o sea abre con aire.

$$T = Ps \times Apu - Pd \times Apo - Fsc$$

T = Fuerza en lb.

Ps = Presión de abastecimiento en psig.

Apu = Area inferior del pistón en IN<sup>2</sup>

Pd = Precarga en - Psig

APo = Area sup. del pistón en IN<sup>2</sup>

Fsc = Compresión del resorte

Ejemplo de cálculo: Válvula de 2", flujo tendiendo a abrir, acción cierra con aire, presión de entrada 1000 psig. área del orificio del asiento 2.07 in<sup>2</sup>

$$\text{Desbalance} = 2.07 \times 1000 = 2070 \text{ lb.}$$

En los actuadores de pistón los diferentes tamaños se diferencian por medio de letras, así tenemos los tamaños A, B, C, D y DD las características inherentes a c/u de ellos pueden verse en las tablas correspondientes.

Consideramos para nuestro ejemplo un actuador tamaño A el cual tiene un área superior de pistón de 30.9 IN<sup>2</sup> y una fuerza de compresión del resorte de 175 lb.

Aplicando la fórmula de fuerza disponible del pistón con acción cierra con aire, tenemos:

# C. R. HOJEL & CO., S. A.

TIBER No. 84 MEXICO 5, D. F.  
 APDO. POSTAL 5-878  
 TEL.: 5 33-66-35  
 CON 8 LINEAS

- 11 -

$$2070 = Pd \times 30.9 - 175$$

$$Pd = \frac{2070 + 175}{30.9} = 73 \text{ psig}$$

Por regla general debe siempre usarse como precarga un 10% más de lo calculado, por lo que en este caso Pd requerido debe ser de 80 psig por lo que el aire de suministro debe ser por lo menos de 90 psig, si consideramos que el suministro máximo permisible en los actuadores de pistón es de 100 psi vemos que llegamos a un valor muy cercano al máximo, el cual se aproximará aún más si tomamos en nuestros cálculos en cuenta, la fuerza producida por la fricción del vástago. Deducimos de esto que debemos efectuar el mismo estudio en el siguiente tamaño de actuador o sea el B que tiene un área superior de pistón de 51.5 IN<sup>2</sup> y una fuerza de compresión del resorte de 180 lbs. . Pd =  $\frac{2070 + 180}{51.5} = 44 \text{ psig} + 10\% = 48 \text{ psi}$  con abastecimiento de aire de por lo menos 58 psi. Por tanto este sería el actuador adecuado. Si consideramos ahora una válvula de 4" con flujo tendiendo a cerrar, acción abre con aire, presión de entrada de 400 psig área de orificio del asiento de 9.95 in.<sup>2</sup>, área de vástago de 0.79 que en este caso disponemos de 80 psig de presión máxima en el aire de suministro.

Si consideramos inicialmente un actuador tamaño B con área superior del pistón de 51.51 in<sup>2</sup> e inferior de 56.2 in<sup>2</sup>, tendremos primeramente que la fuerza de desbalance cuando la válvula está cerrada es igual a 9.95 x 400 = 4000 lb. y cuando la válvula está abierta es igual a 0.79 x 400 = 316 lbs.

$$\text{La precarga requerida } Pd = \frac{T}{Apo} = \frac{316}{51.5} = \frac{316}{51.5} = 6.1 \text{ psi}$$

en virtud de que se estableció que la precarga mínima en actuadores de pistón debe ser de 10 psig, consideramos está en este caso.

$$\text{La presión de suministro debe ser: } Ps = \frac{T + Pd Apo}{Apu} =$$

$$\frac{3660 + 10 \times 51.5}{56.2} = 74.3 \text{ psi} + 10\% = 82 \text{ psi. Como se estableció que la presión}$$

máxima de suministro disponible era de 80 psi necesitamos efectuar el estudio con el tamaño C de actuador, el cual tiene una área superior 98.7 in<sup>2</sup> y 103 in<sup>2</sup> de área inferior.

$$Pd = \frac{316}{98.7} = 3.2 \text{ psi} \therefore \text{ Se considera } 10 \text{ psig.}$$

$$Ps = \frac{3660 + 10 \times 98.7}{103} = 45 \text{ psig} + 10\% = 50 \text{ psi}$$

Este será el actuador adecuado.

## CONTROL DE RUIDO EN VALVULAS DE CONTROL

El ruido producido por las válvulas de control se ha convertido en un punto de atención, el cual debe limitarse en zonas industriales a 90 db por 8 hr de exposición ó 115 db hasta 15 min. de exposición.

Existen 3 fuentes de ruido asociadas con las válvulas de control.

a) Ruido debido a la vibración mecánica v. gr. resonancia de los interiores de la válvula. Este puede ser eliminado cambiando el diámetro del vástago, cambiando la masa del tapón o algunas veces cambiando la dirección del flujo.

b) Cavitación. Este ruido es producido por el colapso de burbujas de vapor en una corriente de fluido líquido. Esto puede ser evitado usando un valor alto de  $cf$  o  $kc$ .

c) Ruido producido por la turbulencia del fluido, el cual es casi imperceptible en líquidos, pero muy importante en gases o vapor debido a la alta velocidad cuando pasa el orificio de la válvula a caída de presión crítica.

Lo siguiente es un medio matemático para estimar el nivel del ruido en  $lb$ . debido a la turbulencia.

El SPL nivel de presión del sonido para gases con caída de presión crítica y a una distancia de 3ft de la válvula puede ser calculado por medio de la siguiente fórmula.  $SPL = 10 \log. (10^n n P_1 P_2 C-G Cf) \dagger Sg \dagger St - A$  (db).

SPL = Nivel de presión del sonido

N = Factor de Eficiencia

A = Factor de atenuación db

Sg = Factor del gas db.

$P_1$  = Presión de entrada psia

$P_2$  = " " salida "

St = Factor de corrección de temperatura db

Cv = Coeficiente de flujo

La fórmula anterior puede resolverse por medio de gráficas. Se suman los factores  $S_u$ ,  $S_p$  y  $S_e$  de las gráficas con  $S_t$  y  $S_g$  de las tablas, de esta suma se substraen  $S_a$ . . .  $SPL = S_u \dagger S_p \dagger S_t \dagger S_g - S_a$ .

Como vía de ejemplo vamos a determinar el nivel de presión de sonido SPL en una válvula de ángulo de 2" con orificio reducido manejado con gas natural a presión de entrada de 3460 psia y 740 de salida,  $C_v = 3.8$   $cf = 0.55$  instalada en tubería de cédula 80.

De las tablas  $S_u = 6$   $S_p = 89$   $S_e = 21.6$   $sg = 1$   $S_a = 18$   $SPL = 6 - 89 - 21.6$

# C. R. HOJEL & Co., S. A.

TIBER No. 94 MEXICO 5, D. F.  
APDO POSTAL 5-576  
TEL. 5 33-56 35  
CON 5 LINEAS

- 13 -

- 1 - 18 = 97.6 db.

Para determinar el nivel de presión del sonido a distancias mayores de 3 ft se emplea la siguiente fórmula:  $SPL_{dist.} = SPL - 10 \log (distancia \text{ en } ft/3)$ . Estas fórmulas mencionadas únicamente son aplicables cuando la velocidad a la salida de la válvula es inferior a la velocidad sónica.

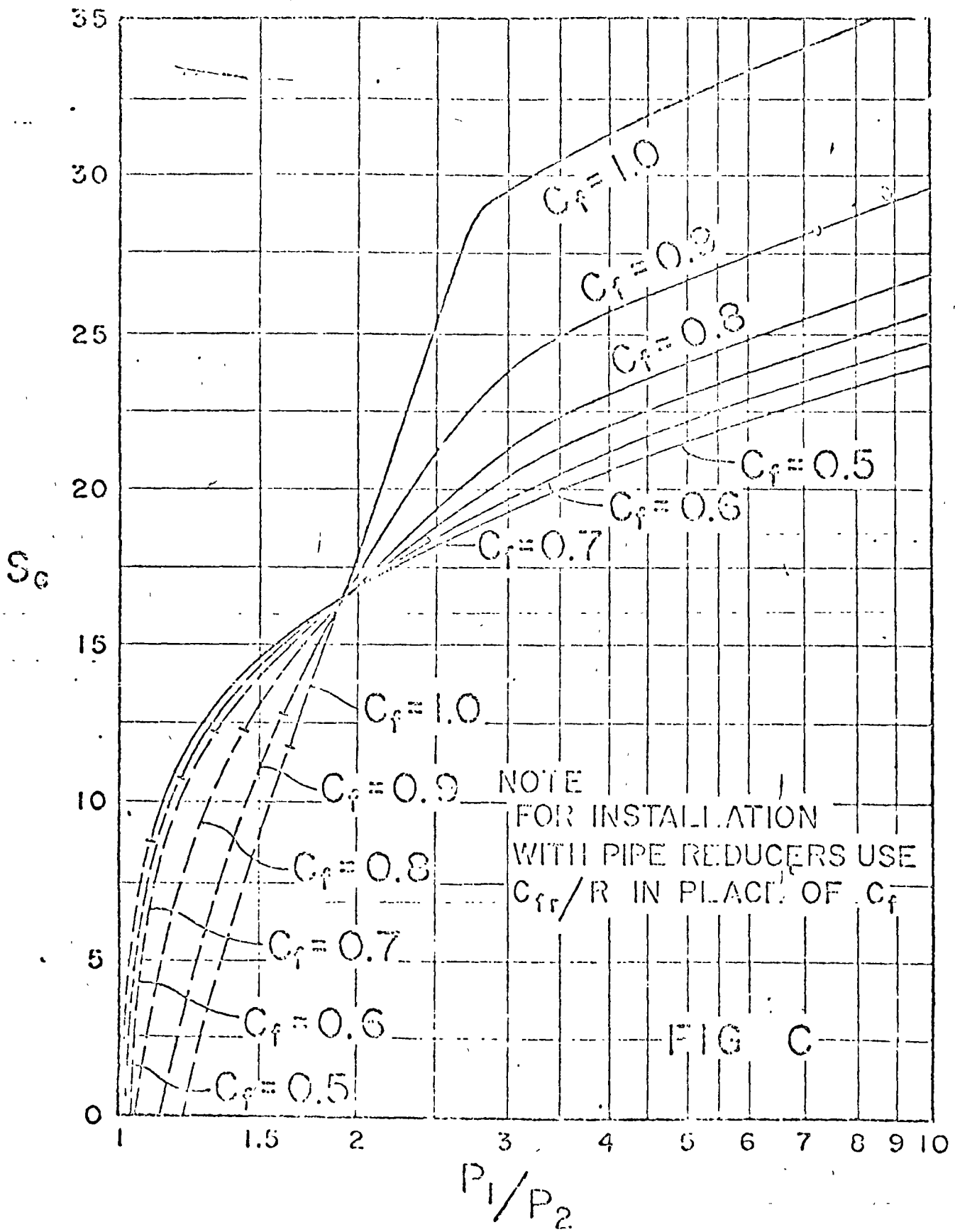
Cuando en la velocidad sónica existe turbulencia producida por la alta velocidad de salida y es la fuente predominante de ruido; la fórmula para determinar el nivel de presión del sonido es :

$$SPL = 10 \log (5 \times 10^{11} P_2 d^4) + S_g + S_t - S_a$$

d = diámetro de la salida de la válvula.

Ing. Armando Hernández  
Julio 1972

- 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 -



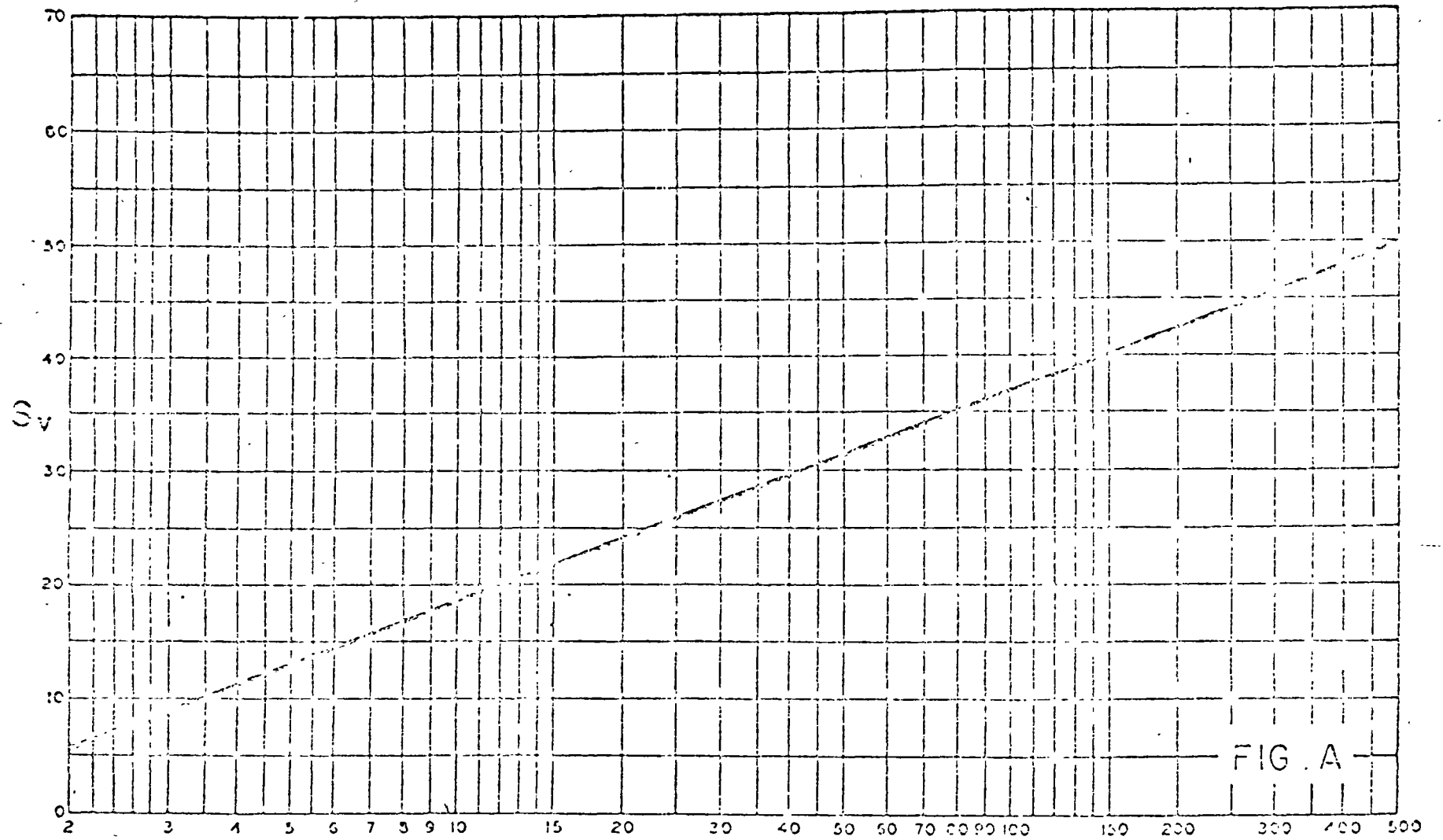
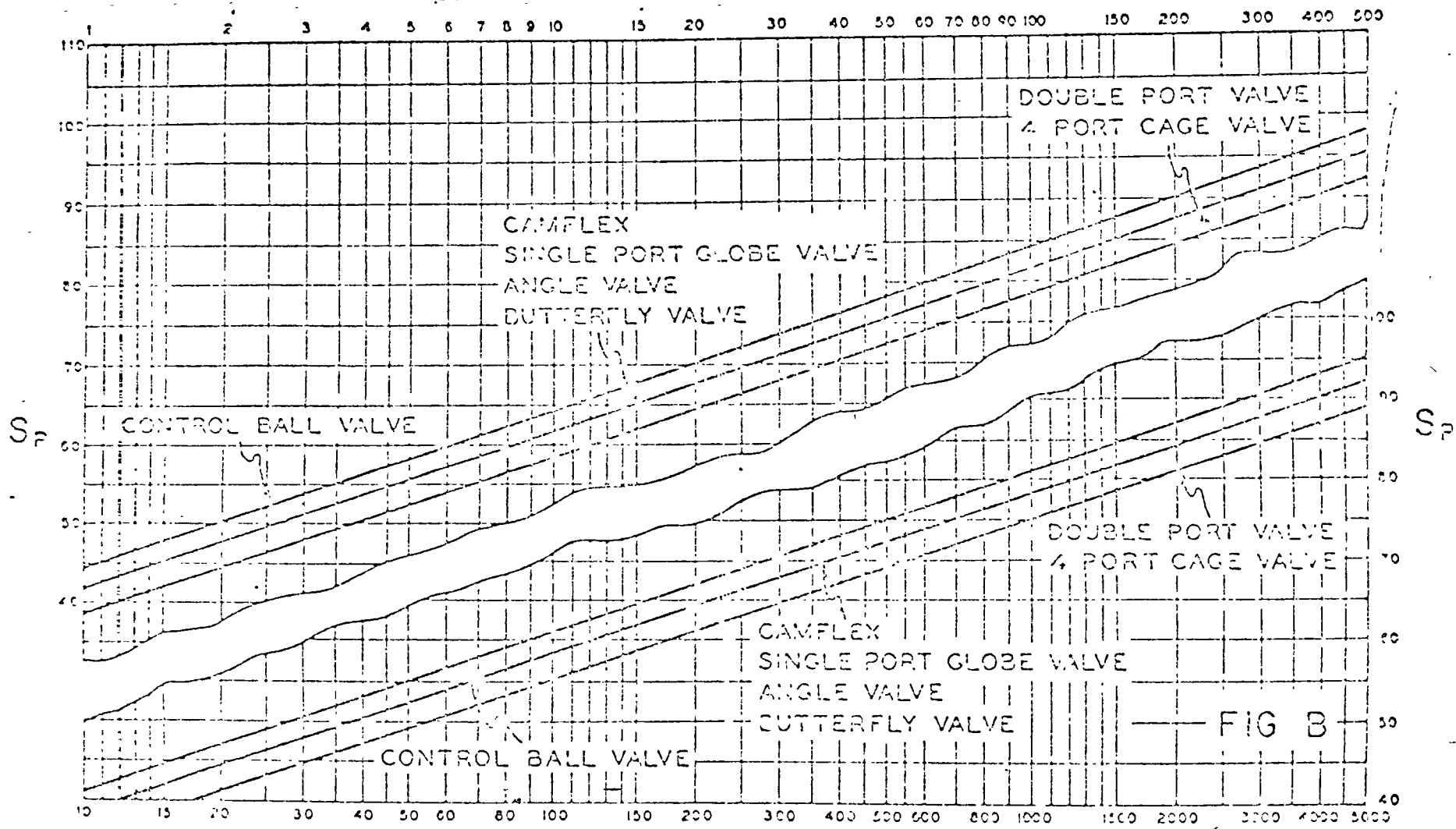


FIG. A

ACTUAL FLOW CAPACITY ( $C_v C_f$ )

# VALVE INLET PRESSURE (BARS)



# VALVE INLET PRESSURE (PSIA)

DOMOTOR DATA

			Effective Area (In <sup>2</sup> )		Spring Forces (lb)				
Actuator Size	Max. Stroke (In)	Nominal Size (In <sup>2</sup> )	Over Piston Apo	Under Piston Apu	Spring under piston*		Spring over piston**		Max. Stroke w/Spring (In)
					Spring Compressed Fsc	Spring Extended Fse	Spring Compressed Fsc	Spring Extended Fse	
A	3/4	25	30.9	35.4	175	40	118	102	3/4
B	1-1/2	50	51.5	56.2	180	60	123	90	1-1/2
C	2-1/2	100	98.7	103	300	0	200	50	2-1/2
D	6	200	188	198	300	0	700	350	2-1/2 3
DD	6	400	387	396					

\* Furnished on air-to-close unit unless otherwise specified.

\*\* Not standard.

TABLE 1



/

FACTOR DE CAPACIDAD Cv  
EN VALVULAS DE CONTROL

El uso de un coeficiente de flujo Cv, se introdujo en 1944 y fué rápidamente aceptado como un número universal que especifica claramente la capacidad de las válvulas.

Es tan práctico, que actualmente las discusiones sobre especificaciones, diseños ó comportamiento del flujo, emplean dicho coeficiente.

¿De donde proviene este coeficiente?

Recordemos el comportamiento de un fluido cuando a su paso existe una restricción (orificio) en una sección de la tubería.

La ecuación general de flujo para un fluido no compresible, es:

$$Q = CA_2 \sqrt{2gh} \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}}$$

C = coeficiente de descarga

A<sub>2</sub> = Area orificio

g = constante gravitacional

h = caída de presión expresada en columna del fluido

d = diámetro orificio

D = diámetro tubería

Q = flujo en unidades de volumen

Ahora bien; para una tubería y orificio dados

$$Q = K \sqrt{h}$$

Siendo K una constante de proporcionalidad expresando la diferencia de presión en función de h, sabemos que en general la energía de presión debido a la presión en cualquier sección es igual a:

$$E_p = \frac{P}{\gamma}$$

Siendo  $\gamma$  = peso específico del fluido.

Para la diferencia de presiones a través del orificio

$$\Delta E_p = h = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}$$

$$h = (P_1 - P_2) \frac{1}{\gamma} = \frac{\Delta P}{\gamma}$$

si  $\gamma = \frac{\gamma}{\gamma_w}$  : Densidad relativa.  
 $\gamma$  = peso específico del líquido a la temperatura de operación.  
 $\gamma_w$  = peso específico del agua a 60°F.

por lo tanto  $\gamma = \gamma \times \gamma_w$

sustituyendo en h;

$$h = \frac{\Delta P}{\gamma \gamma_w}$$

sistituyento en Q;

$$Q = K \sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma \gamma_w}}$$

pero es una constante, por lo tanto

$$Q = K_1 \sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma}}$$

Si hacemos Q =  $\frac{\text{Galon}}{\text{Min.}}$ ,  $\Delta P = 1 \text{ psi}$

y consideramos fluido agua con  $\gamma = 1$

tendremos

$$Q = K_1 \quad \text{y por lo tanto}$$

K<sub>1</sub> representa al número de galones por minuto que pasan a través del orificio, cuando la caída de presión es de 1 psi y el fluido tiene una densidad de 1 (agua).

Hablando de válvulas de control, al número K<sub>1</sub> se le llama coe-ficiente de flujo ó coeficiente de capacidad "Cv"

sustituyendo en Q tendremos.

$$Q = C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

y finalmente

$$C_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}}$$

Desde luego, esta expresión es correcta para flujos turbulentos con No. Reynolds arriba de 15,000.

Como puede verse en la figura No. 6, el coeficiente de descarga "C" varia solo entre 0.60 y 0.61 para diferentes relaciones de  $\frac{d}{D}$

esto significa que es valida la ecuación.

$$C_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}}$$

Siempre y cuando se tengan No. Reynolds arriba de 15,000.

"Cv" para flujo laminar.

Cuando el No. de Reynolds es menor de 15,000, el flujo se torna laminar y esto puede suceder en los casos siguientes:

- a. Viscosidad arriba de 20 centipoises "u".
- b. P de valor pequeño.

Para estos casos es necesario la siguiente ecuación.

$$C_v = 0.072 \left( \frac{\mu a}{\Delta P} \right)^{\frac{2}{3}}$$

ó puede utilizarse un factor de corrección al Cv calculando normalmente, por medio de gráficas hechas para este propósito.

Coefficiente de flujo para gases.

Las formulas para cálculo de capacidades (Cv) de válvulas manejando gas ó vapor, se derivan del mismo principio y análisis que para los líquidos, excepto que se introduce un factor de

corrección por peso específico.  
una de ellas es:

$$C_v = \frac{Q}{963} \sqrt{\frac{P_1 T}{\Delta P (P_1 + P_2)}}$$

Q : pies cubicos STD.

T : Temp. absoluta.

### PRESION CRITICA.

A través de un orificio ó restricción (figura 7), se tienen gradientes de presión que nos dan tres valores discutibles, estos son:

- a. Presión antes de orificio ( $P_1$ )
- b. Presión en la vena contracta ( $P_v$ )
- c. Presión después de orificio ( $P_2$ )

Un flujo restringido muestra un grado de recuperación de presión, por ejemplo: un orificio de medición de flujo con una relación de diámetro  $\frac{d}{D} = 0.80$ , recupera el 62% de la diferen-

cia de presiones ( $P_1 - P_v$ ), es decir que la pérdida de presión no recuperable ( $P_1 - P_2$ ) equivale al 38% de la caída ( $P_1 - P_v$ ).

$$\Delta P_o = P_1 - P_v \quad (\text{Caída de presión en orificio})$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (\text{Caída de presión no recuperable})$$

Ahora bien; si para ciertas condiciones de  $P_1$  y temperatura de un líquido se va reduciendo el área del orificio, llega esta área a un valor tal que la presión  $P_v$  sea la presión de vaporización del líquido.

A este valor de presión  $P_v$  se le llama presión crítica ( $P_{vc}$ ).

A este valor de presión crítica, le corresponde un cierto valor de presión  $P_2$ , que es superior a la presión crítica abviamente, pero a dicha presión  $P_2$  corresponde una  $P_{vc}$ , por lo tanto se dice:

para  $P_v = P_{vc}$

$$P_1 - P_2 = \Delta P \text{ crítica}$$

con presión crítica en el orificio ( $P_{vc}$ ), el líquido se vaporiza en la vena contracta. La segunda fase es que dichas burbujas de vapor pasan a una presión superior debido a la recuperación de presión y en ese momento la presión es superior a la presión de vapor y por lo tanto las burbujas sufren un colapso produciendo "cavitación" en la válvula y puede resultar un daño grave en la misma.

Para no tener efecto de cavitación, la presión en la vena contracta debe mantenerse arriba de la presión de vapor.

Cuando la presión de la vena contracta es menor a la presión de vapor, dijimos que existe vaporización del líquido, ahora bien; si la recuperación de presión posterior a la vena contracta resulta en una presión todavía abajo de la presión de vaporización, las burbujas de vapor permanecen en ese estado y no hay colapso. En estas condiciones se dice que solo existe efecto "Flashing".

Cuando se tiene este efecto flashing, en la descarga del orificio se sufre un atascamiento y el flujo ya no se incrementa con la disminución de presión a la descarga, es decir que solo aumentando el área del orificio se podría conseguir aumento de flujo.

Este comportamiento es una desviación de la ecuación original del  $C_v$ , por lo tanto para utilizar dicha ecuación original, es necesario primero calcular la caída de presión crítica antes de aplicarla a la ecuación.

$$\Delta P_c = K_m (P_1 - r_c P_v)$$

siendo:

$\Delta P_c$  = caída de presión crítica.

$K_m$  = coeficiente de recuperación presión por tablas.

$P_1$  = Presión de entrada

$P_v$  = Presión de vapor

$r_c$  =  $\frac{P_v}{P \text{ crítica}}$  Por gráficas hechas para diferentes líquidos.

## Velocidad crítica en Vapor y Gases.

Si un cierto flujo se pasa a través de una reducción, se tiene una cierta velocidad en la vena contracta, la cual será función de la caída de presión a través de la misma ( $\sqrt{\Delta P}$ ).

Ahora bien; si se va reduciendo el área de esta reducción, manteniendo la presión de entrada, la caída de presión va aumentando y por lo tanto también la velocidad, hasta que llegamos a la velocidad del sonido.

Con la velocidad del sonido (velocidad crítica), la presión de salida es crítica con respecto a la presión de entrada y a partir de esta condición, aunque se disminuya la presión de salida, el flujo permanecerá sin aumentar.

Para estos casos la forma de aumentar la capacidad de la válvula es aumentando el área. Existen ecuaciones para condiciones subcríticas y críticas.

La velocidad del sonido es muy molesto y puede dañar los interiores de las válvulas.

## Velocidad Límite en Cuerpos de Válvula.

Otro aspecto muy importante que hay que considerar es que arriba de ciertas velocidades del fluido se presenta ruido y vibraciones

Si rebasa la velocidad límite en el lado de salida; así como erosión y ruido si rebasa la velocidad límite a la entrada.

### a. Velocidad Límite a la Entrada.

A continuación se muestran los valores de velocidad límite para diferentes tamaños de válvula.

<u>Tamaño</u>	<u>Velocidad Límite</u>	
	Gases ó Vapor	Líquidos
	pies/min.	pies/seg.
½" a 1"	25,000	25
1 1/4" a 2"	20,000	20
2½" a 4"	17,000	17
5" a 8"	15,000	15
10" a 12"	12,000	12

- b. Velocidad Límite a la Salida.  
Los fabricantes nos dan un valor de 50,000 pies/min. para velocidad límite a la salida de la válvula, para gas, aire y vapor.

La velocidad límite para agua es de 20 pies por seg. con cuerpo de acero al carbón y 35 pies por seg. para cuerpos de aleación cromo-molibdeno.

En los casos que se tengan por cálculo, velocidades arriba de las velocidades límite, es necesario especificar un cuerpo de mayor tamaño y conservar el mismo tamaño de puerto que nos maneje el Cv requerido.

Con cuerpo de mayor tamaño, la velocidad baja de valor, de la ecuación;  $Q = VA$ .

### Característica de Flujo.

La característica de flujo de una válvula de control es la relación.

$$C.F. = \frac{\% \text{ Flujo}}{\% \text{ Abertura}}$$

Se tienen dos tipos de característica de flujo

- a. Inherente
- b. Actual

La característica de flujo inherente se refiere a la característica observada con una caída de presión constante a través de la válvula, para diferentes aberturas.

La característica de flujo actual, es la que se observa en el proceso cuando la caída de presión varia en función del flujo y otras variaciones del proceso.

El propósito de caracterizar las válvulas de control es el de suministrar una estabilidad uniforme en todo el rango de operación del sistema. Esto requiere un análisis dinámico del sistema.

En base a estos análisis dinámicos se han llegado a recomendaciones guía, para poder especificar la característica de flujo correcta.

La figura 8, muestra la característica de flujo inherente en cada tipo de tapón de válvula.

Es importante que se suministre el tapón adecuado para cada aplicación, para obtener mejores resultados en el sistema de control.

Como ilustración damos el ejemplo siguiente:

Supongamos un domo de caldera, el cual esta operando a presión constante para todas las demandas de vapor. A este domo se le esta suministrando agua por medio de una bomba cuya característica se muestra en la figura 9.

Según esta característica de bomba a bajos flujos la presión de entrada es mayor que a altos flujos.

El Cv para esta válvula es:

a 100% flujo:

$$Cv = 240 \sqrt{\frac{1}{20}} = \frac{240}{4.47} = 53.5$$

a 50% flujo:

$$Cv = 120 \sqrt{\frac{1}{20}} = \frac{120}{10} = 12.0$$

Como se observa el Cv no es lineal al flujo debido a que P varia. A 50% flujo requerimos tan sólo el 23% del Cv máximo, esto significa que para poder tener una relación lineal entre flujo y abertura se necesita un tapón que tenga Cv aproximadamente de 12 para 50% viaje del vástago, esta característica la da el tapón de igual porcentaje.

Aplicando este tapón en la válvula de control de agua se tendrá una característica casi lineal entre % viaje vástago y flujo al domo y el sistema de control es más estable y más fácil de conseguir pequeños incrementos de flujo sobre todo a bajas cargas.

$$R = \frac{DV\rho}{\mu}$$

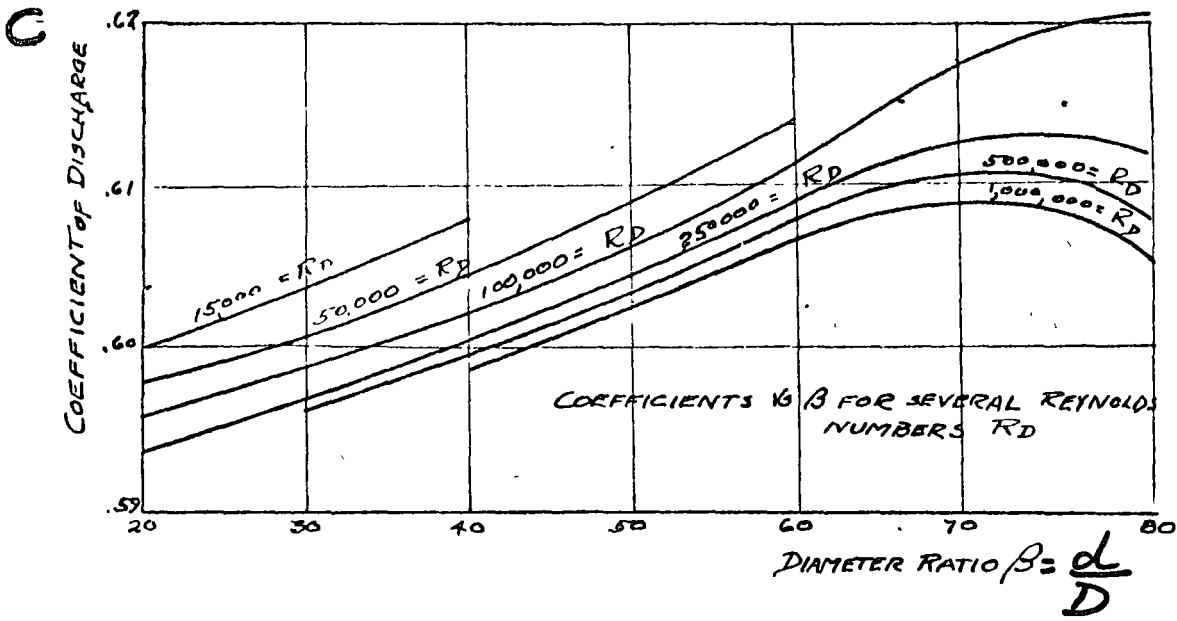
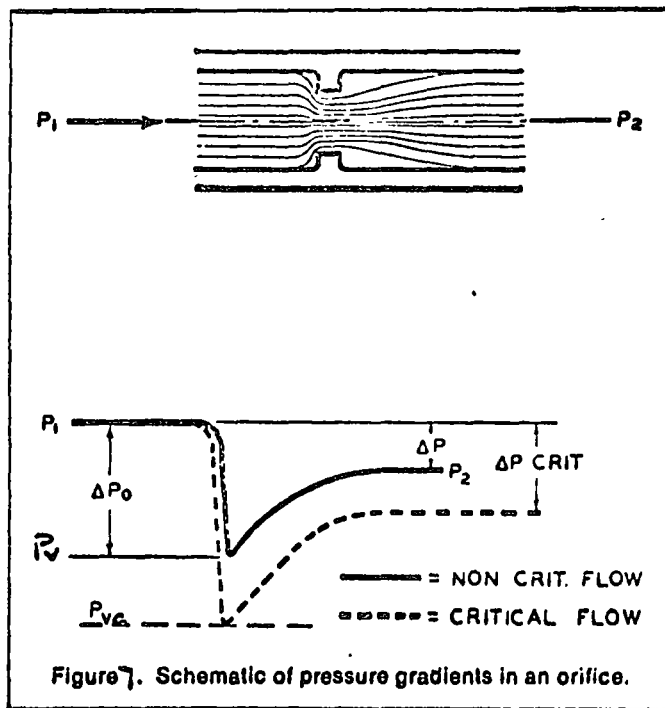


FIG. No 6.



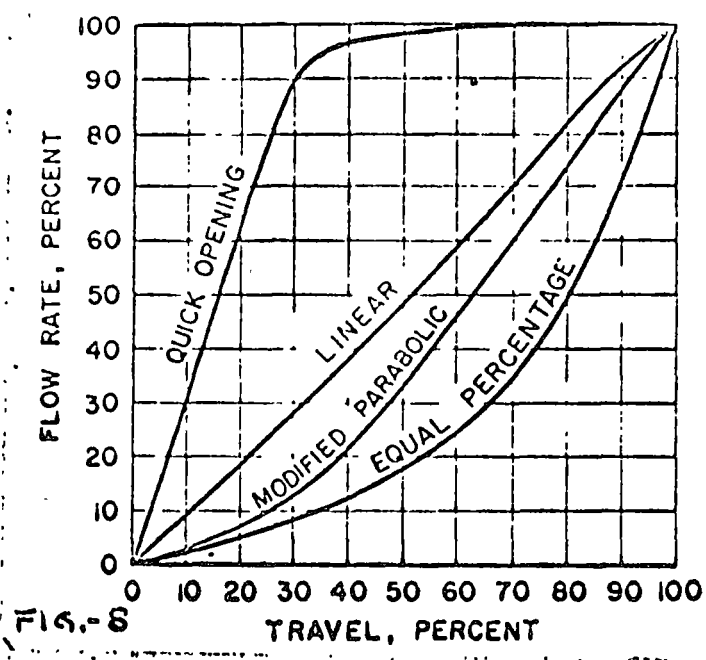
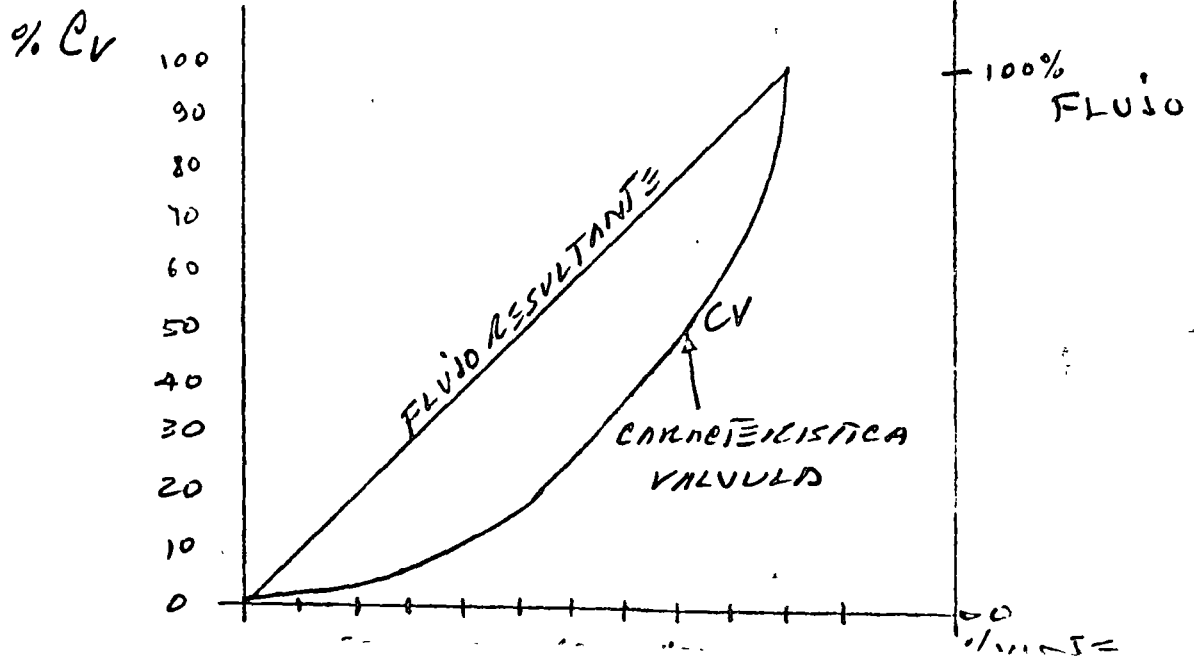
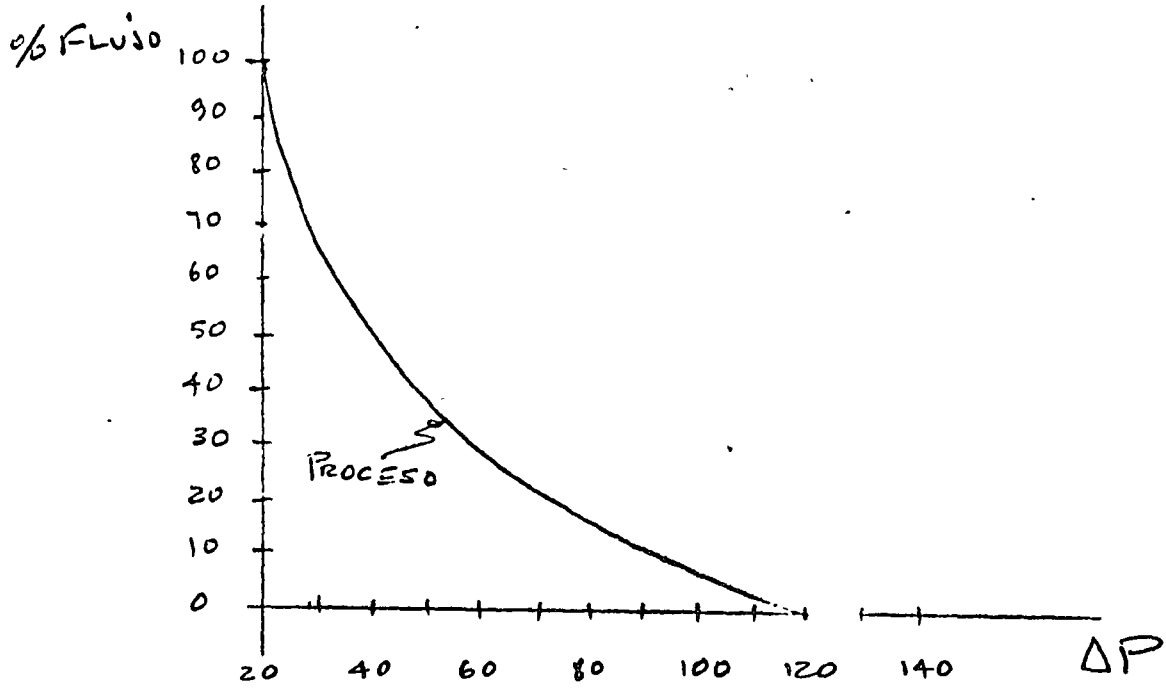
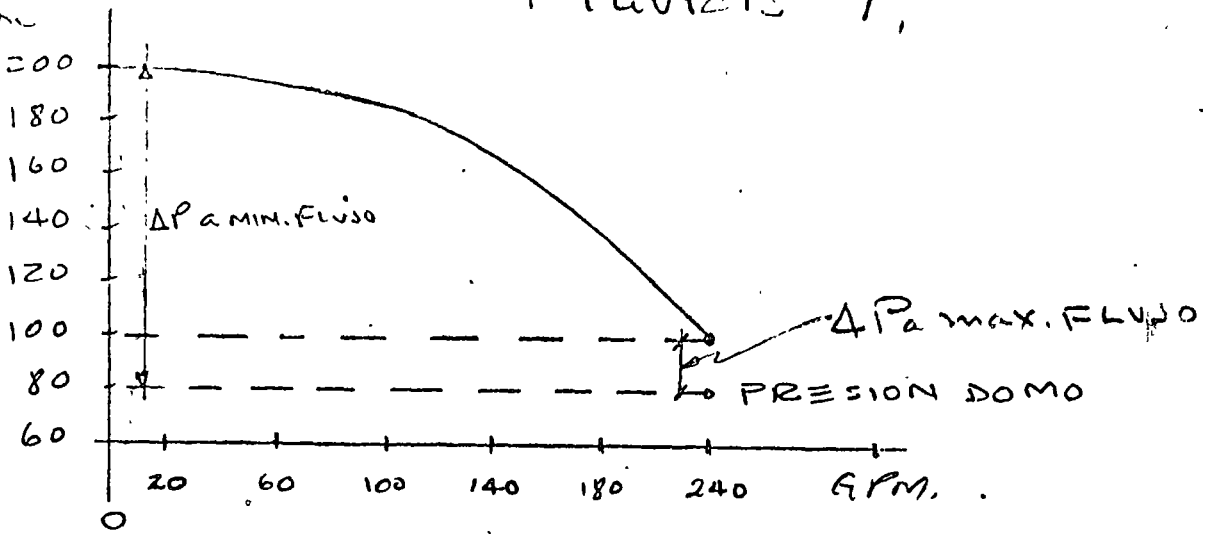


FIG.-8

TRAVEL, PERCENT

FIGURE 9,

PT - 5100  
 5.00000  
 LB/INCH<sup>2</sup>



## POSICIONADOR NEUMATICO.

### 1. Descripción de Operación.

El Posicionador figura No. 1, consiste esencialmente en el equilibrio de dos fuerzas opuestas, aplicadas sobre una viga.

Cuando la viga está en balance, el par producido por la fuerza del fuelle (hacia arriba), será igual al par producido por la fuerza del resorte (hacia abajo).

La fuerza ejercida por el fuelle depende del valor de la señal de control establecida por el sistema y en relación con la demanda del medio controlado.

La fuerza ejercida por el resorte depende de la posición del vástago de la válvula (abertura en interiores) y de la configuración de la leva, debido a que el desplazamiento líneal del vástago se traduce mecánicamente en movimiento angular de la leva.

Por lo tanto, la configuración de la leva nos da la relación que existe entre el valor de la señal de control (fuelle) y la posición del vástago de la válvula (área en los puertos).

### 2. Arreglos Válvula - Posicionador.

Dependiendo de la aplicación, el posicionador puede ser ajustado para operación directa ú operación inversa (fig. 2).

#### a. Acción Directa.

Se dice que la acción es directa, cuando a un incremento en la señal de control sobre el fuelle del posicionador, corresponde un incremento en la presión hacia el actuador de la válvula.

#### b. Acción Inversa.

Se dice que la acción es inversa cuando a un incremento en la señal de control sobre el fuelle del posicionador, corresponde una disminución en la presión hacia el actuador de la válvula.

Ejemplo:

Acción Directa, fig. 2, esquema A.

Un incremento en la señal de control sobre el fuelle, produce un desplazamiento del vástago de la válvula piloto hacia arriba, el área del puerto de salida aumenta y por lo tanto aumenta también la presión al actuador de diafragma.

El vástago de la válvula de control se desplaza hacia el interior del cuerpo de la válvula.

El brazo operador del posicionador hace girar la leva en dirección de las manecillas del reloj dando mayor tensión al resorte, hasta que la nueva tensión se equilibre con la presión actual sobre el fuelle.

La presión de salida del piloto se incrementará hasta el valor que sea necesario para conseguir la nueva posición de la válvula, que corresponde a ese nuevo valor de señal de control.

### 3. Funciones.

El posicionador neumático puede cubrir las funciones siguientes:

#### a. Repetibilidad.

La parte móvil de las válvulas está sujeta no sólo a la influencia de las fuerzas correspondientes a la presión del aire y del resorte, sino también a otras fuerzas como la producida por la presión del fluido y fricciones.

Dichas fuerzas no son de valor constante produciendo diferentes aberturas de válvula para los mismos valores de señal de control

El posicionador elimina estas desviaciones y permite que los valores de abertura contra señal de control dados en la configuración de la leva, siempre sean los mismos.

#### b. Rango Ajustable (Figs. 3 y 4)

En algunos casos es necesario que la válvula tenga posición cerrada con una señal de control diferente al 0% y una abertura máxima menor del 100% de abertura, con una señal de control del 100%.

Cualquier combinación entre desplazamiento del vástago contra señal neumática de control, se puede conseguir el posicionador.

#### c. Control Caracterizado (fig. 4 y 5)

La configuración de la leva puede hacerse de tal forma que se consiga cualquier relación  $L = f(P)$ , siendo:

L = señal de control

P = posición de válvula

#### d. Paralelismo.

Cuando se desean operar dos ó más válvulas con una señal de control de modo que el efecto sobre los medios controlados ten-

gan una inter-relación bien de finida a los distintos valores de demanda.

En este caso cada válvula tendría su propia característica, haciéndolo en forma similar al método de la fig. 4.

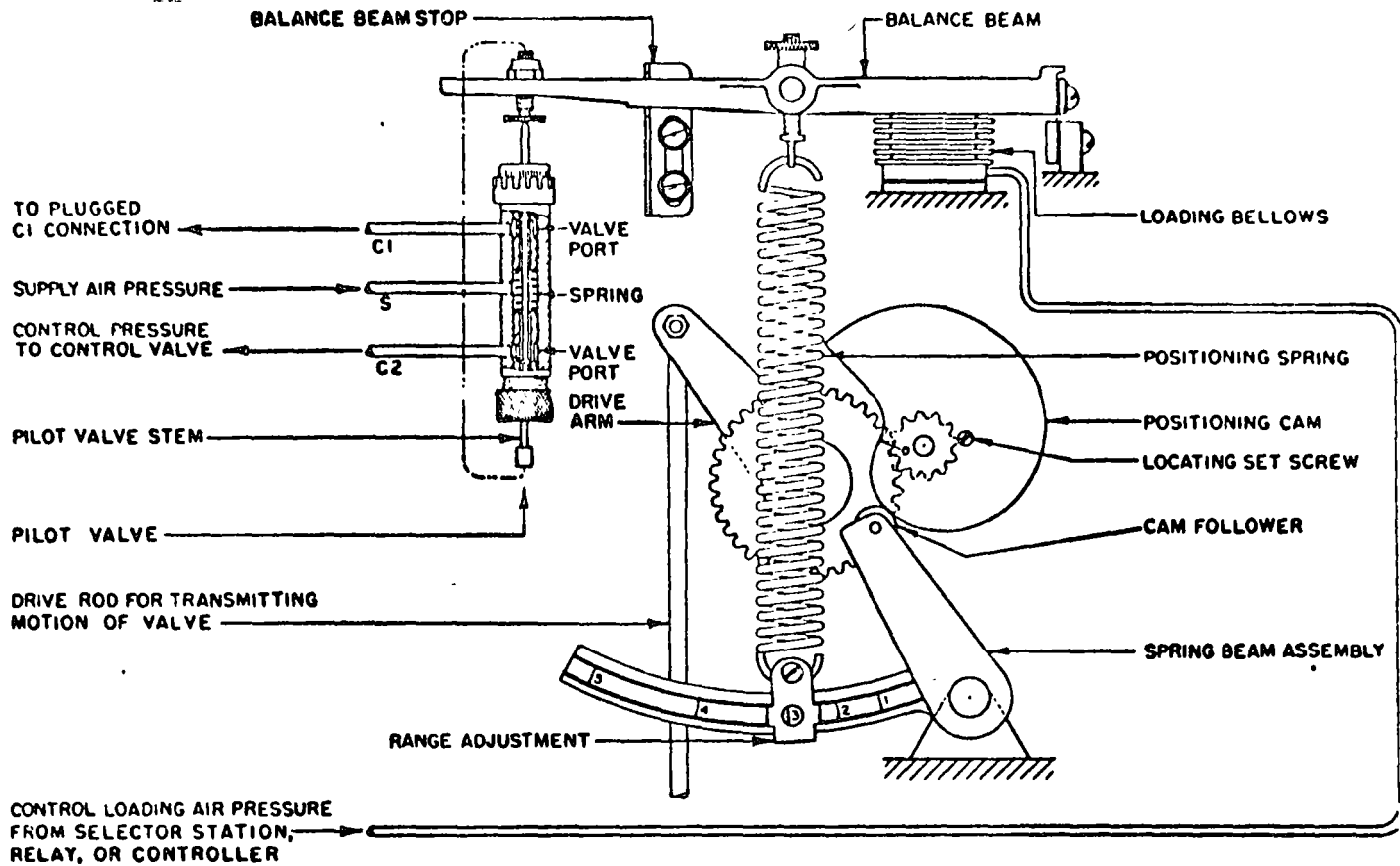
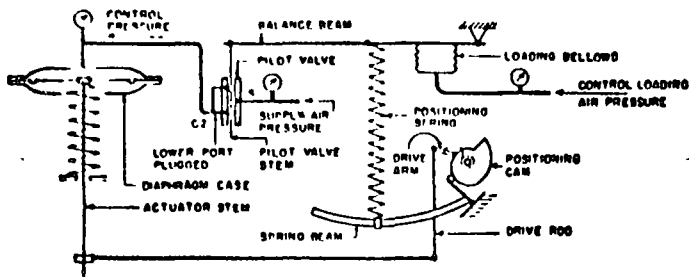


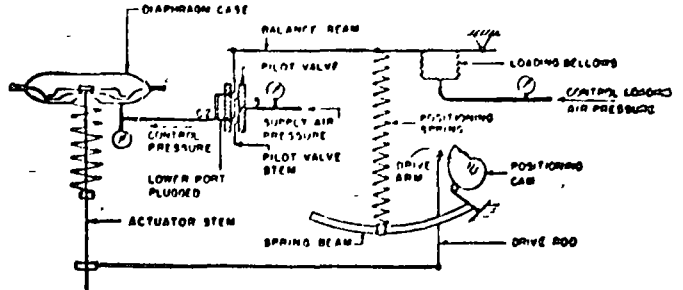
FIGURE 1 - Positioner Shown Schematically



INCREASE IN CONTROL LOADING PRESSURE TO LOADING BELLOWS MOVES  
ACTUATOR STEM OUT OF DIAPHRAGM CASE

TOP CONNECTED DIAPHRAGM ACTUATOR

SKETCH A

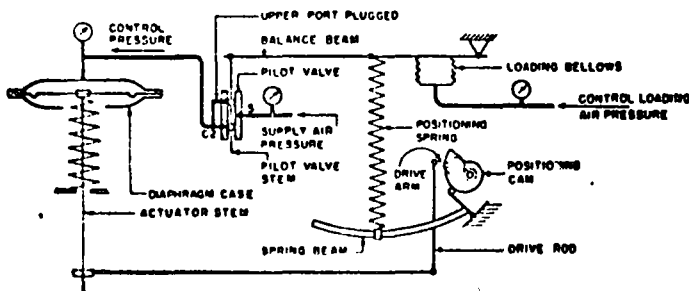


INCREASE IN CONTROL LOADING PRESSURE TO LOADING BELLOWS MOVES  
ACTUATOR STEM TOWARD UPPER DIAPHRAGM CASE

BOTTOM CONNECTED DIAPHRAGM ACTUATOR

SKETCH B

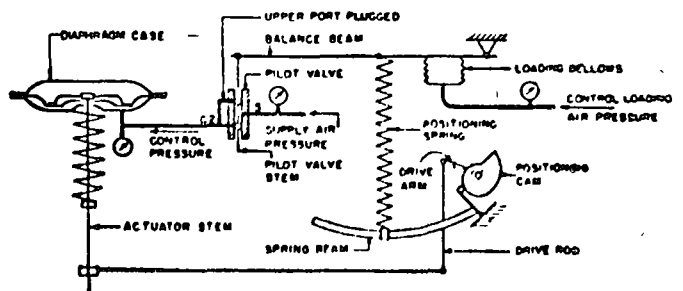
DIRECT LOADING



INCREASE IN CONTROL LOADING PRESSURE TO LOADING BELLOWS MOVES  
ACTUATOR STEM TOWARD DIAPHRAGM CASE

TOP CONNECTED DIAPHRAGM ACTUATOR

SKETCH C



INCREASE IN CONTROL LOADING PRESSURE TO LOADING BELLOWS MOVES  
ACTUATOR STEM OUT OF DIAPHRAGM CASE

BOTTOM CONNECTED DIAPHRAGM ACTUATOR

SKETCH D

REVERSE LOADING

FIGURE 2- Application of Positioner to Diaphragm Actuators

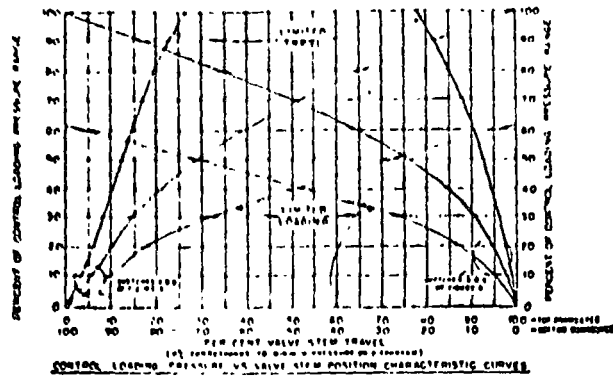


FIGURE 34 Cam A or A-1/2, Square Root Relation

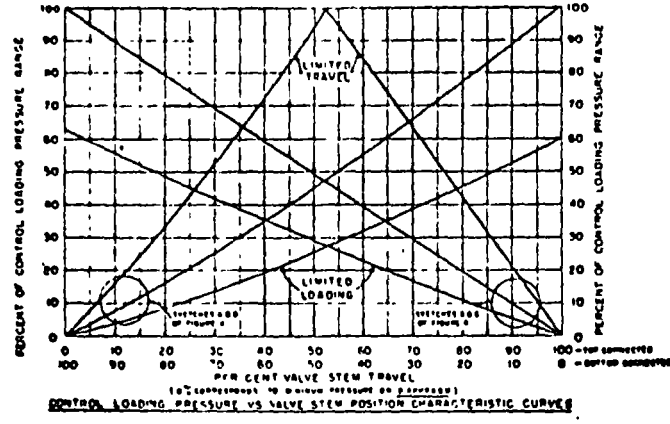


FIGURE 35 Cam B or B-1/2, Straight Line Relation

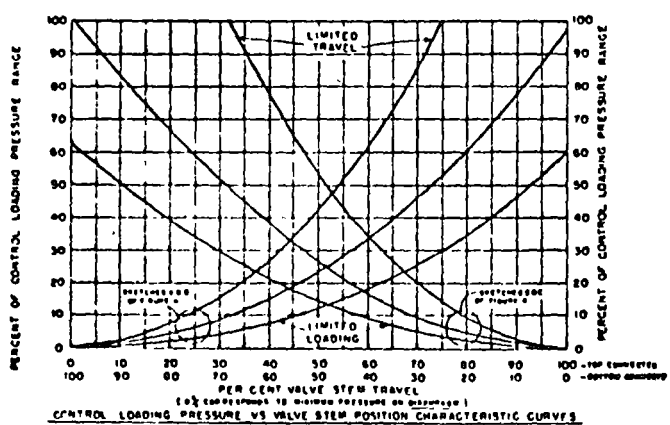


FIGURE 36 Cam C or C-1/2, Square Relation

Positioning Cam, Any Stroke	Inner Valve Position (P) vs. Control Loading (L)	Fig. No.
A or A-1/2	Square Root ( $L = \sqrt{P}$ )	7
B or B-1/2	Straight Line ( $L = P$ )	8
C or C-1/2	Square ( $L = P^2$ )	9

TABLE 1 - Positioning Cam Characteristic

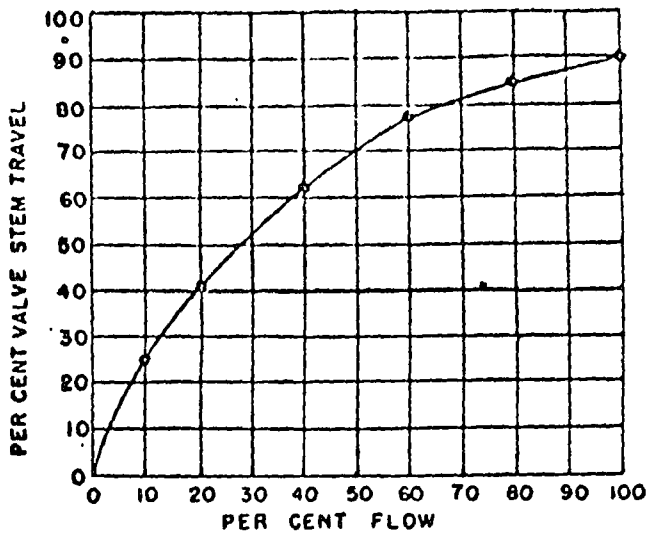


FIGURE 4a Valve Characteristic

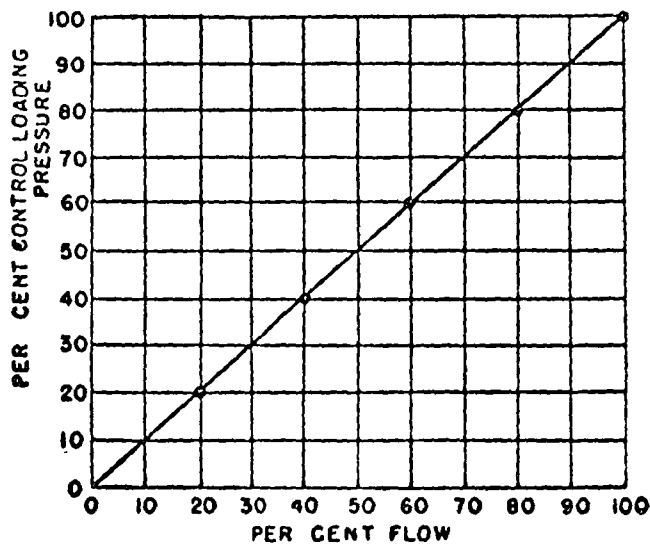


FIGURE 4b Desired Control

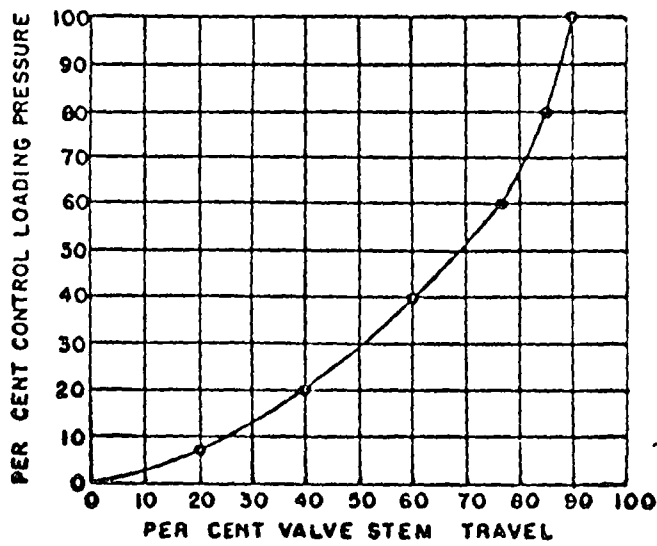


FIGURE 4c Cam Characteristic

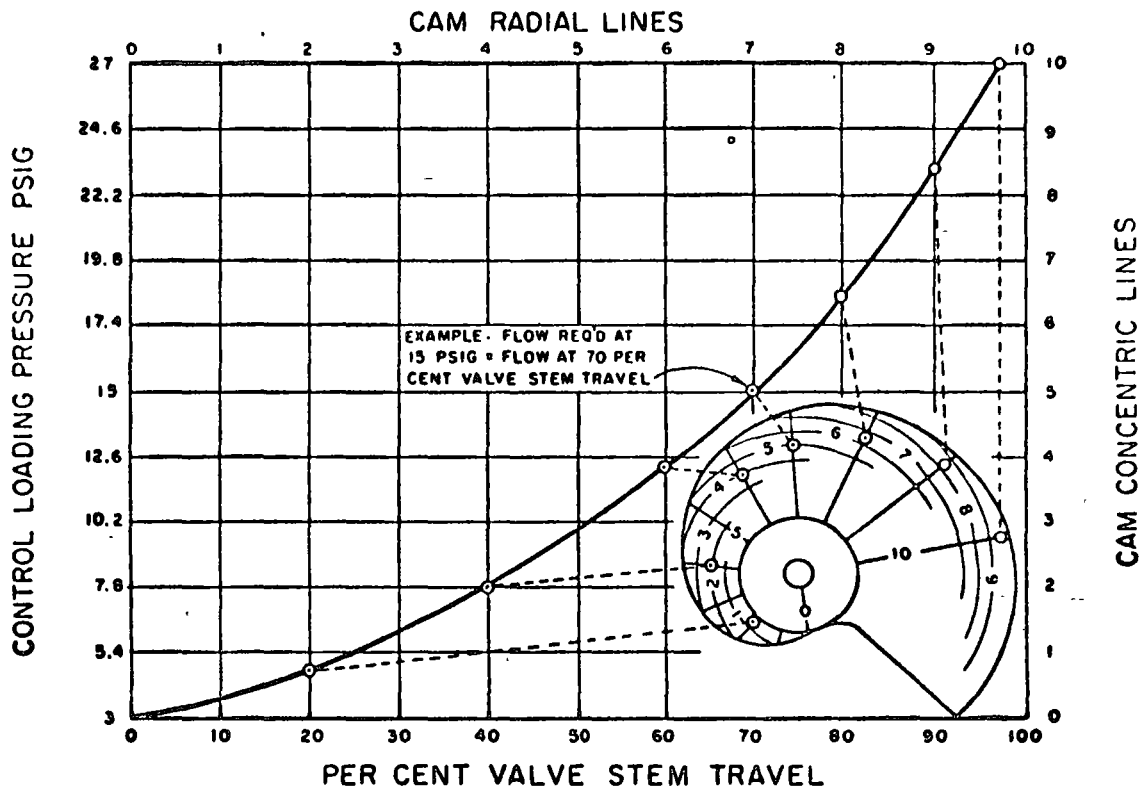


FIGURE 5 - Locating Points for Shaping Positioner Cam

## **CONSIDERACIONES PARA LA INSTRUMENTACION DE TACHOS AL VACIO.**

**ING. ALEJANDRO LOPEZ DE HOYOS**

### **RAZONES PARA LA EBULLICION AL VACIO.**

El objeto de llevar hasta la ebullición a una solución azucarada, es el extraer una parte de su agua de solución. En un evaporador, el objeto es concentrar o "apretar" el licor o miel para incrementar su brix. En un tacho al vacío, esta concentración es llevada hasta el punto en que la azúcar sólida se separa de la solución en forma de cristales.

Los azúcares son sustancias, las cuales cuando están en solución pueden cambiar o desdoblarse en otras sustancias. Con temperaturas relativamente bajas, los azúcares pueden tornarse cafés por formación de otras sustancias llamadas comunmente caramelos.

El calor también ayuda a la inversión y los azúcares invertidos toman un color café más fácilmente que la sacarosa. Es por lo tanto, de gran importancia el llevar a la ebullición a los licores azucarados a la temperatura más baja posible, por esta razón se toma la ventaja de el abatimiento que el punto de ebullición del agua sufre a medida que se aumenta el vacío en su superficie.

Este principio también se aplica a las soluciones azucaradas, por lo tanto nosotros hervimos nuestra solución azucarada bajo una condición de vacío tan alta como otras condiciones nos lo permitan. Estas otras condiciones serán discutidas más adelante.

Otra razón para la ebullición a bajas temperaturas, es que esto permite usar vapor de baja presión en las calandrias de los tachos. Es importante que la ebullición de la solución azucarada sea tan rápida como sea posible, ya que a medida que el tiempo de ebullición es más largo, la formación de la coloración café será más intensa.

Supongamos que hemos encontrado por experiencia que necesitamos un diferencial de

temperatura de  $80^{\circ}$  C. entre el vapor y el licor azucarado en ebullición para hervirla apropiada y rápidamente. Si hervimos a la presión atmosférica, vemos por las tablas de vapor que tendríamos la necesidad de alimentar una presión de 130 psig de vapor para poder obtener ese diferencial de temperatura. Ahora, si nosotros hervimos a un vacío de 24" donde el punto de ebullición sería de  $60^{\circ}$  C., se necesitaría vapor a una presión de 38 psig para obtener el mismo gradiente de temperatura.

#### ELEVACION EN EL PUNTO DE EBULLICION.

Como se ha mencionado anteriormente, el punto de ebullición del agua disminuye proporcionalmente al vacío que se hace sobre su superficie, desafortunadamente cuando se tienen soluciones azucaradas el punto de ebullición de estas soluciones es mayor - que el del agua pura, en otras palabras, a mayor brix de la solución azucarada, mayor es su punto de ebullición sobre el correspondiente punto de ebullición del agua - pura. La diferencia entre el punto de ebullición de una solución azucarada a el punto de ebullición del agua pura, es llamado " aumento en el punto de ebullición " ó - " BPE " y su valor cambia con la temperatura a la cual la solución está siendo hervi- da.

#### ¿ CUALES SON LOS EFECTOS PRACTICOS DEL "BPE" AL HERVIR LICORES AZUCA- RADOS ?

La principal desventaja que nos presenta el BPE es que para un diferencial de temperatura dado a través de la calandria de un evaporador o tacho, la presión de vapor - necesitará ser mas alta que la necesaria para el agua. Por ejemplo, si un licor de -  $80^{\circ}$  brix en ebullición, a 20" de vacío requiere  $50^{\circ}$  C. de diferencial de temperatura

a través de la superficie de calentamiento para trabajar eficientemente, la presión de vapor necesaria sería de 25 psig. Si no hubiese BPE, una presión de 16 psig nos daría el diferencial de temperatura adecuado.

El aumento en el punto de ebullición nos proporciona una forma simple para medir el brix de la meladura o licor en los tachos. Si medimos la temperatura a la cual la masacocida está hirviendo y medimos la temperatura de su vapor de agua, la diferencia entre estas 2 temperaturas es el BPE y este corresponderá siempre a un determinado -- brix, el cual puede ser encontrado en tablas. Condición indispensable será que el - tacho tenga una buena circulación y el vacío sea estable.

#### CONSIDERACIONES SOBRE LA ELEVACION DEL PUNTO DE EBULLICION .

Ha sido punto de controversia a qué temperatura el vapor se desprende de una solución en ebullición con un punto de ebullición elevado.

De acuerdo con la definición del Profesor Badger en su libro " Transferencia de Calor y Evaporación ", establece que el vapor se desprende sobrecalentado en una cantidad igual al aumento en el punto de ebullición .

Sin embargo, se ha demostrado que el vapor no está sobrecalentado, aún cuando se - desprenda de un licor con un punto de ebullición elevado. Que lo hace a la temperatura correspondiente al punto de ebullición del agua bajo el vacío utilizado.

#### ¿ PORQUE LA TEMPERATURA NO PUEDE SER MEDIDA ?

Si se pusiera un termómetro por encima de la superficie del licor en ebullición, el -- bulbo se salpicaría con algunas gotas del mismo, el cual tiene un punto de ebullición muy elevado y falsearía la lectura. Si el bulbo del termómetro se sitúa lo suficiente

mente lejos, digamos en la tubería de salida del vapor, de forma que estuviese libre de salpicaduras de licor, se argüiría que el vapor ha cedido su sobre-calentamiento a la tubería de vapor y otras partes del equipo. Se han obtenido datos que muestran que el vapor deja a la masacocida a la temperatura correspondiente a la de temperatura de vapor saturado del agua a la presión de trabajo y no a una temperatura de ebullición elevada o arriba de la anterior.

¿ SERIA CONCEBIBLE QUE UN LICOR EN EBULLICION A 65° C. PRODUJERA VA--  
POR A UNA TEMPERATURA DE 55° C. ?

Si nosotros encontramos esto difícil de creer, consideremos ahora el efecto contrario.

#### ELEVACION EN EL PUNTO DE CONDENSACION.

La condensación es el fenómeno opuesto a la evaporación.

Si hervimos una cierta cantidad de agua a la presión atmosférica al nivel del mar, la - evaporación tendrá lugar a 100° C.

Consideremos el burbujear el vapor obtenido en agua fría. El vapor se condensaría en el agua y gradualmente calentará a ésta hasta alcanzar su punto de ebullición a 100° C., después de esto no habrá mas condensación y el vapor burbujeadado pasará a través - del agua y saldrá de la misma sin condensarse. Consideremos ahora el burbujear el vapor en una solución concentrada de sosa cáustica, la cual tiene un considerable BPE. - El vapor a 100° C. se condensará en la solución de sosa cáustica y calentará a ésta hasta que alcance su punto de ebullición, digamos por ejemplo 150° C. Se ha hecho un experimento de laboratorio, en el cual se ha tenido agua hirviendo a 63° C. bajo un - vacío de 23" y condensando su vapor en una solución de sosa cáustica cuya temperatura

era de  $155^{\circ}$  C. donde se tenía una elevación en el punto de condensación de cerca de  $100^{\circ}$  C. Si una solución a una temperatura alta puede condensar un vapor mucho más frío que la misma, ¿ porqué no podría ser posible que ésta proporcionara un vapor más frío que sí misma cuando está en ebullición ?

La solución a alta temperatura condensará el vapor frío debido a que la misma está -- por debajo de su punto de ebullición y obviamente no puede existir vapor libre en ella.

El vapor por lo tanto se condensa y cede su calor latente para calentar la solución.

Cuando la solución ha alcanzado su punto de ebullición, el vapor podrá existir debido al equilibrio y la adición de cualquier cantidad extra de calor causará que el vapor -- burbujeadado pase a través de ella sin condensarse y sin cambiar su temperatura, así en-- tonces un vapor de baja temperatura burbujeadado dentro de un líquido más caliente en - ebullición, pasará a través de él sin cambiar su temperatura. Si el vapor al pasar a - través del licor caliente fuera sobre-calentado a base del calor que le cediese la solu-- ción, causaría que la temperatura del licor cayera por debajo de su punto de ebulli-- ción y la condensación empezaría nuevamente.

En resumen nos encontramos con 2 factores a simple vista extraños, el primero es que - un líquido caliente puede condensar un vapor relativamente más frío si el vapor es bur-- bujeado dentro del líquido, siempre y cuando el líquido esté por debajo de su punto - de ebullición. Segundo.- Un vapor frío puede burbujearse a través de un líquido ca-- liente sin que se sobre-caliente, siempre y cuando el líquido se encuentre en su punto de ebullición. Esto por lo tanto, demuestra que el vapor que deja a una solución - - con punto de ebullición elevado, lo hace a la temperatura correspondiente al agua en ebullición y no a la temperatura correspondiente al punto de ebullición elevado.

## TACHO AL VACIO.

El tacho al vacío está en aquel punto del proceso donde la miel es llevada hasta la sobre-saturación para formación de cristales de azúcar. Por lo anteriormente discutido, la ebullición es llevada a baja temperatura para evitar la caramelización ó quemado de la miel y se hace siempre bajo condiciones de vacíos altos.

El licor o miel es llevado hasta alcanzar su sobre-saturación, esto quiere decir que en ese punto la azúcar en solución está en una cantidad superior a la que esa misma solución tendría en una condición normal de temperatura.

A continuación se agrega una pequeña cantidad de azúcar finamente dividida a la masacocida. A esta operación se le llama semillamiento o semillado. Estos cristales crecerán lentamente a medida que la azúcar del líquido se va depositando en ellos. Cuando esta operación es llevada a cabo, es importante que la masacocida se mantenga en aquella zona de sobre-saturación llamada zona meta-estable.

Existen 3 distintas zonas de sobre-saturación a saber:

Primera: Zona Meta-Estable. Es aquella zona de concentración, en la cual existen cristales que crecerán de tamaño, pero no se forman ningunos nuevos.

Segunda: Zona Intermedia. Es aquella zona en la cual los cristales existentes crecerán, pero también se forman nuevos cristales.

Tercera: Zona Lábil. Es aquella zona en que los cristales se forman espontáneamente.

La formación de nuevos cristales, independientes de aquellos que se han agregado en la operación de semillamiento es indeseable.

Los nuevos cristales que se forman en el tacho tienden normalmente a fijar impurezas en los mismos, además que su estructura y figura geométrica no es uniforme, lo que -

da como resultado un producto no uniforme.

Otro problema que acarrea la formación de cristales no controlados, además de los arriba señalados es en centrifugas, ya que debido a la diversidad de tamaños de los mismos los más pequeños pasarán a través de la canasta de la centrifuga, y los más grandes obstruirán la malla impidiendo el purgado del licor, obligando a agregar agua para realizar la purga, con la consiguiente nueva dilución de la sacarosa, en otras palabras, la eficiencia del centrifugado baja notablemente.

#### CONTROL DE SOBRE-SATURACION PARA TACHO.

Con el objeto de controlar los factores antes anotados y obtener un producto de calidad uniforme en los tachos, se ha desarrollado un instrumento muy sencillo que diseñado en los principios de sobre-saturación anteriormente discutidos, facilita enormemente la operación del tacho.

#### DISCUSION DEL CONTROLADOR PARA TACHOS.

##### PRESENTACION:

Hasta un período reciente, la operación de tachos al vacío descansaba en operarios -- quienes dependían totalmente de la experiencia adquirida. Cada individuo tiene su criterio en relación al método de operación de los tachos, con el resultado de que existe una variación considerable sobre la forma y calidad de los cristales.

Generalmente, podrá decirse que ha sido imposible obtener un producto realmente -- uniforme.

#### METODOS DE CONTROL;

Para solucionar estas dificultades, distintos técnicos de la Industria Azucarera han llevado a cabo una gran labor investigativa para lograr el método por el cual se eliminaría el factor humano de la operación del tachó. Varios métodos se han utilizado con éxito, y seguidamente presentamos uno de estos nuevos sistemas el cual ha proporcionado óptimos resultados.

#### DISCUSION DEL INSTRUMENTO.

El mejor método de control es el de elevación del punto de ebullición, representado por la diferencia entre la temperatura de la masacocida en la superficie de ebullición y la temperatura del vapor saturado. En términos simples, el control del tachó depende de la lectura de los dos termómetros colocados de manera tal que las lecturas de las temperaturas sean correctas, ó preferiblemente que la diferencia de las lecturas de estos dos termómetros sea precisa. Debemos señalar que el elemento sensible que indica la temperatura de la masacocida deberá ser instalado justamente al centro del tubo ebullicor, y ligeramente debajo del nivel de la placa superior de la calandria. De montarse el elemento en otra posición, las temperaturas indicadas serían algo más elevadas que las del valor real debido al efecto de la carga hidrostática. Al instalarse el bulbo de temperatura, deberá observarse estrictamente este detalle. El elemento que indica la temperatura del vapor saturado opera en un principio totalmente distinto. Aquí, la presión absoluta en la cúpula del tachó es utilizado para posicionar el indicador de temperatura, la trayectoria del cual es convertida para que corresponda a la relación existente entre la presión absoluta y la temperatura del vapor al punto de saturación.

#### CARACTERISTICAS DEL INSTRUMENTO:

El instrumento por lo tanto, tiene dos indicadores de temperatura. El primero es recto y representa la temperatura de la masacocida. El segundo es curvo y ajustado para representar la temperatura del vapor en el punto de saturación. Los dos indicadores funcionan libremente sin riesgo de interferencia, puesto que no están a la misma distancia del plato que soporta la gráfica del instrumento. Los centros de rotación no son exactamente idénticos, pero muy aproximados, lo que permite un movimiento libre sin fricción excesiva. Detrás de los indicadores existen líneas en la gráfica, las cuales representan la diferencia entre las dos temperaturas indicadas ó sea, el aumento del punto de ebullición. El punto intersector de los dos indicadores nos proporciona la posición donde las líneas de aumento del punto de ebullición se muestran en la gráfica, - por lo que es muy sencillo observar directamente esta variable crítica por medio de la cual es controlada la operación de la templa.

#### RELACION ENTRE SOBRE-SATURACION Y AUMENTO DEL PUNTO DE EBULLICION.

Se han preparado tablas para establecer la relación para todas las condiciones durante el período de funcionamiento del instrumento. Existe una tabla para cada pureza aparente entre 60 y 100 (valores pares). Cada tabla proporciona el aumento del punto de ebullición para valores de sobre-saturación de 1.00, 1.25 y 1.40 y para temperaturas entre 130° F. y 180° F. con intervalos de 5° F.

Con estas tablas es posible preparar las gráficas para cada pureza aparente. El instrumento se suple con unas gráficas las cuales se preparan fácilmente. Márquese el valor de aumento del punto de ebullición para cada sobre-saturación en las líneas rectas, las cuales representan la temperatura de la masacocida. Seguidamente, únense todos los puntos que correspondan a cada sobre-saturación con una curva adecuada.

El espacio entre la curva superior ( la cual representa 1.00 de sobre-saturación ) y la parte superior de la gráfica, será coloreada en amarillo - la zona amarilla - donde - la concentración estará por debajo del punto de saturación. En esa zona, se disolverán los cristales. La siguiente zona entre las curvas de sobre-saturación de 1.00 y 1.25, podrá quedar en blanco y representa una concentración sobre el punto de saturación, donde los cristales crecen pero lo hacen tan lentamente, que de operar en ella se perdería un tiempo de producción valioso. La zona entre las curvas de sobre-saturación de 1.25 y 1.40, se coloreará de verde y representa una concentración óptima para obtener una buena operación. Durante la templa, la subida del punto de ebullición deberá mantenerse en la zona verde. La curva de sobre-saturación de 1.25 representa el punto donde deberán inyectarse los cristales de azúcar en polvo - para lograr granos controlados.

La zona debajo de sobre-saturación 1.40, se coloreará en rojo y es aquí donde se producen granos falsos y conglomerados. Esta es la zona de peligro que deberá ser evitada.

#### COMENTARIOS:

El sistema descrito anteriormente es el que se recomienda para un buen control del tacho. Más adelante se explicará la práctica normal de operación. Antes de proceder al empleo de los instrumentos, es necesario observar ciertas precauciones.

Primeramente, la alimentación no deberá ser introducida en el tubo ebullidor, ya que existe el riesgo de mezclar la alimentación de baja concentración con la masacocida, la cual está sumamente concentrada, y en esas circunstancias es probable que el instrumento indique una saturación menor que la que realmente existe en la masacocida.

En el caso de tal indicación incorrecta, es posible penetrar en la zona roja sin darse cuenta y producir granos falsos y conglomerados. Por consiguiente, revise el sistema de alimentación y cámbiese de tal manera que el producto entre en un punto debajo de la placa inferior de la calandria entre el tubo ebullidor y la pared del tacho. Además, cuando el nivel de la masacocida alcance una elevación mayor de 3' sobre la placa superior, el efecto de carga hidrostática produce una temperatura excesiva de ebullición la cual aumenta más y más al subir el nivel. Por lo tanto, no confíe en las indicaciones del instrumento después de una altura en el tacho de 3' ó 4' sobre la placa superior. Es aconsejable no prestar atención a las indicaciones de los instrumentos después de haber alcanzado la altura crítica. Cuando exista un circulador en el tacho, es posible prescindir de la indicación del instrumento totalmente, una vez que la masacocida ha alcanzado el punto adecuado, puesto que la alimentación podría ser controlada automáticamente de acuerdo con el par de torsión del mando del agitador.

#### PROCEDIMIENTO PARA HACER TEMPLAS DE GRANO CON EL INSTRUMENTO.

- 1) Móntese una gráfica preparada con la pureza adecuada en el plato de soporte de la gráfica del instrumento.
- 2) Iníciase la operación del tacho y continúese la evaporación hasta que el cruce de los indicadores penetre en la zona verde.
- 3) Aliméntese el azúcar en polvo por un dispositivo especial que evite que el aire penetre al tacho. Prepárese la suspensión del azúcar en polvo en alcohol isopropílico en la proporción de 1 litro por cada libra de azúcar. La cantidad de polvo utilizado depende de su grado de fineza ( tamaño ) y deberá ser determinado

da por experimento. Para la primera prueba, se sugiere una libra de azúcar por cada 1000 pies cúbicos de templa "C".

- 4) Justamente antes de alcanzar la zona roja, bájese el vacío hasta que se produce una temperatura de vapor saturado de aproximadamente 147° F.
- 5) Si la concentración es tal que el cruce de los indicadores se aproxima a la zona roja nuevamente, aliméntese el tacho con una pequeña cantidad. ( Lo suficiente para mantenerse en la zona verde ).
- 6) Una vez que los cristales hayan crecido hasta un tamaño tal que la templa esté "apretada", aliméntese el tacho para mantener una concentración normal.
- 7) Restitúyase gradualmente el vacío a su valor original en un período de unos 15 - minutos.
- 8) De aquí en adelante sígase la práctica normal.

La misma técnica deberá seguirse para todas las purezas. La gráfica deberá --- cambiarse para corresponder con la nueva pureza. Los tachos se operan de la - misma forma para azúcar refinada (pureza de 90 a 99.5), meladura ó jarabe -- (pureza de 80 a 85), y mieles (pureza de 65 a 70). Es posible cristalizar con - purezas menores, hasta de 58, pero la operación es muy lenta. Si la pureza - de la templa es demasiado baja, se requiere agregar meladura o jarabe para ob- tener una de alrededor de 70, y entonces la operación es más fácil.

#### PRECAUCIONES:

Antes de iniciar la operación, es aconsejable verificar el funcionamiento de los ins-- trumentos. Esto se logra después de instalarlos en el tacho, tal como se indica segui- damente.

Llénese el tacho con agua pura a un nivel aproximado de 1' sobre la placa superior de la calandria. Comiéntese la ebullición del agua, en un vacío de unas 24" de mercurio, con una inyección pequeña de vapor, y manténgase la ebullición por un tiempo no menor de cinco minutos.

Obsérvese que los dos indicadores del instrumento indiquen la misma temperatura, de ser así, no se requieren correcciones. Si existiera una diferencia en las lecturas de los dos indicadores, cámbiese la posición del que indique lectura incorrecta para que corresponda con la otra, puesto que el elemento de temperatura en el agua deberá corresponder exactamente con la temperatura del vapor saturado.

Para saber cual es el valor correcto, un manómetro de mercurio de presión absoluta podrá incorporarse al tacho durante el período de verificación de la calibración.

Si este aumento no se consigue, un manómetro de mercurio sencillo de tubo "U" podrá ser utilizado conjuntamente con la lectura local de la presión barométrica. La lectura de la presión barométrica se puede obtener de la estación meteorológica más cercana.

Una vez que se hayan revisado, los instrumentos están listos para ser utilizados. De vez en cuando es aconsejable hacer una verificación de la calibración del instrumento, y es indispensable hacerlo después de su instalación.

#### NECESIDAD DE UN VACIO ESTABLE.

Todos los técnicos están completamente de acuerdo que es de suma importancia el mantener estable el vacío durante el período de la templa. Si el vacío es variable, se formarán granos falsos y conglomerados. Por lo tanto, es esencial un buen control del vacío. Es casi imposible lograr óptimos resultados sin prestar la necesaria atención a este detalle.

No solamente el resultado sería una pésima operación, sino que sería imposible utilizar los instrumentos para indicación de sobre-saturación sin un vacío estable. Nunca deberán existir cambios bruscos en el vacío. Debe considerarse que el elemento de temperatura del instrumento requiere cierto tiempo para alcanzar su equilibrio con la masa cocida, y que cambios bruscos no pueden seguirse perfectamente. Además, al existir un cambio en el vacío, demoraría varios minutos la temperatura de la masa cocida en ajustarse a las nuevas condiciones, y el instrumento no respondería inmediatamente. Por otro lado, el elemento que indica temperatura de vapor saturado reacciona instantáneamente, y si el operario observa la subida del punto de ebullición, existirá un error de varios minutos. Si el operario utiliza esta indicación temporal para cambiar la alimentación, es obvio que existirá una desviación considerable, la cual podría producir malos resultados, dado la inestabilidad original del vacío. Así pues, es imperativo estudiar cuidadosamente el asunto de la estabilidad de vacío para obtener óptimos resultados. Si un controlador de vacío automático es incluido con el instrumento indicador, es posible ajustar el control para que resulte un vacío estable. No haga cambios bruscos del punto de ajuste, puesto que en tales ocasiones el controlador cambiará bruscamente el caudal del agua al condensador, lo que proporcionaría cambios repentinos del vacío.

La selección de la válvula de control sobre la línea de agua al condensador acoplado al tacho, es de mucha importancia. Una válvula inadecuada produciría un control de vacío pobre ó nulo.

**INSTRUMENTACION DE TACHOS AL VACIO PARA INDUSTRIA  
AZUCARERA.**

**TABLA DE CONTENIDOS.**

		Hoja
	Fig. I El Instrumento para Tachos al Vacío	1
Introducción		1
	Fig. II Componentes del Instrumento para Tacho al Vacío	2
<b>Instalación</b>		
I.	General	2
	Fig. III. Diagrama Esquemático de la Instalación General	3
II.	Sistema Termal	3
	Fig. IV. Instalación del Bulbo de Temperatura	4
III.	Sistema de Presión Absoluta	5
	Fig. V. Conexionado del Sistema de Presión Absoluta	6
IV.	Controlador	6
V.	Gráficas	6
	Fig. VI. Gráficas para Templas de Azúcar de Caña	7
<b>Operación</b>		
I.	General	
	Fig. VII. Gráfica y Puntero Nomenclatura	8
II.	Controlador	9
<b>Mantenimiento.</b>		
<b>Boletines de Instrucción Suplementarios.</b>		
		Núm.
	Caja del Instrumento de la Serie 1600	51-1002
	Instalación del Entubado de Presión de los Instrumentos	11-9001
	Registrador de Gráfica Circular	51-1003
	(Omitir lo referente a gráficas, plumas, etc., la información del ensamble de la pluma es válida).	
	Elemento de Presión Absoluta	11PE1000
	Sistema Termal	12T-1000
<b>En adición si el controlador está incluido:</b>		
	Controlador Neumático	*53P-4000
	Válvula de Transferencia 3 posiciones	53TA1310
	4 posiciones	53TA1410

\* Véase hoja de datos para número de modelo del controlador específico.

## INTRODUCCION.

La manufactura del cristal geométricamente bien formado de tamaño uniforme por los tachos al vacío en el proceso del azúcar mos-trado en la Fig. III, depende de la exacti-tud y contínuo control de la presión duran-te la templa.

Esto en efecto, requiere simplemente de un control constante de la presión absoluta ó -vacío parcial directamente sobre la fase lí-quida (masacocida) ó del material cargado en el tacho o vaso de proceso.

Considerando que la diferencia entre la temperatura del punto de ebullición de la masa-cocida en el tacho y la temperatura del punto de ebullición del agua en el mismo, no so-lo proporciona una excelente medida de concentración, sino que también la elevación en el punto de ebullición de la masacocida se ha desarrollado un método simple y conve-niente de control de concentración del tacho al vacío.

Este boletín de instrucción cubre las partes fundamentales del instrumento para tachos al vacío.

El instrumento es en sí un indicador de sobre-saturación de 2 punteros con o sin control de la presión absoluta, Modelo # 9101PE01-TC01 y Modelo # 9101PE11-TC01-53PR4511 respectivamente.

En los boletines de instrucción suplementarios listados en la hoja de la tabla de conteni-do, se da la información completa relativa al controlador neumático, elemento de pre-sión absoluta.

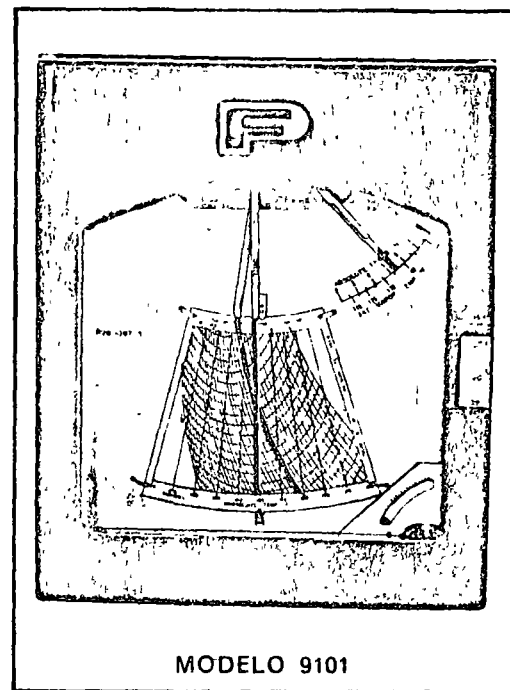


Figura 1.

La Fig. II muestra un instrumento de tacho al vacío equipado con controlador neumático.

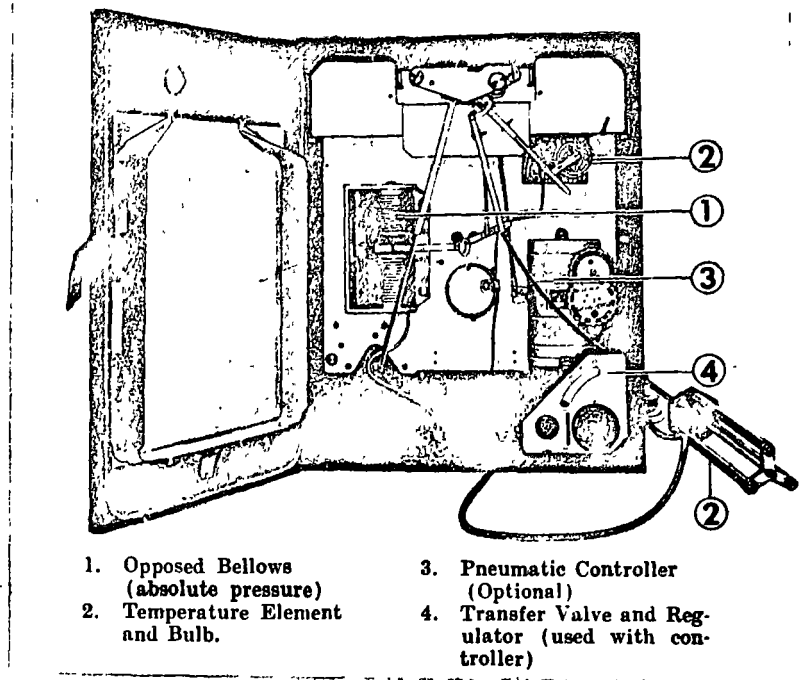


Fig. II Componentes del Instrumento para Tacho al Vacío.

Instalación.

### I. GENERAL.

La instalación consiste de: 1) Montaje del instrumento como se menciona en el Boletín de Instrucción 51-1102; 2) Montaje del bulbo de temperatura, de acuerdo con el Boletín de Instrucción 12 T-1000 y Boletín de Instrucción 51-9101T; 3) Conexión del sistema de presión, según el Boletín de Instrucción 11-9901; 4) Conexión del suministro de aire y líneas de transmisión de señal de salida como se señala en el Boletín de Instrucciones de la estación de transferencia de 3 y 4 posiciones.

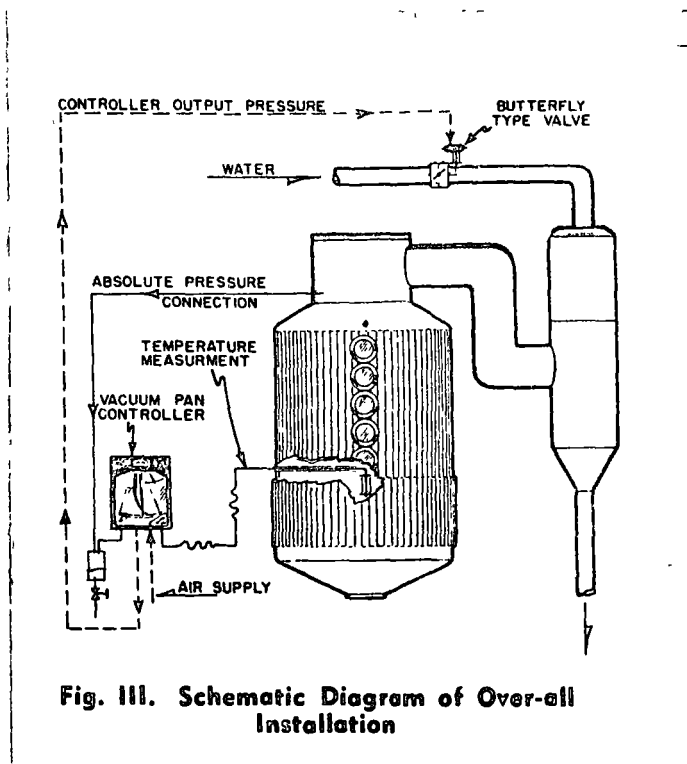


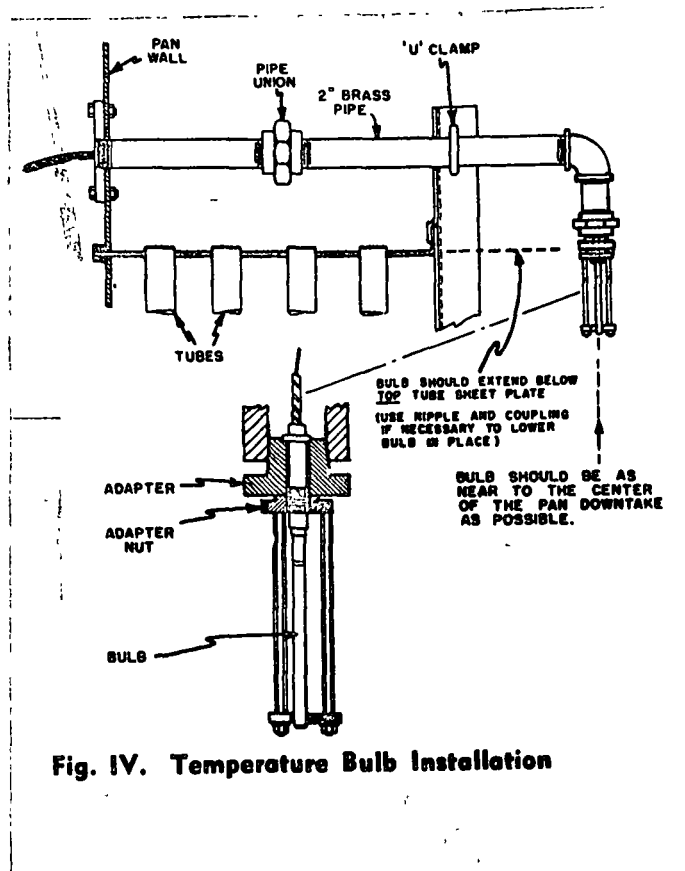
Fig. III. Schematic Diagram of Over-all Installation

## II. SISTEMA TERMAL.

El sistema termal es del tipo de compensación por temperatura ambiente de caja y llenado de líquido. Los rangos standard son de 130° F. a 180° F., y 135° F. a 185° F., ó de 55 a 82° C. y de 58 a 85° C., con una protección por sobre-rango de 250° F. ó 120° C. ( Ver hoja de datos ). Un arreglo especial se proporciona para montar el -- bulbo en la bajante del tacho ó tubo hervidor, consistente de un juego de varillas de soporte montadas en dos bridas que aumentan la rigidez del conjunto del bulbo.

Léase el Boletín de Instrucción 12T-1000; y después instálese el bulbo de temperatura como está mostrado en la Fig. IV.

Cortar ó taladrar la pared del tacho, con el propósito de instalar convenientemente el sistema termal.



- 1) Fabricar una brida para conectar un tubo de 2" y atornílese sobre la horadación en la pared del tacho, atornillar un extremo del tubo de latón de 2" fijándolo en ambos extremos, dentro de la brida en un extremo y en el otro apoyando el tubo por medio de una horquilla atornillada a la estructura. ( El tubo, que debe estar equipado con una tuerca unión adecuada, deberá ser lo suficiente largo para permitir que la línea central coincida con el centro del tubo ebullidor de la calandria, después que la instalación se ha completado ).
- 2) Insertar el bulbo a través del tubo.
- 3) Aflojar la tuerca unión, pasar el bulbo dentro de un codo de 2" y atornillar el codo al tubo de latón. Cúidese de no torcer el tubo capilar.
- 4) Ajustar la tuerca unión de forma que el codo conectado se oriente hacia abajo. - Agréguese un niple de ser necesario al extremo inferior del codo.

- 5) Colocar el adaptador sobre el bulbo, atornillar el adaptador dentro del codo ó niple.
- 6) Remover las varillas de soporte y su ensamble del adaptador tipo tuerca.
- 7) Deslizar el adaptador-tuerca sobre el bulbo y mientras se ajusta la parte plana contra la empaquetadura del bulbo con una herramienta apropiada, atornillar el adaptador-tuerca para sellar el sistema, cuidando de no torcer al bulbo ni a la empaquetadura.
- 8) Finalmente montar las varillas de soporte y su ensamble alrededor del bulbo y atornillar las tuercas del cable de seguridad en su lugar.

Recuerde que el bulbo debe estar tan cerca del centro de la bajante central como sea posible y que el bulbo debe quedar instalado por debajo del nivel de la placa superior de la calandria.

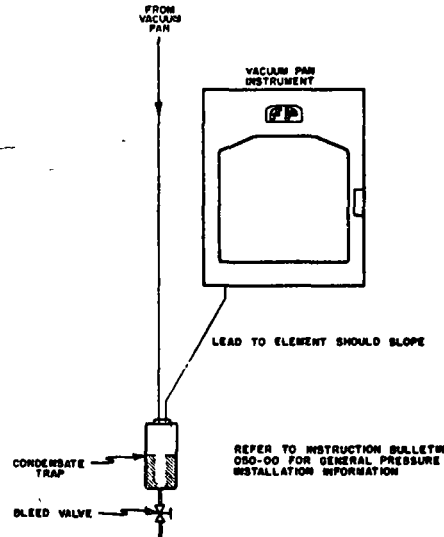
### III. SISTEMA DE PRESION ABSOLUTA.

El tamaño de la línea de presión y otras informaciones generales de entubado, se encuentran en el Boletín de Instrucción 11-9001.

Conectar una línea de 3/8" de tubería desde el colector de vapor del tacho al condensador instalado debajo del instrumento.

La instalación de la tubería en el condensador deberá hacerse como se muestra en el esquema ilustrado en la Fig. V.

Para proveer los medios de drenaje periódico del condensado acumulado en el sistema de presión, instálece una válvula en la salida del extremo inferior del condensador.



**Fig. V. Piping for Absolute Pressure System**

#### IV. CONTROLADOR.

Cuando el instrumento del tacho controla también el vacío, referirse al Boletín de Instrucción de estaciones de transferencia para la instalación del suministro de aire y línea de transmisión. Para obtener un control óptimo, asegurarse que el aire suministrado al controlador está limpio, seco y a la presión correcta de 20 psig.

#### V. GRAFICAS.

Dos tipos de gráficas están disponibles, graduadas tanto en unidades inglesas (F°). ó unidades métricas (C°). Un tipo es aplicable para el uso en fábricas de azúcar cruda ( Ingenios ) y está graduado para mostrar la elevación del punto de ebullición ya sea de 14° a 30° F., ó de 8° a 15° C. El otro tipo es usado en las refinerías de azúcar blanca, y muestra la elevación del punto de ebullición, ya sea de 9° a 23° F., ó de 5° a 12° C.

Referirse a la tabla de datos (Tabla 1) que se proporciona con el instrumento. Escoger la tabla apropiada para la pureza promedio (aparente ó verdadera) de la parte líquida de la masacocida deseada. Trazar las líneas correspondientes a las sobresaturaciones de 1.00, 1.25 y 1.40 en la gráfica. Colorear el área entre sobresaturaciones 1.25 y 1.40 en color verde; colorear el área entre sobresaturación 1.40 y el límite de la carta en rojo. Finalmente indique la carta con el número del tacho y pureza de la masacocida. Para un ejemplo ilustrativo, ver Fig. IV.

Girar el plato de la gráfica colgado superficialmente, alinearse la parte superior e inferior de las ranuras en "V" con el plato porta-gráfica y la gráfica respectivamente; - colocar la gráfica en su lugar.

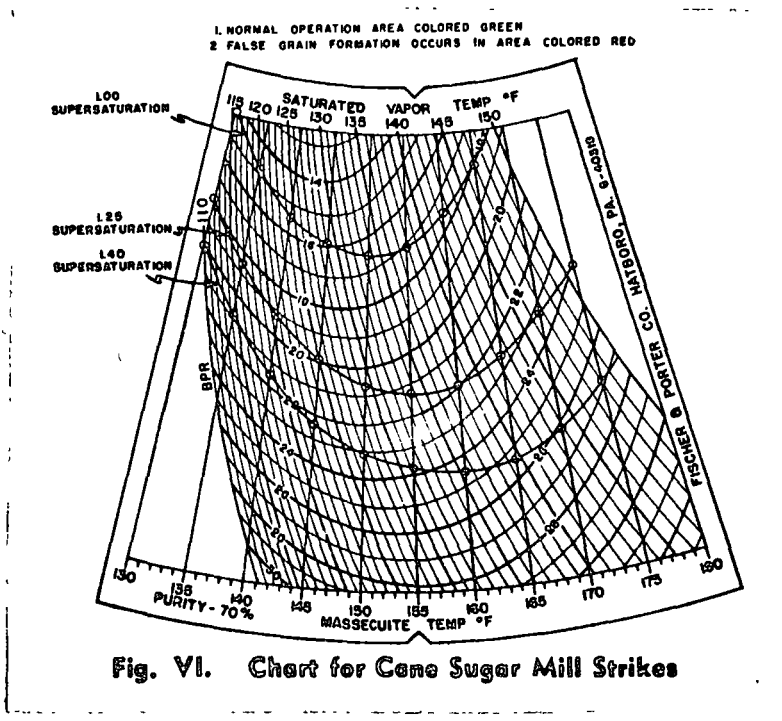
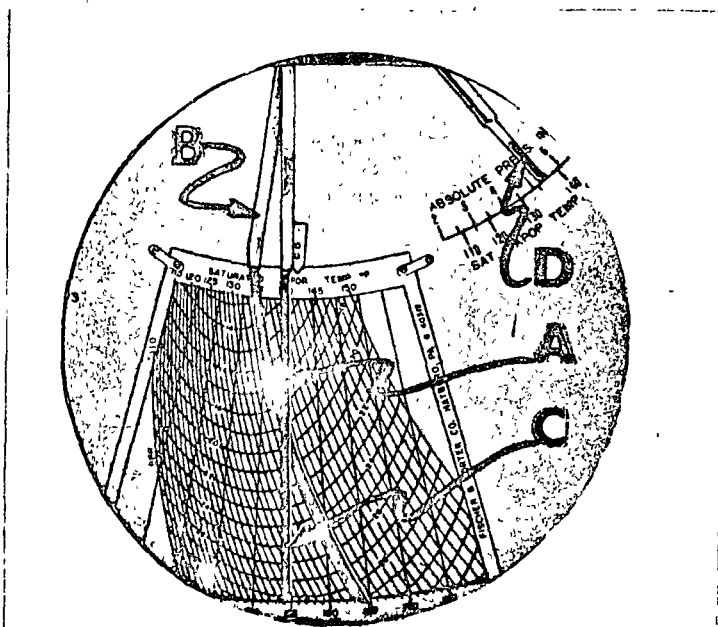


Fig. VI. Chart for Cane Sugar Mill Strikes

## OPERACION.

### I. GENERAL.

El puntero recto indica la temperatura de la masacocida, el puntero curvo indica - temperatura de vapor ( esto es posible porque la gráfica está graduada en temperatu - ras de vapor saturado, las cuales corresponden a las presiones absolutas medidas ).



- A) Pointer Intersection
- B) Vapor Temperature Indicator Pointer
- C) Masecuite Temperature Indicator Pointer
- D) Absolute Pressure Control. Set Pointer and Index Scale

Fig. VII Chart and Pointer Nomenclature

La intersección superior de los 2 punteros dá una continúa y constante indicación de la sobre-saturación. Bajo una operación normal, es necesario regular y mantener - todas las variables de tal forma que se mantenga la intersección de los punteros en - la zona verde ( Precaución: La intersección de los punteros en la zona roja deberá ser evitada ya que ésta indica la formación del grano falso ).

De este modo, coloreando la gráfica, como previamente se describió y manteniendo la intersección de los 2 punteros dentro del área verde, es posible mantener al tacho a su máxima capacidad de evaporación y evitar la formación del grano falso.

Si se supone que los punteros están fuera de calibración, referirse a la sección de " Ajustes " .

## II. CONTROLADORES.-

Poner el controlador neumático ( si lo tiene el instrumento ) en operación, como se es pecifica en el Boletín de Instrucción del Controlador Neumático. El controlador - - neumático en conjunto con una válvula de control ( 3 a 15 psi ) montada en la línea - de suministro de agua al condensador, controla ó dosifica automáticamente el gasto - de la misma y por lo tanto mantiene una presión absoluta en el tacho que corresponde a lo indicado por el puntero respectivo.

A la derecha y justo arriba de la gráfica está una escala con un puntero de control pa ra fijar el valor de la presión absoluta deseado.

Usar la perilla que pasa a través de la parte superior de la puerta del instrumento para ajustar el valor deseado de presión absoluta.

## MANTENIMIENTO.

- 1) Referirse a los boletines de instrucción para el mantenimiento e información de - ajuste de los componentes individuales.
- 2) Información especial de ajuste.
  - a) Usar un manómetro de mercurio y presión atmosférica conocida para calibrar el puntero de presión absoluta ( puntero indicador de temperatura - de vapor ). Esta práctica debe hacerse aproximadamente una vez por - año.
  - b) La calibración del cero en un sistema de temperatura se hace cargando -

el tacho con agua y llevándola a ebullición bajo un vacío parcial controlado.

Verifique que cada una de las posiciones del indicador de temperatura corresponda con la temperatura de ebullición del agua a condiciones de la presión absoluta de prueba. Aún más, debido a que la presión absoluta es indicada en términos de temperaturas de vapor saturado, simplemente ajústese el puntero indicador de temperatura de la masaco cida al valor ó valores correspondientes de temperatura, mostrados por el indicador de temperatura de vapor saturado.

Calibrar siempre a cero el puntero de presión absoluta, usándolo como referencia para la calibración del puntero de temperatura.

TABLA I. ELEVACION EN EL PUNTO DE EBULLICION EN MASAS-COCIDAS DE AZUCAR DE CAÑA A VARIAS TEMPERATURAS, PUREZAS Y SATURACIONES.

T.C.M. Grados F.	P.A. 60.0-68.6 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 62.0-70.2 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 64.0-71.7 P.R. A las siguientes s. s.		
	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40
130	16.40	20.45	22.90	15.85	19.80	22.20	15.60	19.50	21.80
135	17.00	21.20	23.80	16.45	20.55	23.00	16.15	20.20	22.50
140	17.50	21.90	24.60	17.00	21.30	23.80	16.70	20.90	23.20
145	18.10	22.60	25.40	17.60	22.00	24.60	17.30	21.60	24.10
150	18.75	23.40	26.20	18.20	22.70	25.40	17.85	22.30	24.85
155	19.30	24.10	27.00	18.70	23.40	26.20	18.40	23.00	25.60
160	19.85	24.80	27.80	19.35	24.20	27.00	18.95	23.70	26.00
165	20.50	25.60	28.60	19.90	24.90	27.80	19.50	24.40	27.20
170	21.10	26.30	29.40	20.50	25.60	28.60	20.10	25.10	27.95
175	21.60	27.00	30.20	21.05	26.30	29.40	20.60	25.80	28.70
180	22.25	27.80	31.00	21.60	27.00	30.20	21.20	26.50	29.50

T.C.M. Grados F.	P.A. 66.0-73.3 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 68.0-74.9 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 70.0-76.4 P.R. A las siguientes s. s.		
	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40
130	15.05	18.80	21.10	14.70	18.40	20.60	14.25	17.80	20.00
135	15.60	19.50	21.90	15.20	19.00	21.40	14.80	18.50	20.80
140	16.15	20.20	22.70	15.70	19.70	22.20	15.40	19.20	21.50
145	16.70	20.90	23.50	16.30	20.40	23.00	15.90	19.90	22.30
150	17.30	21.60	24.20	16.90	21.10	23.70	16.50	20.60	23.10
155	17.80	22.30	25.00	17.45	21.80	24.50	17.05	21.30	23.80
160	18.50	23.10	25.80	18.00	22.50	25.25	17.60	22.00	24.60
165	19.05	23.80	26.55	18.55	23.20	26.00	18.10	22.60	25.40
170	19.60	24.50	27.30	19.10	23.90	26.30	18.64	23.30	26.20
175	20.20	25.20	28.10	19.70	24.60	27.50	19.20	24.00	26.90
180	20.70	25.90	28.85	20.20	25.20	28.30	19.80	24.70	27.70

T.C.M. Grados F.	P.A. 72.0-78.0 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 74.0-79.6 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 76.0-81.2 P.R. A las siguientes s. s.		
	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40
130	13.85	17.30	19.40	13.45	16.80	18.80	13.10	16.40	18.30
135	14.40	18.00	20.20	14.00	17.50	19.60	13.60	17.00	19.00
140	15.00	18.70	21.00	14.55	18.20	20.40	14.20	17.70	19.80
145	15.50	19.40	21.70	15.05	18.80	21.10	14.70	18.40	20.50
150	16.10	20.10	22.50	15.60	19.50	21.80	15.20	19.00	21.30
155	16.55	20.70	23.30	16.15	20.20	22.60	15.75	19.70	22.00
160	17.10	21.40	24.00	16.70	20.90	23.40	16.30	20.40	22.80
165	17.70	22.10	24.80	17.30	21.60	24.20	16.80	21.00	23.60
170	18.25	22.80	25.60	17.85	22.30	25.00	17.35	21.70	24.30
175	18.80	23.50	26.30	18.40	23.00	25.70	17.90	22.40	25.10
180	19.35	24.20	27.10	18.95	23.70	26.60	18.40	23.00	25.90

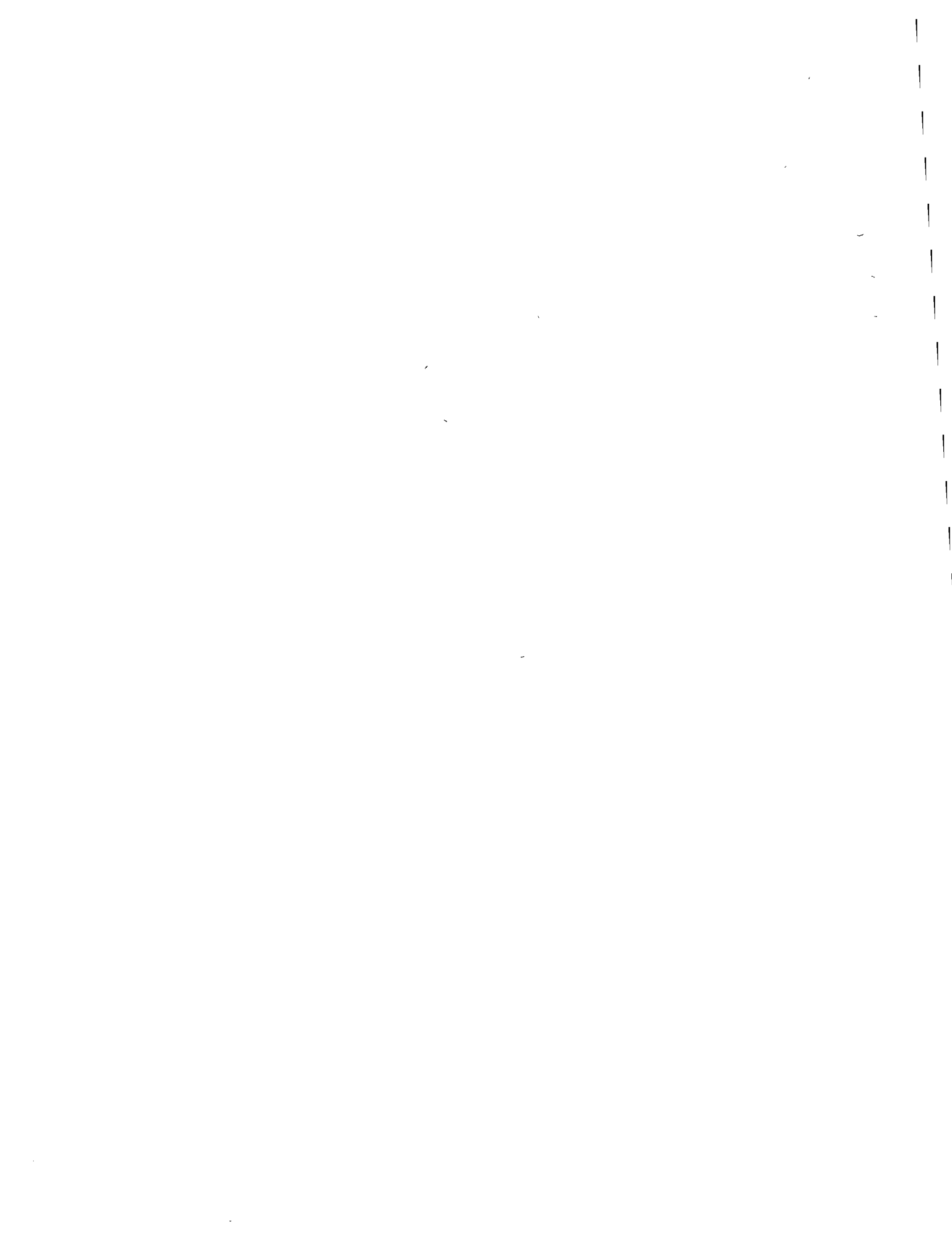
T.C.M. Grados F.	P.A. 78.0-82.7 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 80.0-84.3 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 82.0-85.9 P.R. A las siguientes s. s.		
	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40
130	12.80	16.00	17.90	12.55	15.70	17.50	12.25	15.30	17.10
135	13.40	16.70	18.60	13.05	16.30	18.20	12.72	15.90	17.80
140	13.90	17.30	19.40	13.50	16.90	18.90	13.20	16.50	18.50
145	14.40	18.10	20.10	14.10	17.60	19.60	13.75	17.20	19.20
150	14.90	18.60	20.80	14.55	18.20	20.30	14.25	17.80	19.80
155	15.45	19.30	21.60	15.05	18.80	21.00	14.73	18.40	20.50
160	15.90	19.90	22.30	15.60	19.50	21.80	15.20	19.00	21.30
165	16.50	20.60	23.10	16.10	20.10	22.50	15.70	19.60	22.00
170	17.05	21.30	23.80	16.60	20.70	23.20	16.15	20.20	22.70
175	17.53	21.90	24.60	17.10	21.40	23.95	16.65	20.80	23.40
180	18.10	22.60	25.30	17.60	22.00	24.70	17.10	21.40	24.10.

T.C.M. Grados F.	P.A. 84.0-87.4 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 86.0-89.0 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 88.0-90.6 P.R. A las siguientes s. s.		
	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40
130	11.92	14.90	16.70	11.70	14.60	16.30	11.37	14.20	15.90
135	12.40	15.50	17.40	12.16	15.20	16.90	11.85	14.80	16.60
140	12.90	16.10	18.00	12.65	15.80	17.60	12.32	15.40	17.20
145	13.35	16.70	18.70	13.05	16.30	18.30	12.80	16.00	17.80
150	13.85	17.30	19.40	13.52	16.90	18.90	13.20	16.50	18.50
155	14.32	17.90	20.00	14.00	17.50	19.60	13.70	17.10	19.10
160	14.80	18.50	20.70	14.50	18.10	20.30	14.16	17.70	19.80
165	15.30	19.10	21.40	14.97	18.70	20.90	14.65	18.30	20.40
170	15.76	19.70	22.10	15.45	19.30	21.60	15.12	18.90	21.10
175	16.32	20.40	22.80	15.92	19.90	22.30	15.53	19.40	21.60
180	16.80	21.00	23.50	16.40	20.50	23.00	16.00	20.00	22.40

T.C.M. Grados F.	P.A. 90.0-92.2 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 92.0-93.7 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 94.0-95.3 P.R. A las siguientes s. s.		
	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40
130	11.12	13.90	15.50	10.90	13.60	15.20	10.57	13.20	14.80
135	11.52	14.40	16.10	11.37	14.20	15.80	10.97	13.70	15.40
140	12.00	15.00	16.80	11.77	14.70	16.50	11.45	14.30	16.10
145	12.50	15.60	17.40	12.25	15.30	17.10	11.92	14.90	16.70
150	12.90	16.10	18.10	12.65	15.80	17.70	12.25	15.40	17.30
155	13.37	16.70	18.70	13.12	16.40	18.40	12.80	16.00	17.90
160	13.85	17.30	19.40	13.60	17.00	19.00	13.30	16.60	18.60
165	14.32	17.90	20.00	14.00	17.50	19.70	13.76	17.20	19.20
170	14.80	18.50	20.70	14.50	18.10	20.30	14.18	17.70	19.80
175	15.20	19.00	21.30	14.97	18.70	20.90	14.64	18.30	20.50
180	15.70	19.60	21.90	15.45	19.30	21.60	15.12	18.90	21.10

T.C.M. Grados F.	P.A. 96.0-96.9 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 98.0-98.4 P.R. A las siguientes s. s.			P.A. 100.0-100.0 P.R. A las siguientes s. s.		
	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40	1.00	1.25	1.40
130	10.30	12.85	14.40	10.04	12.50	14.00	9.85	12.30	13.70
135	10.72	13.40	15.00	10.56	13.40	14.60	10.25	12.80	14.30
140	11.20	14.00	15.60	10.92	13.65	15.30	10.72	13.40	14.90
145	11.60	14.50	16.30	11.37	14.20	15.90	11.12	13.90	15.60
150	12.10	15.10	16.90	11.85	14.80	16.50	11.60	14.50	16.20
155	12.52	15.65	17.50	12.25	15.30	17.10	12.00	15.00	16.80
160	12.97	16.20	18.20	12.72	15.90	17.70	12.50	15.60	17.40
165	13.45	16.80	18.80	13.17	16.45	18.40	12.89	16.10	18.00
170	13.85	17.30	19.40	13.60	17.00	19.00	13.37	16.70	18.60
175	14.32	17.90	20.00	14.05	17.55	19.70	13.76	17.28	19.20
180	14.72	18.40	20.60	14.50	18.10	20.30	14.16	17.70	19.80

TCM. TEMPERATURA DE LA MASACOCIDA.  
 PA. PUREZA APARENTE.  
 PR. PUREZA REAL.  
 SS. SOBRESATURACIONES.



# Curso de Instrumentación Neumática para Procesos Industriales

## Primera Práctica

Sábado 29 de Julio

A continuación te estoy enviando la relación de los instrumentos que se van a instalar para la práctica del curso el día 29 de julio del presente año, de 8.30 a 13.00 Horas. Se ha estimado una asistencia de 21 personas.

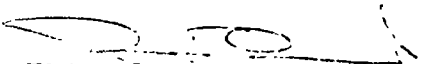
La práctica se llevará a cabo en la siguiente forma:

- a).- Descripción de la práctica y explicación de la forma de realizarla
- b).- Equipo de prueba para la calibración
- c).- Realización de la práctica formando grupos de 3 personas.

Colocación de Instrumentos:

#	Modelo	Referencia
A	5412-TS	MI-17-138
B	40	MI- 4-116
C	130MN4	MI-17-450
D	ISA	MI- 5-625
E	"C" Valvactor	MI-12-340
F	121	MI-17-420
G	45	MI-14-670

A t e n t a m e n t e .

  
ING. SERGIO DAVILA S. -DEPARTAMENTO DE SERVICIO  
SOL. INT.

Foxboro, S. A.

Sucursales.

Aramberri 509 Pte. Justo Sierra 381-109

Guadalupe, N. L. Guadalajara, Jal.

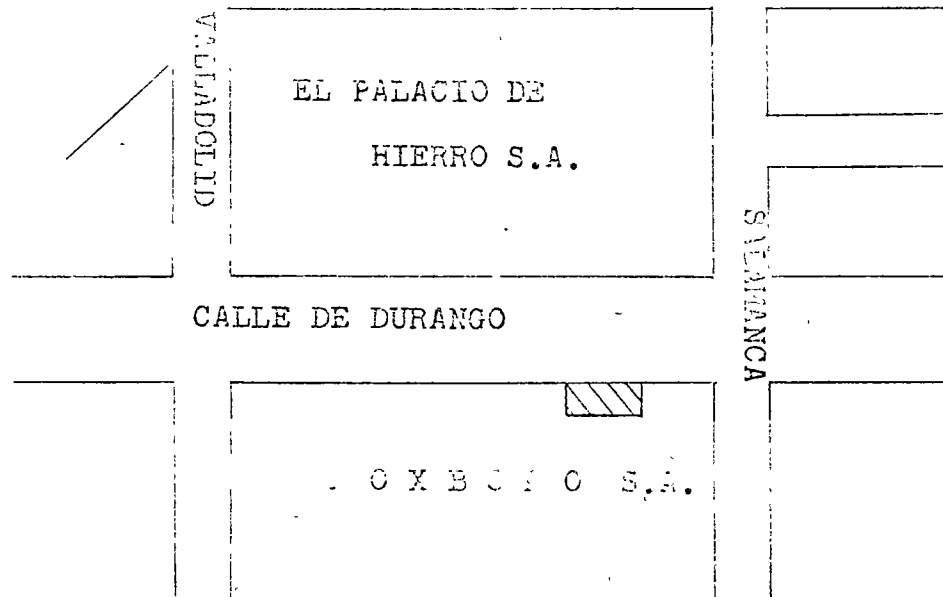
Tels. 43 52-59 43-50 41 Tel. 13-95-26

Foxboro, S.A. Durango 247-1er. piso Apartado Postal 7-938 México 7, D.F. Tel. 5-11-97-00 - Planta Avena 410-A Col. Granjas México, Mexico 8, D. F.

CURSO NEUMÁTICO, U.N.A.M.

ING. CESAR PONCE MONTUÿ

A continuación te envío el plano del Centro de Entrenamiento de Foxboro, S.A. ( Durango 247-1º piso, México 7, D.F. ), en donde se impartirá la práctica del curso el 29 del presente



Ing. Sergio Dávila S.  
Depto. de Servicio

**FOXBORO**